



**02 a 04**  
outubro de 2018  
**Expo Unimed**  
**Curitiba-PR**

Construção dos dados na era da digitalização agrícola

# Anais





# COMISSÃO ORGANIZADORA

## **Comissão Organizadora (Diretoria da AsBraAP)**

José Paulo Molin  
Ricardo Yassushi Inamasu  
Leonardo Menegatti  
Pedro Magalhães  
Paulo Sergio Graziano Magalhães

## **Comissão Científica**

Coordenadores:  
Lucas Rios do Amaral (UNICAMP)  
Leandro Maria Gimenez (USP)

### Membros:

Antônio Luis Santi (UFMS)  
Fábio Henrique Rojo Baio (UFMS)  
José Paulo Molin (USP)

## **Equipe de Relações com Empresas**

Fabio Penassi Torres  
José Paulo Molin  
Marcio Albuquerque  
Pedro Magalhães

# SUMÁRIO

<b>TRABALHOS DE APRESENTAÇÃO ORAL.....</b>	<b>8</b>
<b>1. AVALIAÇÃO DOS ERROS DE PARALELISMO DE UM CONJUNTO TRATOR-PLANTADORA DE CANA-DE-AÇUCAR UTILIZANDO SISTEMA DE DIREÇÃO AUTOMÁTICA.....</b>	<b>9</b>
<b>2. BALANÇO DE NUTRIENTES NA ADUBAÇÃO A TAXAS VARIÁVEIS EM POMARES DE CITROS.....</b>	<b>17</b>
<b>3. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS COVENCIONAL, DETERMINÍSTICO E DIGITAL NO MAPEAMENTO DE PROPRIEDADES DO SOLO.....</b>	<b>24</b>
<b>4. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO PARA O MONITORAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE SPHENOPHORUS LEVIS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CURVAS ESPECTRAIS PARA IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO TRIGO.....</b>	<b>38</b>
<b>6. DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS EM VINHEDO POR MEIO DE ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>7. DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM VINHEDO COM BASE NA GRANULOMETRIA DO SOLO.....</b>	<b>52</b>
<b>8. DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA CÁLCULO DE DOSES DE NITROGÊNIO PARA MILHO E TRIGO.....</b>	<b>59</b>
<b>9. EFEITO DA UMIDADE DO SOLO EM MEDIÇÕES DE PH UTILIZANDO ELETRODOS ÍON-SELETIVOS.....</b>	<b>66</b>
<b>10. EFICIÊNCIA DA AMOSTRAGEM EM GRADE PARA A CARACTERIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO NO SOLO.....</b>	<b>74</b>
<b>11. ERROS DE PERCURSO EM CARRETAS DE TRANSBORDO DE CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>81</b>
<b>12. ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS DA CULTURA DO CAFÉ POR MEIO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL.....</b>	<b>89</b>
<b>13. FUSÃO DE DADOS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E IMAGENS SENTINEL 2A PARA CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO.....</b>	<b>96</b>
<b>14. IMPACTO DA DENSIDADE E DA MALHA AMOSTRAL NA QUALIDADE DE MAPAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO.....</b>	<b>105</b>
<b>15. IMPACTO DO COMPRIMENTO DE FILEIRAS NO PROCESSO DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>114</b>
<b>16. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM ALGODÃO.....</b>	<b>123</b>
<b>17. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM TRIGO.....</b>	<b>129</b>
<b>18. MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>135</b>
<b>19. METODOLOGIA PARA ESTIMAR A OCUPAÇÃO DE PLANTAS VISANDO O MANEJO MAIS ADEQUADO DA ADUBAÇÃO NA CULTURA DO CAFÉ.....</b>	<b>144</b>
<b>20. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE ERROS CAUSADOS PELA INCLINAÇÃO DA COLHEDORA DE GRÃOS EM MAPAS DE PRODUTIVIDADE.....</b>	<b>152</b>
<b>21. MODELO PARA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO SENSOR DE VEGETAÇÃO.....</b>	<b>159</b>
<b>22. NOVA ABORDAGEM PARA A PREVISÃO DE PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO COM BASE NA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA.....</b>	<b>166</b>
<b>23. QUALIDADE DE MAPAS DE PRESCRIÇÃO DE FERTILIZANTE POTÁSSICO EM FUNÇÃO DE DENSIDADE AMOSTRAL E INTERPOLAÇÃO DE DADOS.....</b>	<b>174</b>
<b>24. SENSOR DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (IEM) PARA MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO EM LAVOURAS DE CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>183</b>
<b>25. SENSORES PARA MAPEAMENTO DE FALHAS NA CANA-DE-AÇUCAR.....</b>	<b>190</b>

26.UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR DANOS DE BROTAÇÃO EM CANAVIAL POR CURVATURA DE ORIENTAÇÃO E DE PARALELISMO DOS SULCOS.....	198
27.USO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE ATAQUES DE <i>Spodoptera frugiperda</i> NO MILHO EM FUNÇÃO DA PERDA DE ÁREA FOLIAR.....	208
28.UTILIZAÇÃO DE SENSOR LIDAR NA CULTURA DO CAFÉ: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE PLANTAS.....	215
29.VARIAÇÃO TEMPORAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÍNDICES RELATIVOS DE CLOROFILA EM VIDEIRA DE VINHO cv. CHARDONNAY.....	223
<b>TRABALHOS DE APRESENTAÇÃO PÔSTER.....</b>	<b>232</b>
30.A UTILIDADE DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA MONITORAMENTO DA CULTURA DO CAFÉ.....	233
31.ACURÁCIA DA CORREÇÃO RTK VIA NTRIP.....	236
32.ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PERFIS TEMPORAIS DE ÍNDICE VEGETATIVO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR OBTIDOS POR SENSORES ORBITAIS DE MÉDIA E BAIXA RESOLUÇÃO ESPACIAL.....	242
33.ANÁLISE DE ERROS A PARTIR DE RELATÓRIO DE APLICAÇÃO EM TAXAS VARIÁVEIS.....	247
34.ANÁLISE DE PARÂMETROS DE VOOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA GERAÇÃO DE ORTOMOSAICO PARA CAFEICULTURA.....	253
35.ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS POR CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	258
36.ANÁLISE OPERACIONAL DA SISTEMATIZAÇÃO DOS TRAJETOS DE PLANTIO DE CANA DE AÇUCAR PARA APLICAÇÃO DE SISTEMA DE DIREÇÃO AUTOMÁTICA.....	263
37.APLICAÇÃO DA ABORDAGEM MULTISENSOR PARA DETALHAMENTO DE PERFIS TEMPORAIS DE CRESCIMENTO VEGETAL.....	269
38.APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE PREDIÇÃO DE TAXAS VARIÁVEIS EM PULVERIZAÇÕES BASEADA EM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NA CULTURA DO MILHO.....	275
39.AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE CALDA PULVERIZADA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE SEMEADURA DA SOJA.....	280
40.AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE UMA MÁQUINA PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL NA CAFEICULTURA.....	285
41.AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM ÁREAS DE EUCALIPTO UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO.....	291
42.AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA EM CANA-DE-AÇÚCAR USANDO IMAGENS ESPECTRAIS.....	295
43.CARACTERÍSTICAS DO VINHO DE DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DETERMINADAS COM BASE NO VIGOR VEGETATIVO DA VIDEIRA.....	302
44.CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO A PARTIR DE MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	308
45.CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO EM UVAS VINÍFERAS COM USO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.....	314
46.COMPORTAMENTO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO RGB EM IMAGENS OBTIDAS POR RPA.....	318
47.COMPORTAMENTO ESPACIAL E TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE NO MILHO SILAGEM EM PEQUENA PROPRIEDADE.....	324
48.CONFLITO DE USO DO SOLO E POTENCIALIDADE DE MECANIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIETÊ.....	329

<b>49.</b> CONSTRUÇÃO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	335
<b>50.</b> CONTEXTO HISTÓRICO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL.....	341
<b>51.</b> CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DO USO DO SOLO PELA VARIBILIDADE DO NDVI.....	345
<b>52.</b> CORRELAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE ANÁLISE VISUAL E POR IMAGEM AÉREA DA EFICÁCIA DE CONTROLE DE PLANTAS INFESTANTES.....	350
<b>53.</b> CORRELAÇÃO ENTRE UMIDADE E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO EM POMAR DE VIDEIRA DE VINHO.....	354
<b>54.</b> CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL.....	360
<b>55.</b> CUSTO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES SOBRE FALHAS EM CANA SOCA: UMA ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORTE AUTOMÁTICO DE SEÇÕES.....	367
<b>56.</b> DELIMITAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE DA MALHA AMOSTRAL.....	371
<b>57.</b> DEPENDÊNCIA ESPACIAL DO NDVI E ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DA CULTURA DO MILHO SILAGEM POR MEIO DE GRADE REGULAR E PONTOS ADICIONAIS.....	377
<b>58.</b> DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM BANANAS PACOVAN COM USO DE ESPECTROSCOPIA DE REFLETÂNCIA VIS-NIR.....	384
<b>59.</b> DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO AGRÍCOLA DA CULTURA DO MILHO.....	388
<b>60.</b> DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEOR DE ENXOFRE EM ÁREA CULTIVADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	394
<b>61.</b> DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA ENTALPIA EM AVIÁRIO UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA.....	400
<b>62.</b> EFEITO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE EM MILHO.....	405
<b>63.</b> ESPECTRORRADIOMETRIA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: ESTUDO DE CASO EM SOLOS DE TERRAS BAIXAS, CAPÃO DO LEÃO – RS, BRASIL.....	411
<b>64.</b> ESPECTRORRADIÔMETRO DE BOLSO PARA DETERMINAÇÃO DE TEXTURA E MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS AGRÍCOLAS.....	414
<b>65.</b> ESPECTROSCOPIA DE REFLETÂNCIA VIS-NIR PARA ANÁLISE DE PERDA DE MASSA EM BANANAS PACOVAN....	420
<b>66.</b> ESTIMATIVA DE BIOMASSA DA CULTURA DO MILHO POR MEIO DE REDES NEURAS ARTIFICIAS.....	424
<b>67.</b> ESTUDO PRELIMINAR PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DO NDVI CALCULADO A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS.....	430
<b>68.</b> GEORREFERENCIAMENTO DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA POR MEIO DE DIFERENTES PONTOS DE CONTROLE.....	435
<b>69.</b> ÍNDICE DE QUALIDADE DO FRUTO DO TOMATEIRO POR MEIO DE TÉCNICA GEOESTATÍSTICA.....	440
<b>70.</b> ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E BIOMASSA EM DUAS CULTIVARES DE TRIGO.....	445
<b>71.</b> ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE NA CULTURA DA SOJA.....	451
<b>72.</b> INFLUÊNCIA DA SEMEADURA DE MILHO EM TAXA VARIÁVEL SOBRE O NDVI.....	457
<b>73.</b> INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO CONJUNTO DE CALIBRAÇÃO EM MODELOS DE PREDIÇÃO PARA FÓSFORO E POTÁSSIO COM ESPECTROSCOPIA.....	462
<b>74.</b> INTEGRAÇÃO DE DADOS E SOFTWARES FAZENDO USO DA API AGDATABOX .....	466
<b>75.</b> MAPAS DE PRODUTIVIDADE PARA CENOURA EM SISTEMA DE COLHEITA SEMI-MECANIZADA.....	470
<b>76.</b> MONITORAMENTO DE LAVOURAS DE CANA-DE-AÇÚCAR POR IMAGENS AÉREAS E SENSORES A LASER.....	476
<b>77.</b> POTENCIALIDADE À MECANIZAÇÃO DAS TERRAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA O MANEJO DO SISTEMA DE	

PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	484
<b>78.</b> PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE E TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR EM MILHO UTILIZANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	490
<b>79.</b> PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DE NÍVEIS DE DANO POR <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> NA DULTURA DO MILHO.....	495
<b>80.</b> PROJETO DE INJETOR DE FERTILIZANTE LÍQUIDO PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA.....	499
<b>81.</b> PROTOTIPO ROBÓTICO PARA AUXILIO EM AGRICULTURA DE PEQUENAS AREAS.....	503
<b>82.</b> QUANTIFICAÇÃO DE ANTOCIANINAS EM UVAS DE VINHO COM USO DE IMAGENS DE REFLETÂNCIA VIS.....	508
<b>83.</b> QUANTIFICAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS EM UVAS DE VINHO COM USO DE IMAGENS DE REFLECTÂNCIA VIS.....	513
<b>84.</b> QUANTIFICAÇÃO DO ACAMAMENTO DO MILHO ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS.....	517
<b>85.</b> RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE VARIEDADES DE MILHO SOB ALTO E BAIXO NITROGÊNIO.....	524
<b>86.</b> RELAÇÕES ENTRE NUTRIENTES, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E REFLECTÂNCIA DO SOLO NAS FAIXAS DO VERMELHO E INFRAVERMELHO.....	530
<b>87.</b> RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES UMIDADES EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA FLORESTA.....	535
<b>88.</b> RESPOSTA DE HÍBRIDOS DE MILHO A SEMEADURA EM TAXA VARIÁVEL.....	541
<b>89.</b> SELEÇÃO AGRONÔMICA INDIRETA DE GENÓTIPOS DE MILHO VIA NDVI E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	546
<b>90.</b> SEMEADURA DA SOJA EM TAXA VARIADA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO.....	552
<b>91.</b> SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E SAVI EM ÁREA DE CULTIVO CONVENCIONAL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	558
<b>92.</b> SIMILARIDADE ENTRE MAPAS DE NDVI OBTIDOS POR CÂMERAS MULTIESPECTRAIS INSTALADAS EM RPA.....	564
<b>93.</b> SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PREVISÃO DA DISPERSÃO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA A PARTIR DE DADOS METEOROLÓGICOS E DE OCORRÊNCIA DA DOENÇA.....	569
<b>94.</b> SISTEMA DE GESTÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS (SIGMA) PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTO E DESEMPENHO OPERACIONAL.....	575
<b>95.</b> TESTE PRELIMINAR DA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE PARA ANÁLISE DE IMAGENS OBTIDAS POR MEIO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA.....	581
<b>96.</b> USO DE APLICATIVOS PARA MEDIÇÃO DE ÁREAS NA REGIÃO DE GUARAPUAVA.....	586
<b>97.</b> USO DE VANT NA IDENTIFICAÇÃO DO VIGOR VEGETATIVO DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO APÓS CAPINA QUÍMICA.....	591
<b>98.</b> VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE SOJA UTILIZANDO DUAS ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM.....	597
<b>99.</b> VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL A PARTIR DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS 1961-1990 E 1981-2010.....	601
<b>100.</b> VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA CULTIVADA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	607
<b>101.</b> VARIABILIDADE ESPACIAL E ADEQUAÇÃO DE DOSES DE HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	613
<b>102.</b> VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DO MILHO SILAGEM EM PEQUENA PROPRIEDADE.....	618



**02 a 04**

outubro de 2018

**Expo Unimed**

**Curitiba-PR**

**Construção dos dados na era da digitalização agrícola**

# **TRABALHO APRESENTAÇÃO ORAL**



## **AValiação DOS ERROS DE PARALELISMO DE UM CONJUNTO TRATOR-PLANTADORA DE CANA-DE-AÇUCAR UTILIZANDO SISTEMA DE DIREÇÃO AUTOMÁTICA**

**GABRIELA ERHARDT <sup>1</sup>, GUSTAVO ALMEIDA BERTUSSE <sup>2</sup>, JOSÉ V. SALVI <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Discente em Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec "Shunji Nishimura", Pompéia-SP, Fone: (0XX51) 9 9990-1508, erhardt.gg@gmail.com.

<sup>2</sup> Discente em Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec "Shunji Nishimura", Pompéia-SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre, Professor, FATEC "Shunji Nishimura", Pompéia-SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba - PR, Brasil, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O plantio mecanizado utilizando as ferramentas de agricultura de precisão direciona a atenção do operador para a operação. Nessa conjuntura, o sistema de direção automática proporciona percursos predeterminados e equidistantes. O propósito deste trabalho é avaliar os erros de paralelismo de um conjunto trator-plantadora de cana de açúcar empregando o sistema de direcionamento elétrico com o uso de sistema de correção RTK. O trabalho foi conduzido em três áreas, com linhas de plantio de antemão projetadas, um trator e uma plantadora, ambos equipados com antena GNSS pelo qual foram obtidos os dados de posicionamento. Os erros foram calculados pela diferença perpendicular entre as coordenadas da posição da antena no trator, na plantadora e da trajetória projetada. Foram encontradas frequências superiores a 85% dos erros de paralelismo dentro da meta estabelecida pelo produtor (inferior a 0,05m) para o percurso do trator. Proporcionando possível controle de tráfego. Porém, na plantadora, a frequência de dados dentro dos limites de especificações ficaram inferiores a 15%, indicando que durante o percurso das máquinas está ocorrendo desalinhamento entre trator e plantadora.

**PALAVRAS-CHAVE:** RTK, plantio mecanizado, atuador elétrico-mecânico

### **EVALUATION OF THE PARALLELISM ERRORS OF A TRACTOR-PLANTATION ASSEMBLY OF AÇUCAR CANA USING THE AUTOMATIC DIRECTION SYSTEM**

**ABSTRACT:** The mechanized planting using precision farming tools helps the operator to focus only on the operation and the automatic steering system with correction provides predetermined and equidistant paths. The purpose of this paper is to evaluate the parallelism errors of a tractor-planter set of sugarcane employing an automatic electric steering system with the use of RTK correction. The study involved three areas with previously planned planting lines, a tractor and a planter, both equipped with GNSS antenna through which the positioning data were obtained. The errors were calculated by the perpendicular difference between the tractor, planter and the projected trajectory. Frequencies higher than 85% of the parallelism errors were found within the goal established by the producer (less than 0.05m) for the tractor course. Providing possible traffic control. However, in the planter, the data frequency within the specification limits was lower than 15%, indicating that misalignment between tractor and planter is taking place during the course of the machines.

**KEYWORDS:** RTK, mechanized planting, electric-mechanical actuator

## **INTRODUÇÃO**

A cana de açúcar (*Saccharum spp*) é matéria prima primordial para a produção de açúcar e etanol, além de ser uma das principais atividades agrícolas do país, logo, têm suma importância econômica e social. Dentro deste agronegócio, o âmbito agrícola é o que demonstra maior liberdade de redução de custos (FNP, 1999). O plantio mecanizado representa 18% do custo médio operacional do ciclo total da cultura no estado

de São Paulo (SOCICANA, 2018).

Conforme Coleti & Stupiello (2006), um ótimo planejamento e conhecimento técnico são imprescindíveis na operação de plantio, por impactar ao longo de várias safras. De acordo com Vasconcelos & Garcia (2005); Cury (2013), as raízes na soqueira de cana de açúcar são mais aparentes pelo fato dos perfilhos brotarem muito próximo da camada superficial do solo. Portanto, diminuir o pisoteio das soqueiras e aumentar a vida útil do canavial são algumas atitudes adotadas para obter qualidade nesse processo.

Em uma avaliação do efeito da posição do tráfego de máquinas, Braunack et al. (2006) verificaram o aumento da produtividade da cana de açúcar em áreas com controle de tráfego.

Em complemento, o sistema de direção automática (piloto automático) é utilizado para orientar as máquinas agrícolas nas operações de campo, de tal forma que o deslocamento ocorra sempre paralelo a uma linha de referência, o que resulta na maior uniformização do espaçamento, com melhor aproveitamento do terreno e menor tráfego sobre as linhas de cultivo, Vermeulen & Mosquera (2009). Em concordância com Shockley & Dillon (2008), salientam que, o sistema de direção automática reduz sobreposições e falhas nas aplicações e podem aumentar a velocidade operacional. O principal benefício dos pilotos automáticos é a redução de erros entre as passadas pela substituição do operador no direcionamento durante as operações mecanizadas (Baio & Moratelli).

De acordo com BAIO (2007), a sulcação ou o plantio mecanizado de cana de açúcar requerem acurácia elevada que só o sistema de correção RTK possibilita nas aplicações agrícolas. A acurácia com o uso do piloto automático é cinco vezes maior do que com o direcionamento manual, dessa forma, possibilita o plantio de maior quantidade de linhas por área BAIO (2011). Além disso, a repetibilidade do sistema de correção prove o aproveitamento das linhas de orientação em diversas operações. Nesse cenário, o sistema de correção RTK (Real Time Kinematic) é uma ferramenta cabal para o plantio e colheita da cana de açúcar e tornou-se essencial para a sustentabilidade no segmento.

Carballido et al. (2014) analisaram o comportamento de um trator autônomo em percursos retilíneos comparando o uso de sinais de GNSS com correção diferencial via rádio e via satélite. Os dados adquiridos mostraram que os erros para o uso de correção RTK via rádio não foram superiores a 0,04 m, enquanto, que com a correção via satélite os erros não superaram os 0,10 m. O trabalho elaborado por Salvi et al. (2014), revelou que um trator, direcionado por atuador elétrico-mecânico e correção via satélite, obtiveram erros médios de paralelismo inferiores a 0,10 m. Já o trabalho realizado por Passalacqua et al. (2016), analisou um trator e uma sulcadora acoplado nos três pontos, orientado por atuador hidráulico e correção via satélite em trajetos retilíneos e em curva, tiveram erros médios abaixo de 0,10 m em 99,2% e 97,2%, respectivamente.

Como a plantadora também é uma máquina rebocada, supõe-se que seja submetida a desvios semelhantes, o objetivo deste trabalho foi analisar os erros de paralelismo de um conjunto trator-plantadora utilizando sistema de direcionamento automático de volante (elétrico) e correção RTK.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas de plantio de cana de açúcar localizadas a leste do estado de São Paulo, onde o solo é predominantemente argiloso. As coletas de dados aconteceram entre fevereiro e março de 2018 em três áreas: 13,17 ha (área A), 15,17 ha (área B), 12,91 ha (área C). As linhas de plantio foram anteriormente planejadas a partir do levantamento topográfico e do estudo do terreno, resultando em percursos retos e curvos.

O conjunto utilizado foi um trator modelo Puma 230 (CNH Industrial, Curitiba, Brasil), com 165 kW, equipado com sistema de direcionamento automático elétrico de atuador de volante, ATU 200 e receptor GNSS StarFire 3000 (Deere & Company, Urbandale, EUA) com correção RTK e uma plantadora Plant Flex 8080 (Sollus Mecanização Agrícola Ltda., Assis, Brasil), de arrasto. O fabricante caracteriza que o sistema de correção RTK (Real Time Kinematic) possui erro horizontal de 0,025 m em 95% do tempo.

A taxa de aquisição de dados do conjunto trator-plantadora foi de aproximadamente um ponto a cada 1,5 m (10Hz), sendo que a velocidade média de plantio foi de 1,38 m s<sup>-1</sup> (5 km h<sup>-1</sup>). Todos os procedimentos de configuração e calibração do sistema de direção automática foram realizados de acordo com a recomendação do fabricante. Não foram observadas atividades solares significativas durante os períodos de análise, que possivelmente influenciariam os resultados (INPE, 2018). O sistema de direção automática foi acionado no início de cada uma das linhas. O processamento dos dados, as análises e a exportação foram processadas utilizando os programas AutoCAD (Autodesk, San Rafael, EUA) e QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, EUA).

Os erros de paralelismo do eixo dianteiro do trator foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas, no centro do trator e a linha referência originada quando do

projeto de linhas do plantio, utilizando um algoritmo desenvolvido por Spekken et al. (2014). Os erros de paralelismo foram analisados por estatística descritiva e foram comparados à meta de erro do produtor (0,05 m).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 exibem os erros de paralelismo do conjunto trator-plantadora em relação ao projeto de linhas e da plantadora em referência ao trajeto do trator em cada uma das áreas avaliadas. É possível constatar que os erros médios de paralelismo em relação à referência se distanciam entre si, apresentando valores médios de 0,031m no trator e 0,218m na plantadora na Área A, de 0,024m no trator e 0,172m na plantadora na Área B e de 0,022m no trator e 0,189m na plantadora na Área C.

TABELA 1. Resultados dos erros de paralelismo do conjunto trator-plantadora em relação a trajetória de referência e a plantadora em relação ao percurso do trator nas áreas A, B e C.

Variáveis	Área A			Área B			Área C		
	Trator em relação à referência	Plantadora em relação à referência	Plantadora em relação ao trator	Trator em relação à referência	Plantadora em relação à referência	Plantadora em relação ao trator	Trator em relação à referência	Plantadora em relação à referência	Plantadora em relação ao trator
Área (ha)	13,17	13,17	13,17	15,17	15,17	15,17	12,91	12,91	12,91
Densidade Amostral (pontos por ha)	4318	4566	4447	3816	4655	4624	4213	4499	4366
Erro mínimo (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Erro máximo (m)	0,2215	0,518	0,504	0,111	0,407	0,413	0,155	0,414	0,454
Erro médio (m)	0,031	0,218	0,190	0,024	0,172	0,165	0,022	0,189	0,171
Desvio Padrão ( $\sigma$ ) (m)	0,032	0,136	0,130	0,018	0,102	0,101	0,017	0,069	0,080
Coefficiente de variação (%)	104,61	62,26	68,16	74,37	59,20	61,01	78,28	36,66	46,40
Erro médio + $\sigma$ (m)	0,063	0,354	0,320	0,041	0,273	0,266	0,039	0,258	0,251
$2 \sigma$ (m)	0,064	0,272	0,259	0,035	0,203	0,202	0,034	0,138	0,159
Erro médio + $2 \sigma$ (m)	0,289	0,626	0,449	0,059	0,375	0,367	0,056	0,327	0,331

As Figuras 1, 2 e 3 mostram os histogramas das frequências dos dados e sua distribuição espacial dos erros do conjunto trator-plantadora nas áreas A, B e C, nessa ordem.

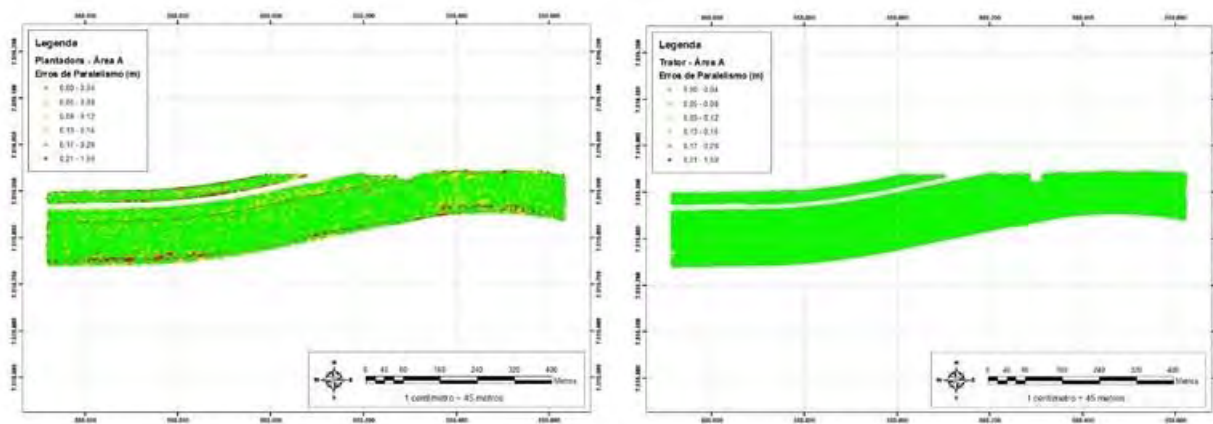
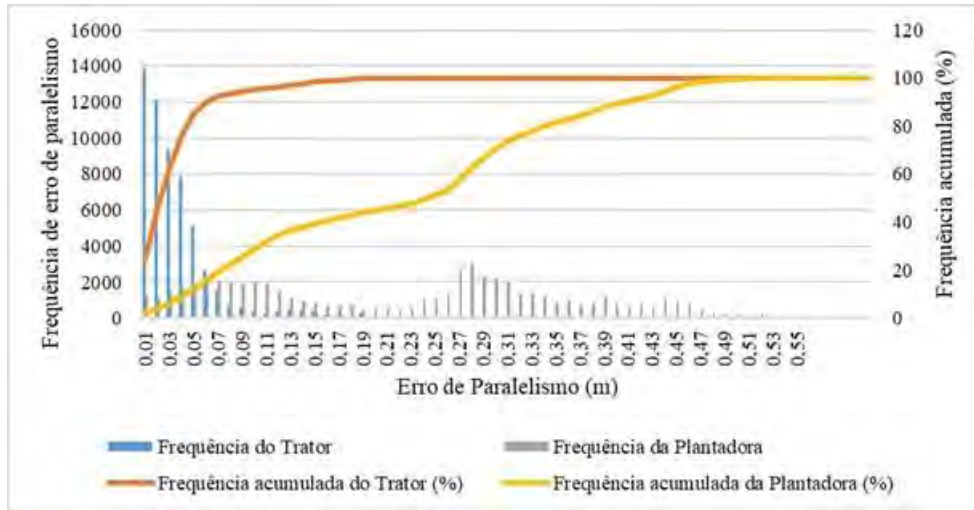
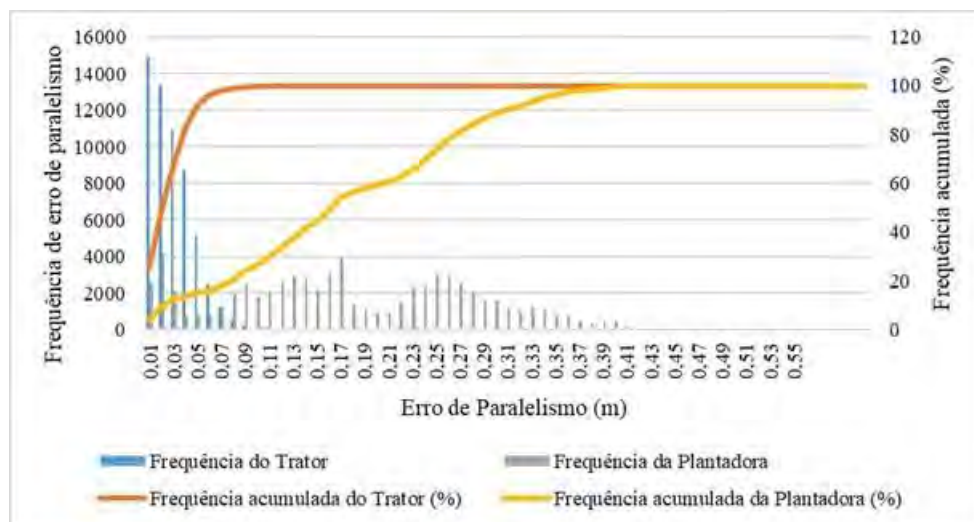


FIGURA 1. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo do trator e da plantadora em relação ao projeto de linhas na Área A.



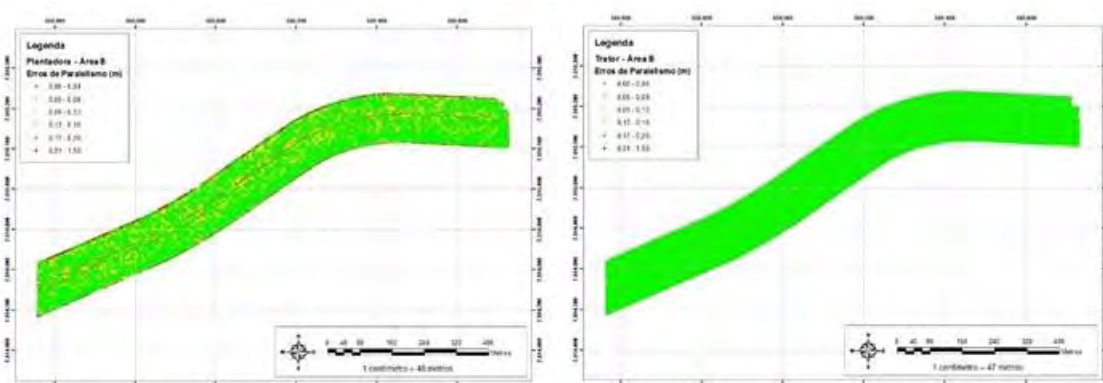


FIGURA 2. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo do trator e da plantadora em relação ao projeto de linhas na Área B.

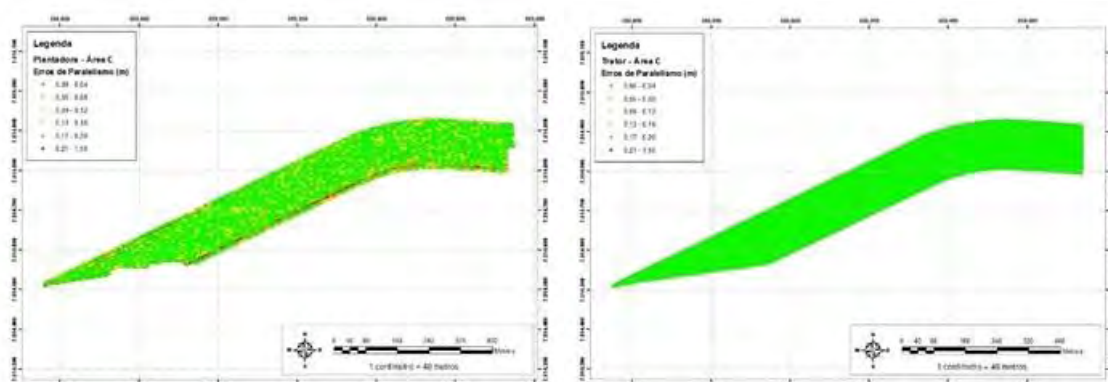
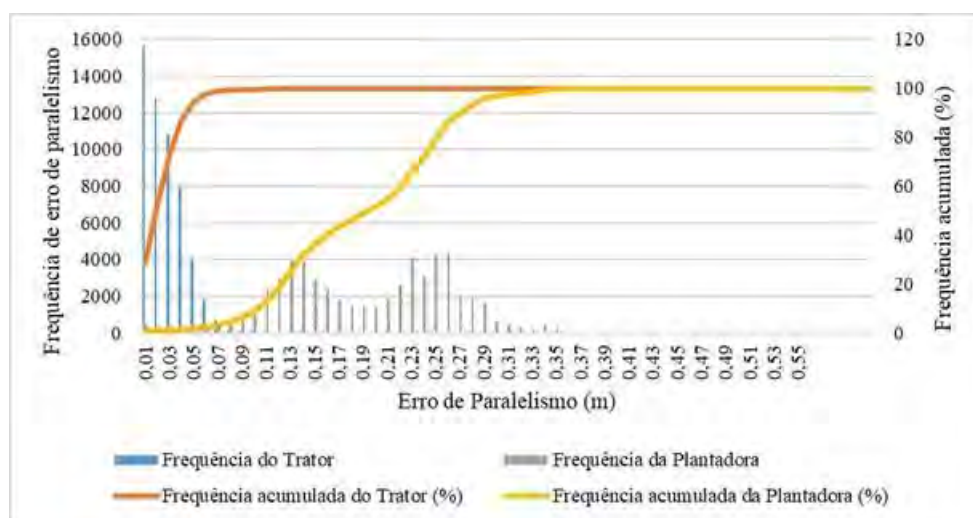


FIGURA 3. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo do trator e da plantadora em relação ao projeto de linhas na Área C.

O histograma da área A, mostra que as maiores ocorrências de erros no paralelismo do trator encontram-se na faixa de 0,01m a 0,05m com 85,02% dos dados analisados dentro da faixa aceitável pelo produtor. Porém, a plantadora ficou entre 0,01m a 0,42m em 90% dos dados, o que significa 12,05% dentro do tolerável. Na área B, os erros de paralelismo da plantadora ficaram 14,80% dentro da meta e a faixa de 0,01m a 0,31m representou 92% dos dados, enquanto o trator se manteve estável na meta do produtor em 91,86% dos dados. Já, na área C, o trator atingiu a meta do produtor em 94% dos dados, em contrapartida observou-se um significativo crescimento dos erros de paralelismo na plantadora que atingiu 1,74% da meta estabelecida pelo produtor numa faixa de 0,01m a 0,27m em 90% dos dados. Os produtores de cana de açúcar dessa área, ponderam que os erros de paralelismo admissíveis não devem ultrapassar 0,05m, tanto à direita quanto à esquerda da referência, evitando problemas nas demais operações que advêm o plantio.

A Figuras 4 a 6 mostram os histogramas das frequências dos dados e sua distribuição espacial nas áreas A, B e C, da plantadora em relação ao trajeto do trator, onde os coeficientes de variação estão entre 46%

e 68%. No histograma referente à A, as maiores ocorrências dos erros de paralelismo da plantadora aconteceu na faixa de 0,01m a 0,37m em 90% dos dados, ficando 15,04% dentro da meta do produtor. Na área B, o histograma revela uma faixa de 0,01m a 0,29m em 88% dos dados, atingindo 15,30% da meta estabelecida pelo produtor. Na área C, se observou no histograma uma faixa de 0,01m a 0,27m em 90% dos dados, conferindo 7,51% dentro da meta do produtor, que é de 0,05m nestas áreas específicas.

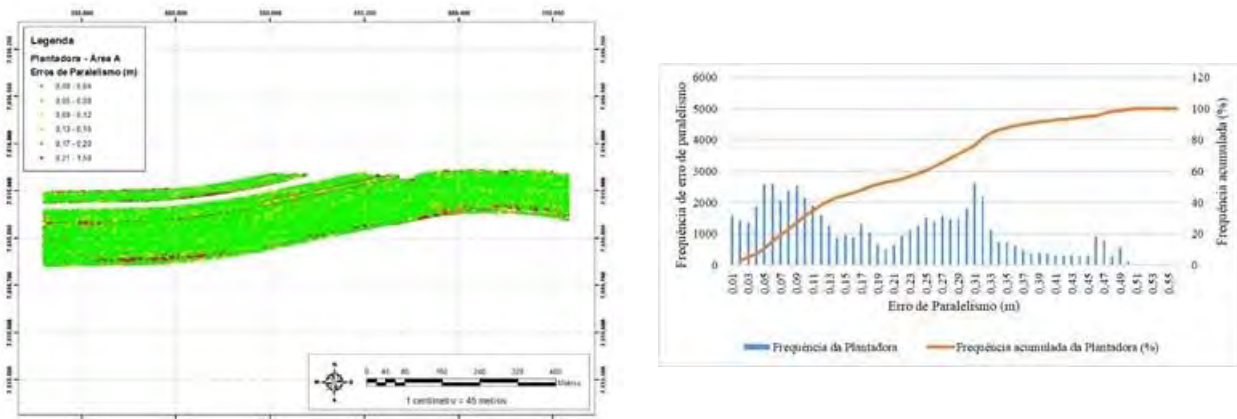


FIGURA 4. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo da plantadora em relação ao percurso do trator na Área A.

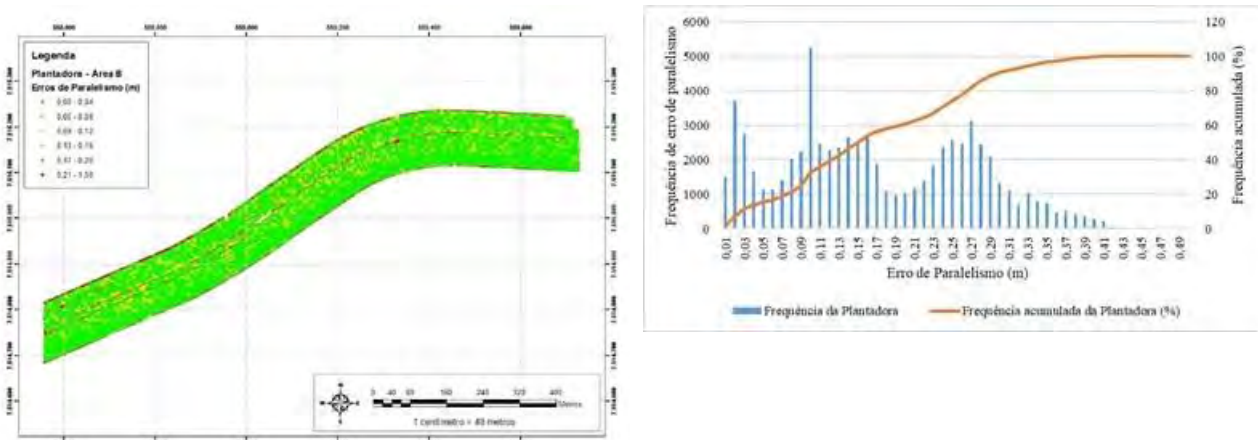


FIGURA 5. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo da plantadora em relação ao percurso do trator na Área B.

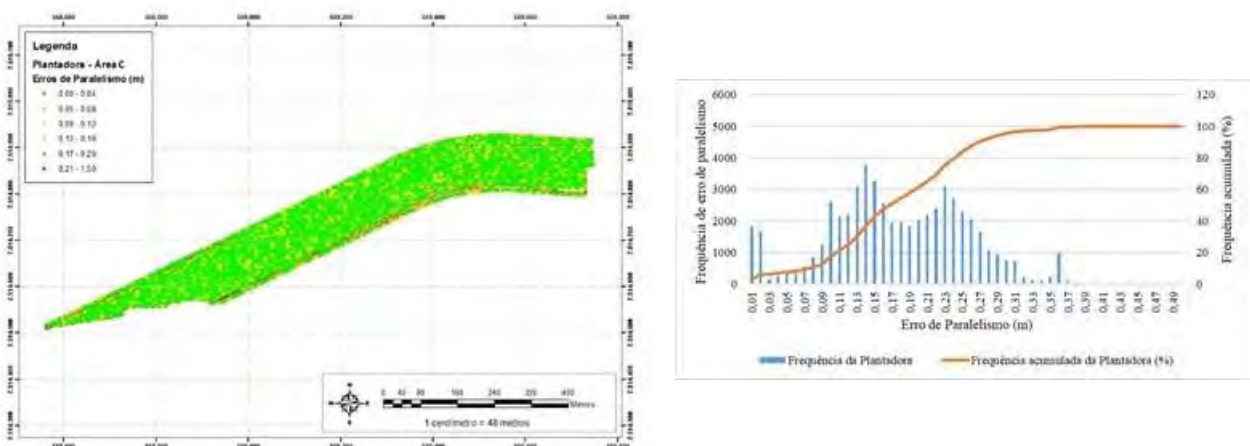


FIGURA 6. Frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo da plantadora em relação ao percurso do trator na Área C.

O gráfico de caixa (Box Plot) da Figura 7 indica que os erros de paralelismo do trator em relação à

referência, nas três áreas estudadas, estão dentro da meta do produtor (inferior a 0,05m). No entanto, os erros de paralelismo da plantadora em relação à referência são divergentes, onde na área A ficou abaixo de 0,55m, já nas áreas B e C estão abaixo de 0,45m. Tratando-se da plantadora em relação ao trator, o gráfico mostra-se novamente discordante nos erros de paralelismo entre as áreas, onde, na área A está abaixo de 0,50m, nas demais áreas ficou abaixo de 0,45m.

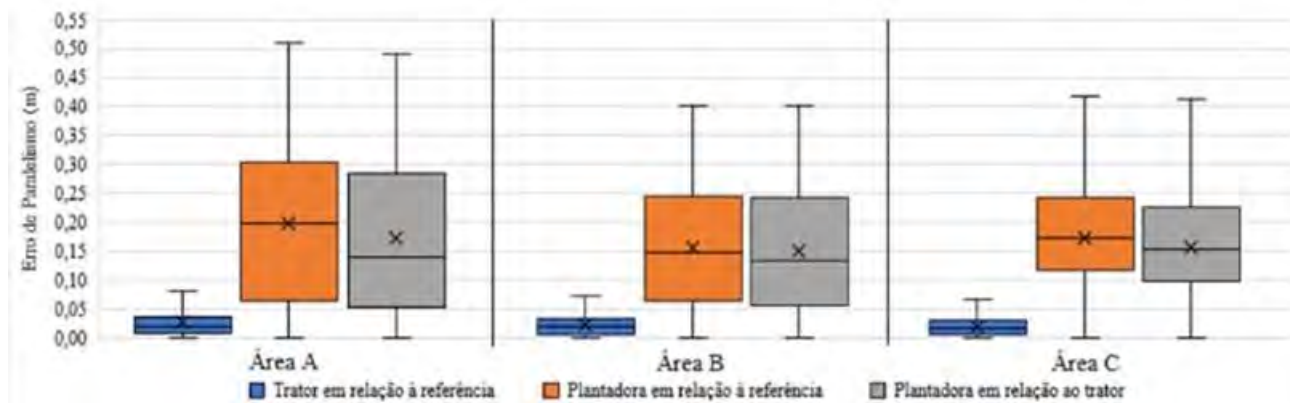


FIGURA 7. Gráfico de caixa (Box Plot) dos erros de paralelismo dos casos estudados em suas respectivas áreas.

Os resultados observados para o trator na Figura 7 são similares aos encontrados no trabalho realizado por Passalacqua et al. (2016), que analisou um trator com uma carreta sulcadora acoplado nos três pontos, porém com direcionamento automático hidráulico e sistema de correção via satélite RTX., observaram que, em 99,2% e 97,2% os erros médios estavam abaixo de 0,10m.

## CONCLUSÃO

Para as condições de estudo, verificou-se que foram encontradas frequências superiores a 85% dos erros de paralelismo dentro da meta estabelecida pelo produtor (inferior a 0,05m) para o percurso do trator. Proporcionando possível controle de tráfego. Porém, na plantadora, a frequência de dados dentro dos limites de especificações ficaram inferiores a 15%, indicando que durante o percurso das máquinas está ocorrendo desalinhamento entre trator e plantadora.

## REFERÊNCIAS

- BAIO, F.H.R.; LEAL, J.C.; CAMPANELLI, V.P.C. Agricultura de Precisão: casos e aplicações em AP na produção de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1 ed. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.445-455.
- BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 367-375, 2011.
- BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL**, 47., 2009, Porto Alegre, Anais... Porto Alegre: 2009.
- CARBALLIDO, J.; PEREZ-RUIZ, M., EMMI, L., AGUERA, J. Comparison of positional accuracy between RTK and RTX GNSS based on the autonomous agricultural vehicles under field conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, v.30, n.3, p.361-366, 2014.
- INPE. **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**. Disponível em <<http://www.inpe.br/scintec/pt/>> Acessado em: 28/02/2018 e 12/03/2018.
- MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; DE PAULA, V. R.; SALVI, J. V. Método de avaliação de equipamentos para direcionamento de veículos agrícolas e efeito de sinais de GNSS. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.121-129, 2011.
- PASSALAGUA, B. P.; MOLIN, J. P.; SALVI, J. V.; AGUILERA, A. P. Misalignment between sugar cane transshipment trailers and tractor. In: **13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE 2016**, 2016, St. Louis, Missouri, USA: 2016.

PASSALAUHA, B. P.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P.; SATO, M. S.; MANARIN, E. Avaliação dos erros de paralelismo de conjuntos mecanizados utilizando sistema de correção via satélite. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2016**, 2016, Goiânia, Anais... Goiânia: 2016.

PAULI, D. G. de. **Planejamento da qualidade do plantio mecanizado de cana de açúcar**. 2009. 79 f. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo, 2009.

SALVI, J. V.; MOLIN, J. P.; CASARIN JÚNIOR, R. D.; SANTOS, G. N. dos; SPEKKEN, M. Avaliação dos erros de paralelismo de um conjunto colhedora e trator-transbordo de cana de açúcar. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2014**, 2014, São Pedro, Anais... São Pedro: 2014.

SOCICANA. **ASSOCIAÇÃO DOS FORNECEDORES DE CANA DE GUARIBA**. Custo médio operacional região de Guariba/SP 2018. Disponível em: <<http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/Custo-de-Produ%C3%A7%C3%A3o-das-Propriedades-GRA.pdf>> Acessado em: 08/03/2018.

SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. A method to evaluate parallelism for machine logged positions. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND ASSOCIATED HIGH-TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR AGRICULTURE AND FORESTRY (RHEA)**, 2., 2014, Madri. Anais... Madri: 2014. p. 227-237.



## **BALANÇO DE NUTRIENTES NA ADUBAÇÃO A TAXAS VARIÁVEIS EM POMARES DE CITROS**

**CAIO J. D. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, LUIS G. MENDES<sup>2</sup>, ANDRÉ F. COLAÇO<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, USP/ ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: +5519983294606, oiajchonathan@gmail.com

<sup>2</sup> Engº Agrônomo, Mestrando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: +551934478551, luis.gustavo.mendes383@gmail.com

<sup>3</sup> Engº Agrônomo Dr, CSIRO, Waite Campus, Glen Osmond, Austrália, Fone: +61 8 83038427, andre.colaco@csiro.au

<sup>4</sup> Engº Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A agricultura de precisão oferece conceitos e ferramentas que buscam otimizar a utilização de insumos e promover a sustentabilidade econômica e ambiental de sistemas de produção agrícola. O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar o balanço de nutrientes entre a aplicação de fertilizantes em dose fixa e em doses variáveis, estimando entradas e saídas de nutrientes no sistema de produção da cultura da laranja. O trabalho foi conduzido em uma unidade de produção de laranja para a indústria, em Iaras, SP, onde foram selecionadas oito áreas de 25 ha cada, quatro com tratamento em doses fixas (DF) e outras quatro com tratamento em doses variadas (DV). Foram calculadas anualmente as quantidades de fósforo e potássio presentes no solo, fornecidas via adubação e exportadas na colheita em 25 pontos em cada área, entre os anos de 2011 e 2016. A utilização da adubação em doses variáveis promoveu redução na aplicação de fósforo, aumento na dose ofertada de potássio e obteve a maior produtividade ao final dos seis anos, resultando em menor saldo de fósforo e maior saldo de potássio no solo. Os resultados mostram que o cálculo do balanço de nutrientes se mostrou efetivo na mensuração do saldo dos elementos no sistema, mas não permitiu estabelecer relação entre as entradas, saídas e o saldo de potássio. Fatores como perdas do nutriente no solo e quantidade imobilizada nas estruturas das plantas devem ser incorporados nas análises para melhor compreensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** adubação, doses variadas, gerenciamento

### **NUTRIENT BALANCE OF VARIABLE RATE FERTILIZATION IN CITRUS**

**ABSTRACT:** Precision agriculture offers concepts and tools that seek the optimization of inputs use, promoting the economic and environmental sustainability of agricultural production systems. The objective of this work is to evaluate and compare the balance of nutrients between the application of fertilizers in fixed dose and in variable doses, estimating inputs and outputs of nutrients in the orange crop system. The work was conducted at an orange production for the industry in Iaras, SP, Brazil, where eight areas of 25 ha each were selected, four with fixed dose (DF) treatment and four with variable doses (DV). The amounts of phosphorus and potassium present in the soil, supplied by fertilization and exported at harvest were calculated annually in 25 points in each area, between 2011 and 2016. The use of fertilization in variable doses promoted a reduction in the application of phosphorus, an increase in the potassium dose offered and obtained the highest productivity at the end of the six years, resulting in a lower balance of phosphorus and a higher balance of potassium in the soil. The results show that the calculation of nutrient balance was effective in the measurement of nutrient surplus in the system, however, it did not provide insight about the relationship between the inputs, outputs and the potassium balance. Factors such as soil nutrient losses and immobilized amount in plant structures should be incorporated into the analyzes for better understanding.

**KEYWORDS:** fertilizing, variable rates, management

### **INTRODUÇÃO**

A otimização na utilização de insumos é um dos objetivos para o emprego das ferramentas da agricultura de precisão no gerenciamento das lavouras. MOLIN & MASCARIN (2007), por meio da

elaboração de mapas de produtividade, observaram variabilidade espacial na produção de laranja, que possibilitou a determinação de regiões de diferente potencial dentro de uma mesma área. Neste contexto, o fornecimento de fertilizantes em doses localizadas pode aumentar o aproveitamento das culturas, reduzir impactos ambientais e otimizar os recursos utilizados. COLAÇO & MOLIN (2017) testaram a utilização da adubação em doses variadas em pomares de citros e concluíram que o tratamento resultou em reduções na aplicação de potássio se comparado a aplicação com apenas uma dose por talhão, além de apresentar maior eficiência no fornecimento de fósforo quando este é feito com doses localizadas. Contudo, não foi avaliada a eficiência da utilização de doses variadas com base no balanço de nutrientes. CUNHA et al. (2014) afirmam que a análise do balanço de nutrientes em um longo período permite avaliar a utilização do uso de fertilizantes na agricultura e relacionar os avanços da produção com a adubação. DU et al. (2008) concluíram em seu trabalho com citrus que a utilização da adubação com doses variadas juntamente a outras ferramentas da agricultura de precisão resultou em benefícios ao meio ambiente, com reduções de poluições não pontuais de até 92%. Benefícios da utilização da aplicação de fertilizantes em doses variadas também foram observadas por LOPES (2010), em seu trabalho, os resultados mostraram que o tratamento localizado resultou em economia no fornecimento de fósforo e potássio e melhorias no rendimento da cultura, visto que a ferramenta promove melhor atendimento das demandas do solo e da planta. O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar o balanço de nutrientes entre a aplicação de fertilizantes em dose fixa e em doses variáveis, estimando entradas e saídas de nutrientes na cultura da laranja.

## MATERIAL E MÉTODOS

O cálculo do balanço de nutrientes foi realizado a partir de uma série de dados de amostragem de solo, adubação e produtividade, entre os anos de 2011 a 2016, coletados em uma unidade de produção de laranja destinada à indústria, localizada no município de Iaras, SP. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos, sendo um com doses variáveis (DV) e um com dose fixa (DF), com quatro parcelas de 25ha cada, totalizando oito repetições. As amostragens de solo foram realizadas em grade regular de 1 amostra ha<sup>-1</sup> em todos os anos de experimento, retirando-se seis subamostras à profundidade de 0,2 m, totalizando assim 200 pontos amostrais, como mostra a Figura 1.

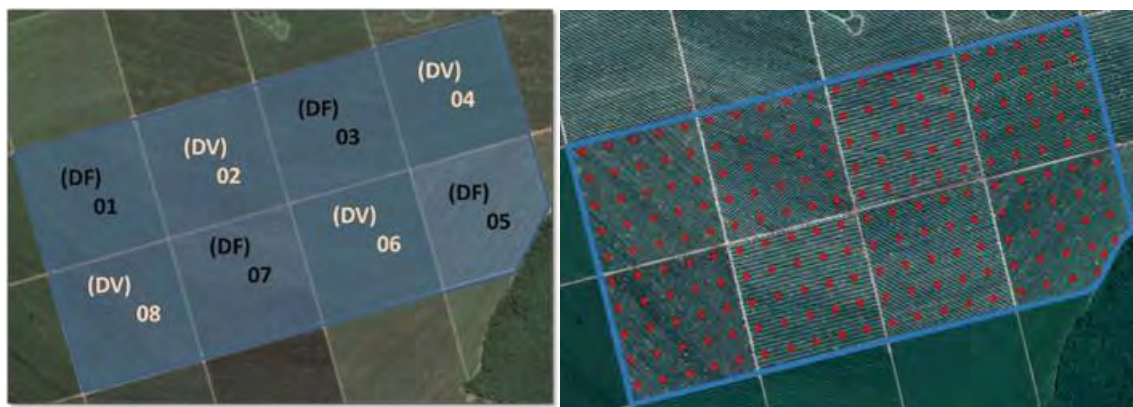


FIGURA 1. Croqui experimental dos talhões de tratamento com dose fixa (DF) e dose variável (DV), em Iaras, SP.

O resultado das análises de solo é o parâmetro inicial para o cálculo do balanço de nutrientes e permite estimar o estoque dos elementos no início do ano agrícola. Nos talhões que receberam o tratamento com dose fixa, a recomendação para a adubação foi feita a partir de uma única amostra retirada em cada talhão de 25 ha. Em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi gerado um buffer de diâmetro de 35 m ao redor de cada um dos pontos de coleta de solo e obtida a produtividade média para cada uma dessas áreas com base nos mapas de produtividade (Figura 2). Os mapas de produtividade foram criados segundo a metodologia de georreferenciamento dos sacolões proposto por MOLIN & MASCARIN (2007)

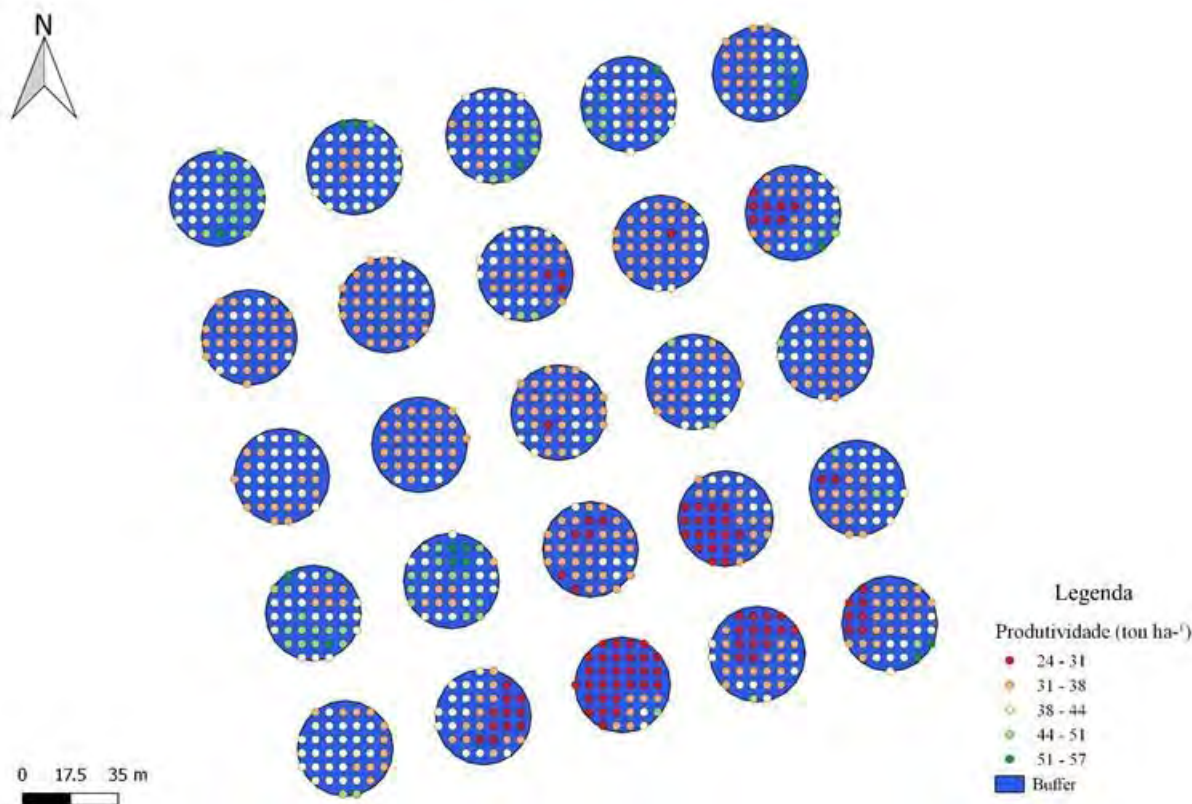


FIGURA 2. Método proposto para atribuição da produtividade média de cada um dos pontos amostrais para as áreas experimentais em Iaras, SP.

A Equação 1 traz o cálculo do saldo de nutrientes de um determinado ano, que corresponde à soma entre o estoque obtido do ano anterior e o que foi introduzido por meio de insumos menos o que foi exportado pela cultura na colheita.

$$S = E + I - C \quad (1)$$

em que: S – saldo de nutrientes no solo do ano agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); E – estoque de nutrientes no solo no início do ano agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); I – entrada de nutrientes no solo, via adubação, durante o ano agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); C – exportação de nutrientes do solo, via colheita, ao final do ciclo produtivo no ano agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). A entrada dos nutrientes potássio e fósforo no sistema foi calculada por meio da obtenção da quantidade de cada um destes nos insumos aplicados. Assim, a entrada de nutrientes é dada por:

$$IK = KCl \times 0,58 \times 0,83016 \quad (2)$$

em que: IK – entrada de potássio no solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); KCl – dose de cloreto de potássio aplicada no solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

$$IP = SS \times 0,18 \times 0,43642 \quad (3)$$

em que: IP – entrada de fósforo no solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); SS – dose de superfosfato simples aplicada no solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A exportação de nutrientes no sistema foi estimada com base nas concentrações de nutrientes no produto colhido estabelecidas por BATAGLIA (1977) e utilizadas no balanço de nutrientes da agricultura brasileira por CUNHA et al. (2010). Logo, a exportação de fósforo e potássio no sistema é dada por:

$$CK = 1,5 \times Y \quad (4)$$

em que: CK – quantidade de potássio extraída na colheita ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); Y – produtividade da cultura ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

$$CP = 0,2 \times Y \quad (5)$$

em que: CP – quantidade de fósforo extraída na colheita ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); Y – produtividade da cultura ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

As análises do saldo de nutrientes de fósforo e potássio foram realizadas por meio de estatística descritiva e permitiram avaliar a variabilidade espacial e temporal do balanço de nutrientes em cada ano agrícola e ao fim de todo o período, por meio da comparação dos indicadores obtidos em cada um dos pontos amostrais das oito áreas experimentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 traz os valores médios do saldo, dose e produtividade com o uso de fósforo e potássio para os dois tratamentos implementados nos oito talhões de produção de laranja.

TABELA 1. Saldo, dose e produtividade médios com o uso dos nutrientes fósforo e potássio para os tratamentos a dose fixa (DF) e dose variada (DV), entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

Tratamento	Saldo do nutriente (kg ha <sup>-1</sup> )		Dose média de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose média de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade Média (t ha <sup>-1</sup> )
	P	K			
DF	65,4	116,8	23,8	96,5	35,9
DV	64,3	177,6	20,3	122,6	37,9

Ao avaliar as entradas e saídas dos nutrientes no solo, observa-se que em média, o saldo de fósforo foi ligeiramente superior para os tratamentos com doses fixas, ao passo que os talhões que receberam diferentes doses apresentaram maior saldo de potássio. Nas áreas em que se utilizou de diferentes doses a produtividade final foi 5,6% maior. Sendo assim, quanto ao fósforo, o maior saldo nos talhões com tratamento com dose fixa pode estar diretamente relacionado ao maior fornecimento e menor extração, se comparado aos talhões com doses variadas. O maior saldo de potássio nos talhões com DV, no entanto, ocorreu mesmo com a maior exportação. Nesses talhões, o fornecimento de potássio foi maior para os tratamentos com variadas doses, o que pode estar relacionado ao valor de saldo observado. Os valores médios ao longo dos anos nos oito talhões (Tabela 2) detalham o panorama apresentado anteriormente.

TABELA 2. Dose e saldo médio de fósforo e potássio e produtividade média de cada um dos talhões ao longo de seis anos.

Talhão	Tratamento	Dose média (kg ha <sup>-1</sup> )		Produtividade Média (t ha <sup>-1</sup> )	Saldo médio (kg ha <sup>-1</sup> )	
		P	K		P	K
01	DF	23,0	95,6	34,4	64,0	118,8
02	DF	23,9	85,6	39,3	66,8	102,0
03	DF	25,0	102,9	30,0	64,0	126,2
04	DF	23,2	102,0	39,7	66,6	120,1
05	DV	22,0	133,7	38,1	41,1	168,7
06	DV	22,2	119,8	32,9	71,6	191,2
07	DV	18,7	118,4	38,9	68,7	177,4
08	DV	18,2	118,6	41,7	73,5	173,2

Os dados indicam que o fornecimento de potássio pode ainda apresentar desbalanço de acordo com a demanda da cultura mesmo quando da utilização de doses variadas, visto que o nutriente é o mais exigido pela cultura (BATAGLIA, 1977) e este possui alta mobilidade e potencial de perdas por lixiviação no solo. Logo, a metodologia aplicada pode não permitir o estabelecimento de relações mais concisas entre a entrada e saída do potássio em um sistema de produção de laranja, principalmente pela dinâmica do nutriente no solo e na planta. Observando-se apenas os efeitos dos tratamentos em cada uma das áreas, nota-se que para o caso do potássio, a utilização do fornecimento da adubação com doses variadas permitiu maior estoque de nutrientes nos talhões que receberam este tipo de tratamento. Para o fósforo, o mesmo cenário se repetiu, com exceção da área cinco, que apresentou o menor saldo ao longo dos seis anos. A comparação entre as doses médias de potássio e fósforo exigidas pela cultura e as doses fornecidas por meio da aplicação em doses fixas (Tabela 3) reforça os resultados apresentados acima quanto ao efeito dos tratamentos em cada uma das áreas.

TABELA 3. Doses médias exigidas e fornecidas de fósforo e potássio para o tratamento com dose fixa, entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

Nutriente	Dose média exigida pelas plantas (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose média fornecida (kg ha <sup>-1</sup> )
P	28,5	23,8
K	145,1	96,5

Com a aplicação em dose fixa, o atendimento às necessidades das culturas esteve, em média, abaixo do exigido pelas plantas, com base nos resultados obtidos nos vinte e cinco pontos amostrais de cada uma das áreas. Assim, nos talhões que receberam este tratamento, o saldo médio ao final do experimento foi menor em relação às demais áreas que receberam doses variadas.

Buscando avaliar o aproveitamento em cada um dos pontos amostrais monitorados ao longo dos cinco anos de implementação do experimento, calculou-se o coeficiente de variação para os talhões que receberam dose fixa (DF) e dose variada (DV) (Figuras 3,4, 5 e 6).

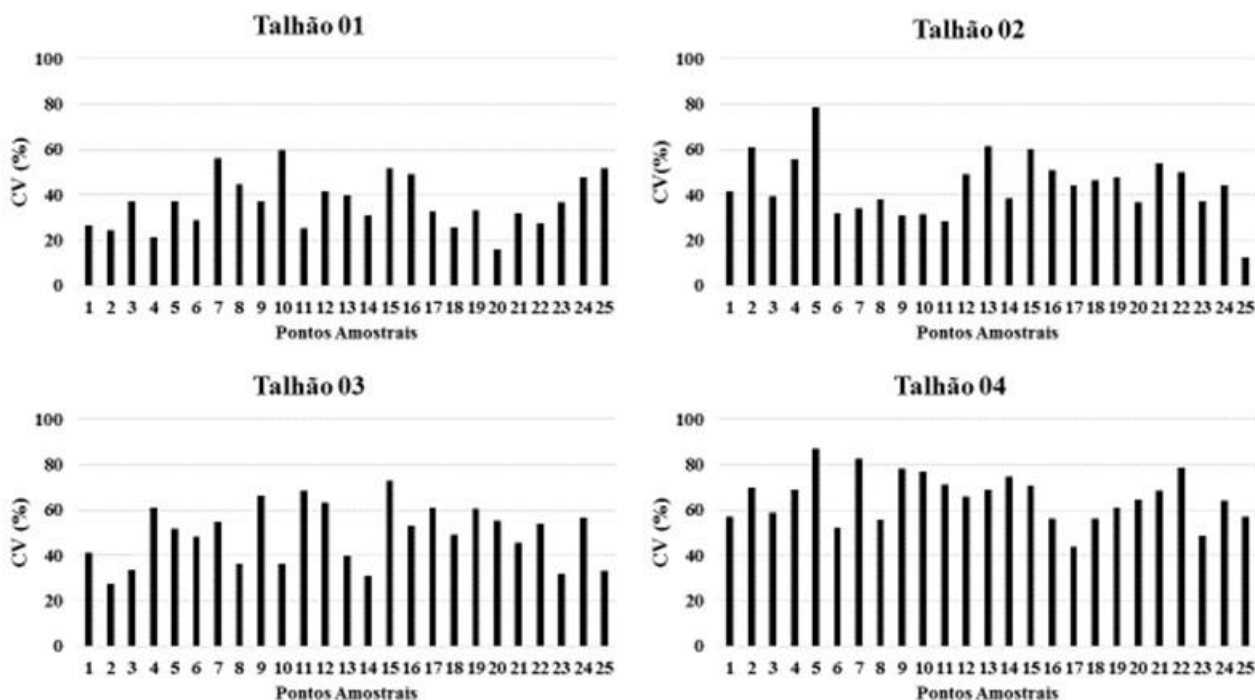


FIGURA 3. Coeficiente de variação do saldo de fósforo nos pontos amostrais dos talhões que receberam tratamento com dose fixa (DF), entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

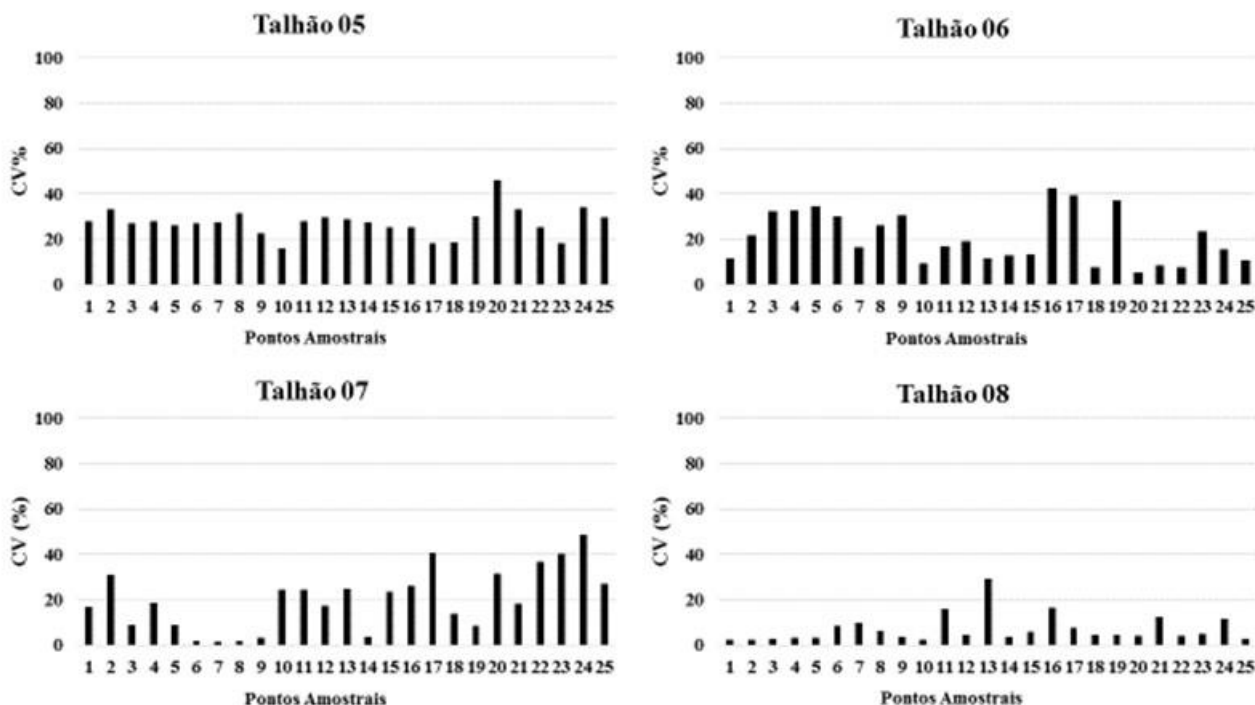


FIGURA 4. Coeficiente de variação do saldo de fósforo nos pontos amostrais dos talhões que receberam tratamento com doses variadas (DV), entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

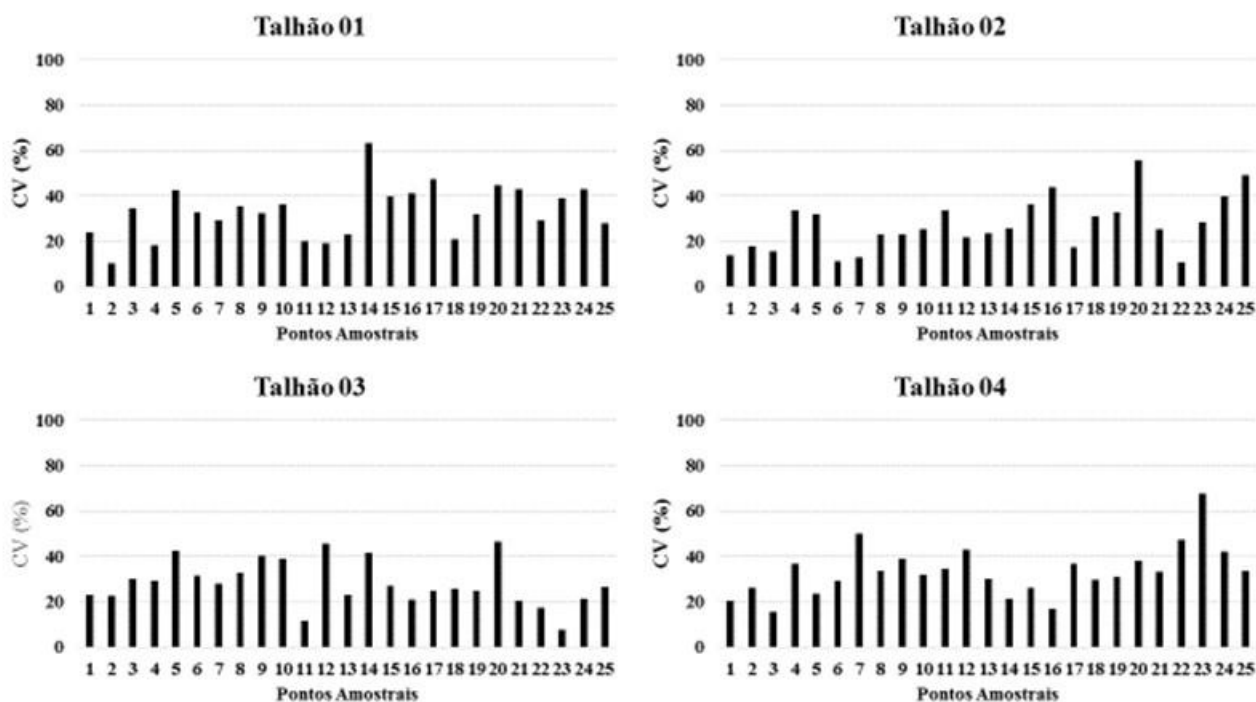


FIGURA 5. Coeficiente de variação do saldo de potássio nos pontos amostrais dos talhões que receberam tratamento com dose fixa (DF), entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

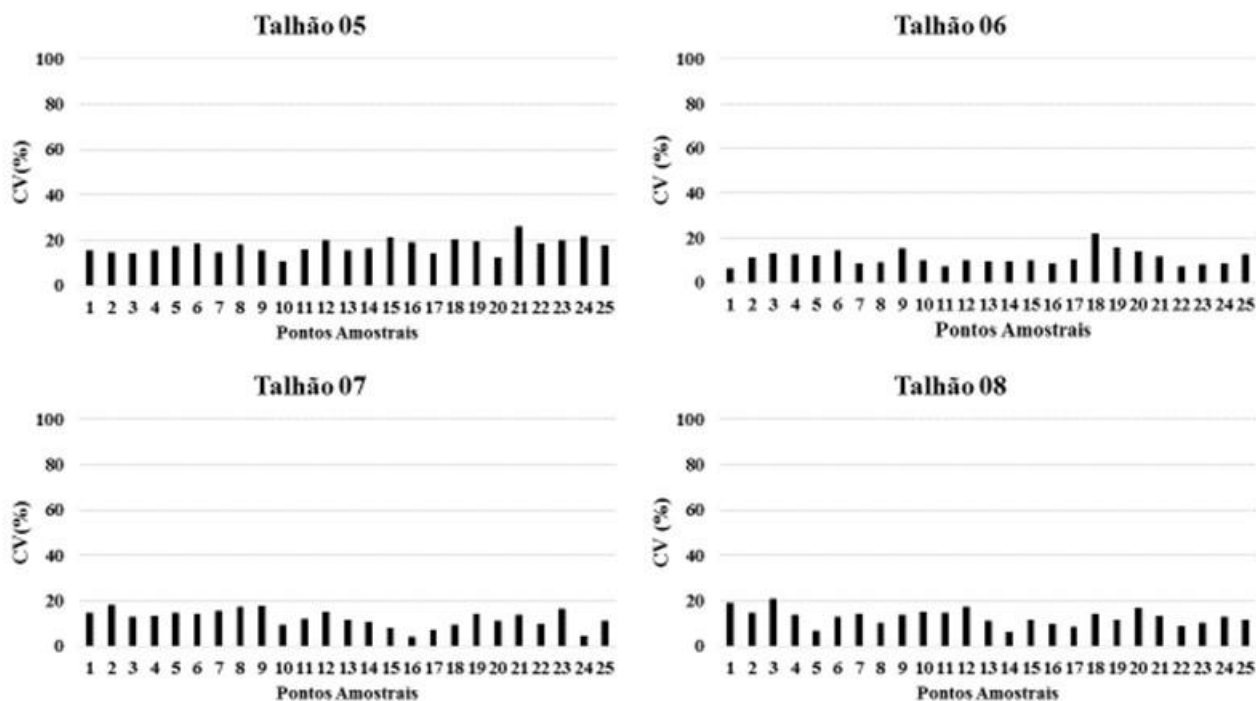


FIGURA 6. Coeficiente de variação do saldo de potássio nos pontos amostrais dos talhões que receberam tratamento com doses variadas (DV), entre os anos de 2012 e 2016, em Iaras, SP.

Os dados dos gráficos das figuras 3 a 6 mostram que, tanto para o fornecimento de fósforo como para o fornecimento de potássio, o coeficiente de variação do saldo do nutriente ao final do experimento foi maior para as áreas cujo tratamento foi DF. No caso do fósforo, o coeficiente de variação atingiu valores de até 80% nos talhões que receberam dose única, ao passo que nas áreas em que foram ofertadas diferentes doses, apenas 3% dos pontos apresentaram valores acima de 40%. Com relação a adubação potássica, nas áreas que receberam o tratamento DV, em 93% dos pontos o coeficiente de variação esteve abaixo dos 20%. Já para o tratamento DF, o percentual cai para 16%. O saldo de nutrientes nas áreas que

receberam dose única pode ter apresentado maiores variações visto que o fornecimento poderia estar aquém ou além da necessidade real da cultura, resultando ao final de cada ciclo em alterações mais expressivas no estoque do nutriente no solo, como a redução do saldo médio para ambos os nutrientes ao final do experimento. A adoção do tratamento localizado, no entanto permitiu menores variações e aumento do estoque de fósforo e potássio no solo.

## CONCLUSÃO

O cálculo do balanço de nutrientes, seguindo a metodologia apresentada neste trabalho, permitiu estabelecer relação entre a dose de fósforo aplicada e a extração do elemento, indicada pela produtividade final. Para o caso do potássio, a metodologia não permitiu estabelecer a relação de causa e efeito de modo direto, principalmente pela alta extração do nutriente pela cultura e pela dinâmica deste no sistema solo-planta. A menor oferta de fósforo por meio da adubação, visto que a utilização de doses variadas proporcionou redução na oferta do nutriente, resultou em maior produtividade e maior saldo do nutriente ao final dos seis anos. Com o aumento no fornecimento de potássio na adubação em doses variadas, os talhões apresentaram o maior saldo de potássio ao final do experimento.

## REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O. C., RODRIGUEZ, O., HIROCE, R., GALLO, J. R., FURLANI, P. R., & FURLANI, A. M. C. Composição mineral de frutos cítricos na colheita. **Bragantia**, 36(21), 215-221, 1977.
- COLAÇO, A. F., & MOLIN, J. P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study. **Precision Agriculture**, 18(2), 169-191, 2017.
- DU, Q., CHANG, N. B., YANG, C., & SRILAKSHMI, K. R. Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management. **Journal of Environmental Management**, 86(1), 14-26, 2008.
- CUNHA, J. F DA., FRANCISCO, E. A. B., CASARIN, V., & PROCHNOW, L. I. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira – 2009 A 2012. **Informações agronômicas**, v.145, 2014.
- LOPES, F. D. A. Adubação em doses variadas em citros. **Doctoral dissertation**, Universidade de São Paulo, 2010.
- MOLIN, J. P., & MASCARIN, L. S. Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Engenharia Agrícola**, 27(1), 259-266, 2007.

## **COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS CONVENCIONAL, DETERMINÍSTICO E DIGITAL NO MAPEAMENTO DE PROPRIEDADES DO SOLO**

**JULYANE VIEIRA FONTENELLI<sup>1</sup>, PAULO SÉRGIO GRAZIANO MAGALHÃES<sup>2</sup>,  
VIACHESLAV I. ADAMCHUK<sup>3</sup>, JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutoranda, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (19) 35211008, julyane.fontenelli@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas - SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Mecânico, Prof., Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade de McGill, Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canadá.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto de Ciência do Solo, ESALQ, USP, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O mapeamento das propriedades físicas e químicas do solo é imprescindível para os cultivos agrícolas. Objetivou-se comparar a eficiência dos métodos digitais, convencional e determinístico no mapeamento de propriedades do solo e identificar sua variabilidade espacial. Para isso foram coletadas informações edáficas, espectrais, topográficas e de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo em duas áreas agrícolas de aproximadamente 100 hectares cada, situadas no estado de São Paulo, Brazil. Assim, utilizou-se a caracterização da capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica (MO) e teor de argila do solo para verificação da eficácia dos métodos de mapeamento do solo. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-0,20 metros de profundidade, em diferentes arranjos de modo a caracterizar e validar os mapeamentos de solo estudados. Os métodos digitais foram elaborados através da construção de modelos de predição de atributos do solo utilizando-se as variáveis auxiliares coletadas. Os métodos convencional e determinístico foram caracterizados pela média aritmética e interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IDW) dos pontos de amostragem do solo, respectivamente. O desempenho dos interpoladores foi comparado usando o critério do erro quadrático médio da validação externa. O mapeamento digital do solo é preferível ao convencional e determinístico quando se tem limitação de recursos econômicos para investigações mais densas dos atributos do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** variabilidade espacial, amostragem, erro de predição

### **COMPARISON OF CONVENTIONAL, DETERMINISTIC AND DIGITAL METHODS IN THE MAPPING OF SOIL PROPERTIES**

**ABSTRACT:** The mapping of the physical and chemical properties of the soil is essential for agricultural crops. The objective of this study was to compare the efficiency of digital, conventional and deterministic methods in the mapping of soil properties for soil spatial variability characterization. Soil, spectral, topographic and apparent electrical conductivity (ECa) information was acquired in two agricultural areas of approximately 100 hectares, located in the state of São Paulo, Brazil. The characterization of the cation exchange capacity (CEC), organic matter (OM) and clay content of the soil was used to verify the effectiveness of soil mapping methods. The soil samples were collected at 0-0.20 m depth layer, in different arrangements in order to characterize and validate the soil mappings studied. The digital methods were elaborated through the construction of predictive models of soil attributes using the auxiliary variables collected. The conventional and deterministic methods were characterized by the arithmetic mean and inverse distance weighting (IDW) of the soil sampling points, respectively. The performance of the interpolators was compared using the criterion of the mean squared error of the external validation. Digital soil mapping is preferable to conventional and deterministic when there is a limitation of economic resources for more dense investigations of the soil attributes.

**KEYWORDS:** spatial variability, soil sampling, prediction error



## INTRODUÇÃO

O mapeamento das propriedades do solo é imprescindível para os cultivos agrícolas. Entretanto, o custo e o trabalho relacionados ao aumento da densidade amostral para a caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo são fatores que limitam a capacidade de representação das propriedades do solo encontradas a campo. Sendo assim é imperativa a busca de soluções eficazes de mapeamento dos atributos do solo a baixas densidades amostrais. Os métodos convencionais, largamente utilizados desde o advento da mecanização agrícola, utilizam a média de poucos pontos amostrais para representação dos atributos físicos e químicos do solo com posterior tratamento uniforme dos campos agrícolas. Desse modo, podem ser realizados manejos inadequados dos insumos agrícolas devido ao desconhecimento da variabilidade espacial dos solos (SILVA *et al.*, 2008). Para a caracterização da variabilidade espacial dos solos com baixas densidades amostrais podem ser utilizados os métodos determinísticos (SILVA *et al.*, 2008) e digitais (COELHO e GIASSON, 2010) para fins de agricultura de precisão (AP). Dentre os métodos determinísticos destaca-se o inverso do quadrado da distância (IDW), o qual possui baixo nível de complexidade e por consequência maior adesão de usuários no mapeamento de solo. Por outro lado, o mapeamento digital do solo (MDS) pode utilizar sensores que fornecem informações sobre o relevo, assinatura espectral e de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo para a elaboração de modelos de predição dos atributos físicos e químicos do solo. A utilização dessas variáveis auxiliares fornece uma melhor cobertura da área de estudo, diminuindo o número de amostras necessárias para a caracterização da variabilidade do solo no terreno. Contudo, a variabilidade espacial dos solos agrícolas é alterada pelo aporte de corretivos e fertilizantes. Esse fenômeno pode provocar uma aleatoriedade da distribuição espacial e consequente diminuição da dependência espacial dos atributos químicos. A verificação desta dependência é imperativa para a escolha da utilização de métodos determinísticos e digitais em detrimento ao convencional para o manejo dos solos agrícolas. Desse modo, é necessário verificar qual é a escolha mais assertiva de mapeamento do solo com baixas densidades amostrais. Assim, objetivou-se comparar a eficiência dos métodos digitais, convencional e determinístico no mapeamento de propriedades do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em duas áreas de estudo situadas nos municípios de Tabatinga e Descalvado, região central do Estado de São Paulo, Brasil. A área territorial dos campos de estudo é de aproximadamente 100 hectares cada, ambas cultivadas com cana-de-açúcar. Para avaliar a eficiência dos métodos determinístico e digital foram avaliados a distribuição espacial da capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica (MO) e argila. O número de amostras de solo coletadas em cada método foi padronizado na densidade de 1 amostra a cada 4 hectares para ambos os campos estudados. Para caracterização das áreas foram coletados pontos em grade regular composto de 3 subamostras retiradas em um raio inferior a 5 m, na camada de 0 a 0,20 m. O método convencional foi representado por planos de informações, com valores únicos, compostos pela média aritmética dos pontos amostrais para cada atributo do solo analisado. Para representação do método determinístico foi utilizada a interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IDW).

Em relação ao método digital optou-se pelo direcionamento de amostragem do solo utilizando-se como covariáveis imagens de satélite de solo exposto, feições do terreno derivados do modelo digital de elevação (MDE) e a CEa do solo, totalizando 3 categorias de mapeamento.

As imagens de solo exposto foram obtidas utilizando-se o satélite Landsat 8 – OLI com resolução espacial de 30 m. As imagens de satélite foram coletadas no período de reforma do canavial a fim de mitigar a influência da palha na caracterização espectral do solo. Para a predição dos atributos do solo foram utilizadas como variáveis espectrais as bandas referentes as porções do vermelho (640 – 670 nm), infravermelho próximo (850 – 880 nm), swir1 (1570 – 1650 nm) e swir2 (2110 – 2290 nm).

O modelo digital de elevação (MDE) foi obtido da base de dados topodata do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com resolução espacial de 30 m (VALERIANO, 2005). A partir do MDE foram derivados os índices topográficos: Relative Slope Position (RSP), Vertical Distance Channel Network (VDCN), Vertical Distance (VD), Channel Network Base Level (CNBL).

A CEa do solo das áreas experimentais foi mensurada utilizando-se o sensor EM38-MK2® (Geonics, Mississauga, Ontário, Canadá), inserido em um cilindro PVC, o qual foi conectado a um receptor GPS (Juno 3B, Trimble) e tracionado por um quadrículo. Os dados de CEa da camada de 0 – 0,38 m de profundidade foram analisados, removendo-se valores discrepantes da amostra (outliers) para posterior geração de mapas de superfícies por interpolação utilizando a krigagem ordinária. A CEa foi medida de forma contínua na linha e com espaçamento de 6 metros entre passadas.

Além disso, para avaliar o desempenho do mapeamento digital do solo foi empregado o uso sinérgico de todas as covariáveis (sinergia completa), bem como a seleção de camadas pelo maior valor do índice de Moran (IM) dentro de cada categoria analisada (sinergia – IM). Para a área 1 foram selecionados como representantes da feição do terreno (CNBL), imagem de solo exposto (swir2) e CEa. Na área 2, os maiores IM foram observados para a banda espectral swir1, feição do terreno (VD) e CEa, Tabela 1. O índice de Moran foi utilizado para acessar a autocorrelação espacial das variáveis auxiliares. O principal objetivo foi identificar as variáveis auxiliares que apresentassem maior estrutura espacial e por consequência maior poder preditivo no mapeamento digital de solos.

TABELA 1. Autocorrelação espacial das variáveis utilizadas nos mapeamentos digitais em dois campos de estudo. **Spatial autocorrelation of variables used in digital mapping in two fields of study.**

Áreas	Feições do terreno				Imagens de solo exposto				CEa	
	Elevação	CNBL	RSP	VD	VDCN	VER	IVP	Swir1		Swir2
1	0,39	0,58*	0,28	0,39	0,28	0,47	0,48	0,49	0,50*	0,42*
2	0,76	0,75	0,73	0,77*	0,70	0,65	0,67	0,69*	0,68	0,53*

Nota: CNBL – Channel Network Base Level; RSP: Relative Slope Position; VD – Vertical Distance; VDCN - Vertical Distance Channel Network; VER – vermelho; IVP – infravermelho próximo; Swr1 – Swort Infrared 1; Swir2 – Swort Infrared 2; CEa – Condutividade elétrica aparente do solo; \*Variáveis selecionadas para o mapeamento digital sinergia - IM (Índice de Moran) para cada categoria analisada em duas área experimentais.

Com o intuito de otimizar o esquema de amostragem para calibração dos modelos digitais, o direcionamento amostral foi executado por meio da integração do método de amostragem por hipercubo latino, LHS sigla em inglês, (MINASMY e McBRATNEY, 2006) aos critérios de otimização D.optimality,  $D_{opt}$  (SAS, 2008) e S.optimality,  $S_{opt}$  (SAS, 2008). Esse esquema foi necessário visando a união de três regras imperativas ao direcionamento amostral para mapeamentos digitais. Primeira, a amostragem deve ser capaz de captar a variação total das covariáveis de interesse na área de estudo, exigência atingida pelo LHS. Segundo, os pontos amostrais devem expressar a melhor relação entre os sensores utilizados,  $D_{opt}$ . Terceiro, a amostragem deve ser esparsa cobrindo toda a área de estudo, evitando pontos amostrais muito próximos,  $S_{opt}$ .

Após a obtenção das covariáveis auxiliares e posterior direcionamento amostral para os mapeamentos digitais foram elaborados os modelos de predição dos atributos de solo baseados em análises de regressão. O tipo de regressão foi escolhido de acordo com a quantidade de layers e multicolinearidade entre as covariáveis de estudo (Tabela 2). Seguindo esse raciocínio, se mais de um layer for utilizado para predizer as propriedades do solo a regressão passará de simples para multivariada. Além disso, se houver presença de multicolinearidade entre as covariáveis auxiliares é necessário o uso de métodos que contornem a redundância de informação entre os dados preditores, como exemplo a Regressão Parcial de Mínimos Quadrados (PLSR). A qualidade da calibração desenvolvida foi avaliada com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de valores medidos versus previsto. De acordo com Terra *et al.* (2015) valores de  $R^2$  menor que 0,50 indicam modelos com baixa capacidade de predição, enquanto que valores de  $R^2$  entre 0,50 e 0,75 indicam modelos aceitáveis e por fim, valores maiores que 0,75 indicam excelentes modelos de predição.

TABELA 2. Mapeamentos digitais e tipos de regressão utilizados na predição dos atributos do solo em duas áreas de estudo. **Digital mapping and regression types used in prediction of soil attributes in two fields of study.**

Mapeamentos Digitais	Tipo da Regressão
CEa	Regressão Linear Simples (RLS)
Sinergia - IM	Regressão Linear Múltipla (RLM)
Sinergia Completa	Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR, sigla em inglês)
Solo exposto	
Feições do Terreno	

Nota: CEa – Condutividade Elétrica aparente do solo; IM – Índice de Moran.

Para ter acesso ao erro de mapeamento dos atributos do solo foram coletados pontos de amostragem de validação externa, perfazendo 27 pontos aleatórios de amostragem na área 1 e 50 pontos de amostragem aleatórios na área 2. Após a delimitação dos arranjos amostrais de calibração (1 amostra a cada 4 hectares) e validação dos métodos de mapeamento do solo, procedeu-se a coleta e análise do solo nas áreas sob estudo em camada de 0 – 0,20 m de profundidade do solo (horizonte A), com o auxílio do trado tipo holandês e georreferenciada com um receptor GPS Trimble Juno 3B.

Na área 1 devido às condições climáticas locais a coleta do solo foi realizada um mês após a aplicação da vinhaça, em contrapartida na área 2 as amostras de solo foram coletadas logo após a colheita do canavial. Após a coleta de solo, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 45°C por um período de 24 horas e peneiradas em malha de 2 mm. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para a realização de análises física e químicas em laboratório. A composição granulométrica do solo foi obtida através do método do densímetro (CAMARGO *et al.*, 1986). As análises de MO e CTC foram realizadas segundo (RAIJ *et al.*, 1997).

Para comparar o efeito dos diferentes métodos de mapeamento para cada atributo do solo, os resíduos quadráticos (RQ), Equação 1, do conjunto de validação externo foram submetidos a análise de variância (Anova), e, quando significativos, ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$RQ = (y_{pred} - y_{ref})^2 \quad (1)$$

em que: RQ = Resíduo Quadrático;  $y_{pred}$  = Valor predito;  $y_{ref}$  = Valor de referência

Levando em consideração que o teste de Fisher presente na Anova leva em consideração o cálculo da variância do conjunto de dados, optou-se por inserir o RQ, ao invés do RMSE (Raiz Quadrática do Erro Médio) como dados de entrada para os testes estatísticos adotados.

Além disso, para facilitar a interpretação dos resultados procedeu-se o cálculo do RMSE do conjunto de validação externo para todos os atributos de solo mapeados pelos métodos estudados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis auxiliares mensuradas na área 1 não obtiveram correlação significativa com a CTC, (Tabela 3), indicando que as variáveis ambientais isoladamente não explicam a variabilidade espacial desse atributo químico.

De modo geral, os atributos do relevo apresentaram menores correlações com os teores de MO e Argila, quando comparados as variáveis de solo exposto e CEa do solo (Tabela 3). Esses resultados podem ser explicados devido a recente sistematização do terreno na área 1, fazendo com que a variabilidade da elevação não fosse mais natural e sim recriada para otimizar o aproveitamento das máquinas em campo.

Em relação a área 2, todas as variáveis auxiliares obtiveram coeficientes de correlação significativo com os atributos de solo estudados, indicando a possibilidade de boa calibração de modelos para o mapeamento digital do solo (Tabela 3).

TABELA 3. Coeficientes de correlação entre os atributos de solo estudados e as variáveis auxiliares utilizadas no mapeamento digital em duas áreas de estudo. **Coefficients of correlation between soil attributes and ancillary variables used in digital mapping in two fields of study.**

Áreas	Atributos do solo	Feições do Terreno					Imagens de solo exposto				CEa
		Elevação	CNBL	RSP	VD	VDCN	VER	IVP	Swir1	Swir2	
1	CTC	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
	MO	0,16 <sup>ns</sup>	0,24*	0,25*	-0,39*	0,09 <sup>ns</sup>	0,69*	0,68*	0,67*	0,69*	0,68*
	Argila	-0,18 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,28*	0,93*	0,93*	0,94*	0,95*	0,91*
2	CTC	-0,71*	-0,74*	-0,63*	0,71*	-0,63*	0,76*	0,76*	0,77*	0,77*	0,55*
	MO	-0,65*	-0,69*	-0,57*	0,65*	-0,57*	0,72*	0,73*	0,74*	0,73*	0,62*
	Argila	-0,80*	-0,82*	-0,70*	0,80*	-0,71*	0,87*	0,88*	0,88*	0,89*	0,82*

Nota: CNBL – Channel Network Base Level; RSP: Relative Slope Position; VD – Vertical Distance; VDCN – Vertical Distance Channel Network; VER – vermelho; IVP – infravermelho próximo; Swir1 – Swort Infrared 1; Swir2 – Swort Infrared 2; CEa – Condutividade elétrica aparente do solo; \*significativo a 5%; <sup>ns</sup> não significativo.

O mapeamento digital caracterizado pela sinergia IM (Índice de Moran) apresentou os maiores valores de coeficientes de determinação (Figura 1) e menores valores de RMSE da calibração (Figura 2) para todos os atributos de solos analisados na área 2. Além disso, a sinergia IM também apresentou os maiores valores de  $R^2$  de calibração entre os modelos digitais para todos atributos de solo na área 1. Esse resultado comprova a validade do índice de Moran como ferramenta de seleção de variáveis predictoras dos modelos digitais.

A calibração dos modelos digitais dos teores de argila apresentou excelente qualidade preditiva ( $R^2 > 0,75$ ) para a área 1, com exceção do mapeamento digital com variáveis do relevo, o qual apresentou baixa capacidade preditiva de acordo com a classificação de Terra et al. (2015), Figura 1.

Em relação a área 2 os modelos de predição de argila tiveram desempenho aceitáveis ( $0,50 \leq R^2 \leq 0,75$ ) para todos os mapeamentos utilizados (Figura 1). Assim, o teor de argila comprovou ser o atributo de solo de maior relação com as covariáveis utilizadas, em grande parte devido ao maior teor no solo e por consequente maior interação com as variáveis predictoras, quando comparado aos atributos químicos utilizados.

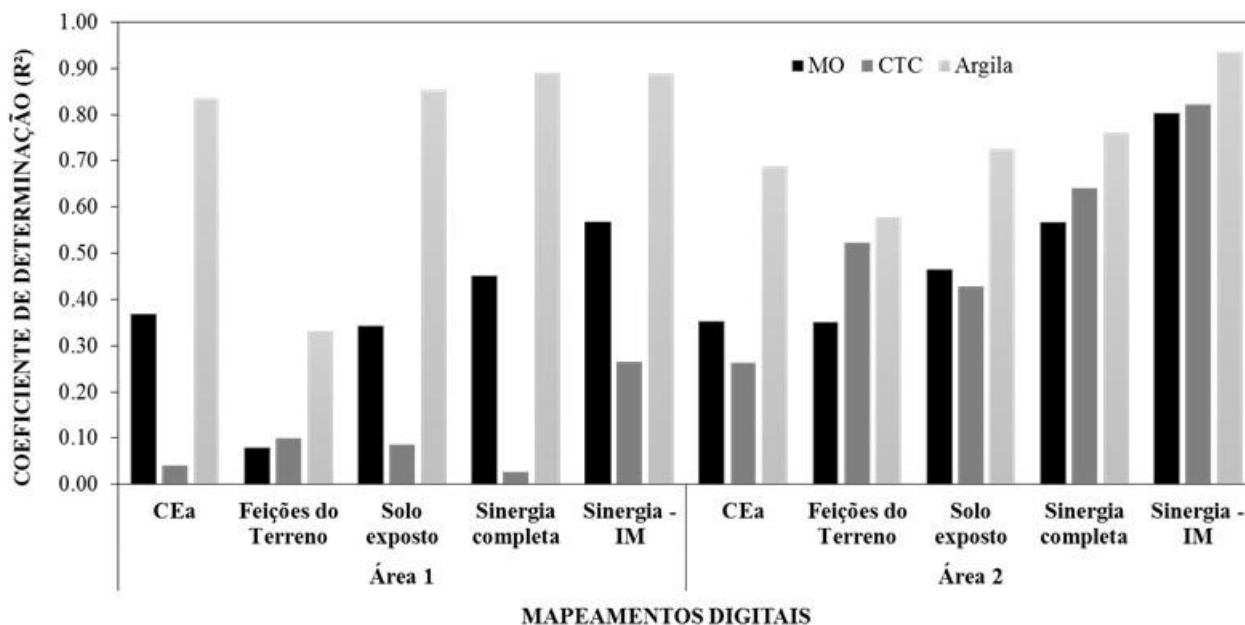


FIGURA 1. Comparação dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da calibração dos modelos digitais para cada atributo do solo em duas áreas de estudo. Nota: Cea – Condutividade Elétrica aparente do solo; IM – Índice de Moran. **Comparison of the coefficient of determination of the calibration set among the digital methods for each soil attribute in two fields of study.**

No que se refere ao RMSE da calibração dos modelos digitais, observa-se pior acurácia das feições do terreno quando comparados aos demais métodos digitais utilizados para todos os atributos de solo em ambas as áreas de estudo, com exceção dos teores de CTC na área 2, o qual apresentou a pior modelagem com a utilização da Cea do solo (Figura 2). A superioridade dos métodos que utilizaram as variáveis espectrais de solo exposto e Cea do solo em relação às feições do terreno, pode ser explicada devido a possibilidade de maior interação da leitura espectral e de condutividade elétrica com o solo, proporcionando assim uma melhor acurácia na qualidade da calibração dos modelos digitais. A MO exerce papel fundamental na atenuação da refletância do espectro eletromagnético (COLEMAN E MONTGOMERY, 1987), ao passo que os minerais de argila apresentam feições de absorção específicas nas porções do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (SOUSA JUNIOR et al., 2011). Desse modo, parâmetros do solo como textura e teores de MO interferem diretamente nas curvas espectrais do solo, aumentando a qualidade dos modelos espectrais de calibração. Por outro lado, a Cea possui ótima relação com a argila e atributos químicos do solo, como comprovando em trabalhos desenvolvidos por Machado et al. (2006) e mais recentemente por Sanches et al. (2018).

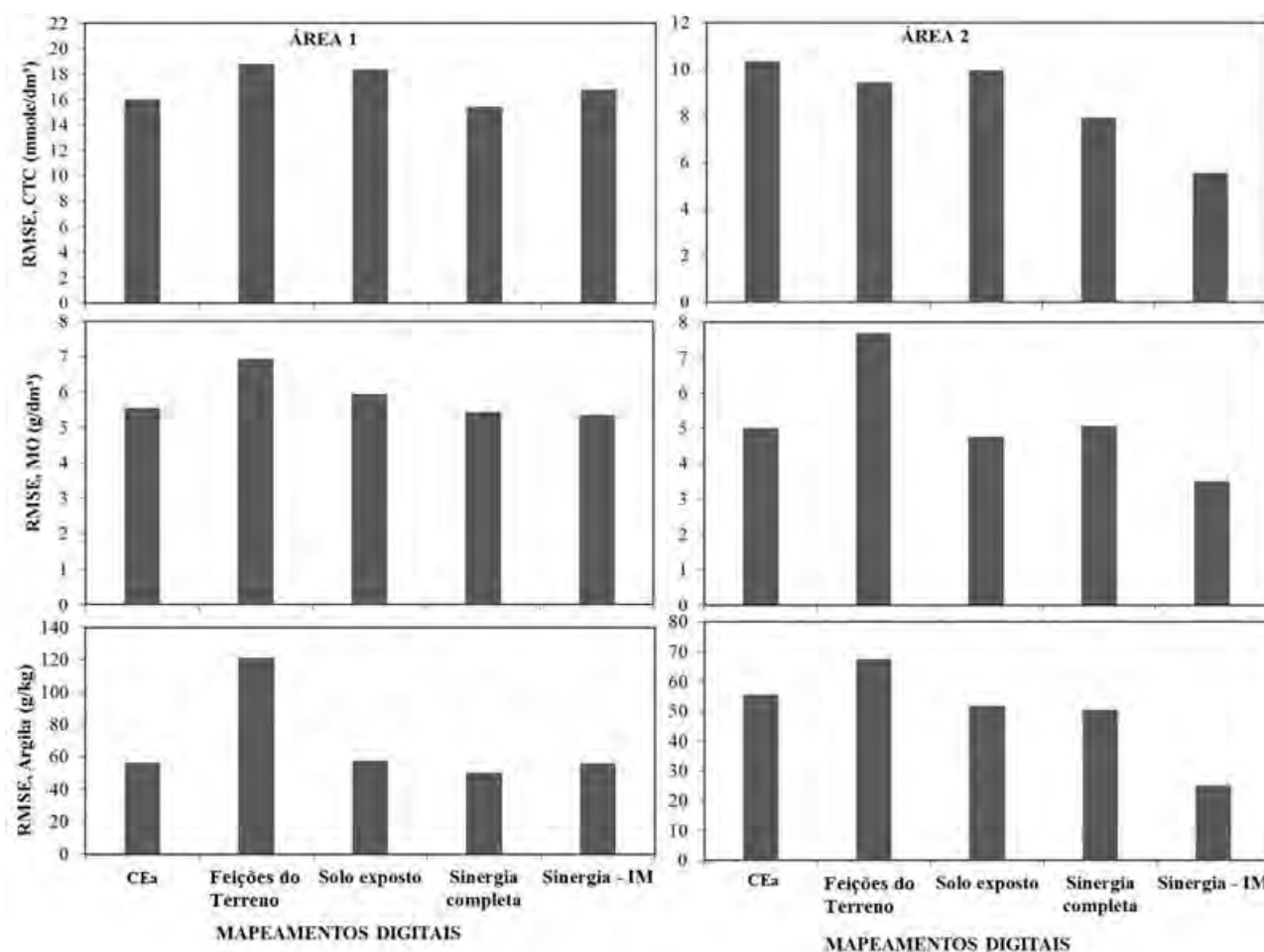


FIGURA 2. Comparação da raiz do erro quadrático médio (RMSE) da calibração dos modelos digitais para cada atributo do solo em duas áreas de estudo. Nota: CEa – Condutividade Elétrica aparente do solo; IM – Índice de Moran. **Comparison of the root mean squared errors (RMSE) of the calibration set among the digital methods for each soil attribute in two fields of study.**

Em relação a validação externa dos métodos de mapeamento do solo, na área 1, apenas a estimativa dos valores de argila foi influenciada significativamente pelos métodos de mapeamento do solo, com destaque aos métodos determinísticos e digitais em relação à média (Figura 3). A ausência de resposta significativa dos teores de MO e CTC aos mapeamentos pode ser atribuída à aplicação da vinhaça um mês antes da coleta do solo. Barros *et al.* (2010) em estudo sobre a alteração da fertilidade em solos sob aplicação de vinhaça concluiu que essa prática de fertirrigação aumentou o teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica no solo. Desse modo, a aplicação de vinhaça contribuiu para a diminuição da variabilidade espacial da fertilidade devido ao grande aporte de matéria orgânica e macronutrientes ao solo, ocasionando uma aleatorização da distribuição espacial dos atributos químicos e por consequência menor eficácia dos métodos determinístico e digitais na predição da fertilidade do solo. Os teores estimados de CTC, MO e argila, na área 2, foram afetados significativamente pelos métodos de mapeamento do solo. Os mapeamentos digitais e determinístico aumentaram a qualidade preditiva da modelagem da CTC e argila quando comparados à média (Figura 3). Ainda em relação a área 2, observou-se que para o mapeamento da MO somente os métodos digitais que empregaram a sinergia de sensores foram eficazes quando comparados ao método convencional. A agregação de informações de imagem de satélite e CEa do solo também foi reportada por Wetterlind *et al.* (2010) com o intuito de identificar a variabilidade espacial do solo para o direcionamento mais eficaz da amostragem. Em adição, Artur *et al.* (2014), relataram a importância da utilização do relevo para o entendimento da variabilidade espacial do solo. O relevo atua diretamente na heterogeneidade da disponibilidade de nutrientes devendo ser considerado no manejo diferenciado do solo e da cultura. Essas constatações comprovam a importância da utilização de um conjunto de sensores para a predição de mapas temáticos de solos com maior acurácia, tendo em vista que a aquisição de informações espectrais, topográficas e de CEa do solo sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros fatores do solo cuja variação espacial e

temporal pode ser atribuída às variações nos teores de água, de argila e de sais dissolvidos no solo (AUERSWALD *et al.*, 2001; WETTERLIND, *et al.*, 2010; ARTUR *et al.*, 2014). Embora, as abordagens digitais e determinística apresentem desempenho similar na estimativa de propriedades do solo em estudo (CTC, MO e argila), o mapeamento digital pode se tornar mais atrativo tendo em vista a possibilidade de extrapolação da capacidade preditiva dos modelos em áreas circunvizinhas, com características ambientais semelhantes, reduzindo os custos na representação da variabilidade espacial das propriedades do solo para fins de agricultura de precisão.

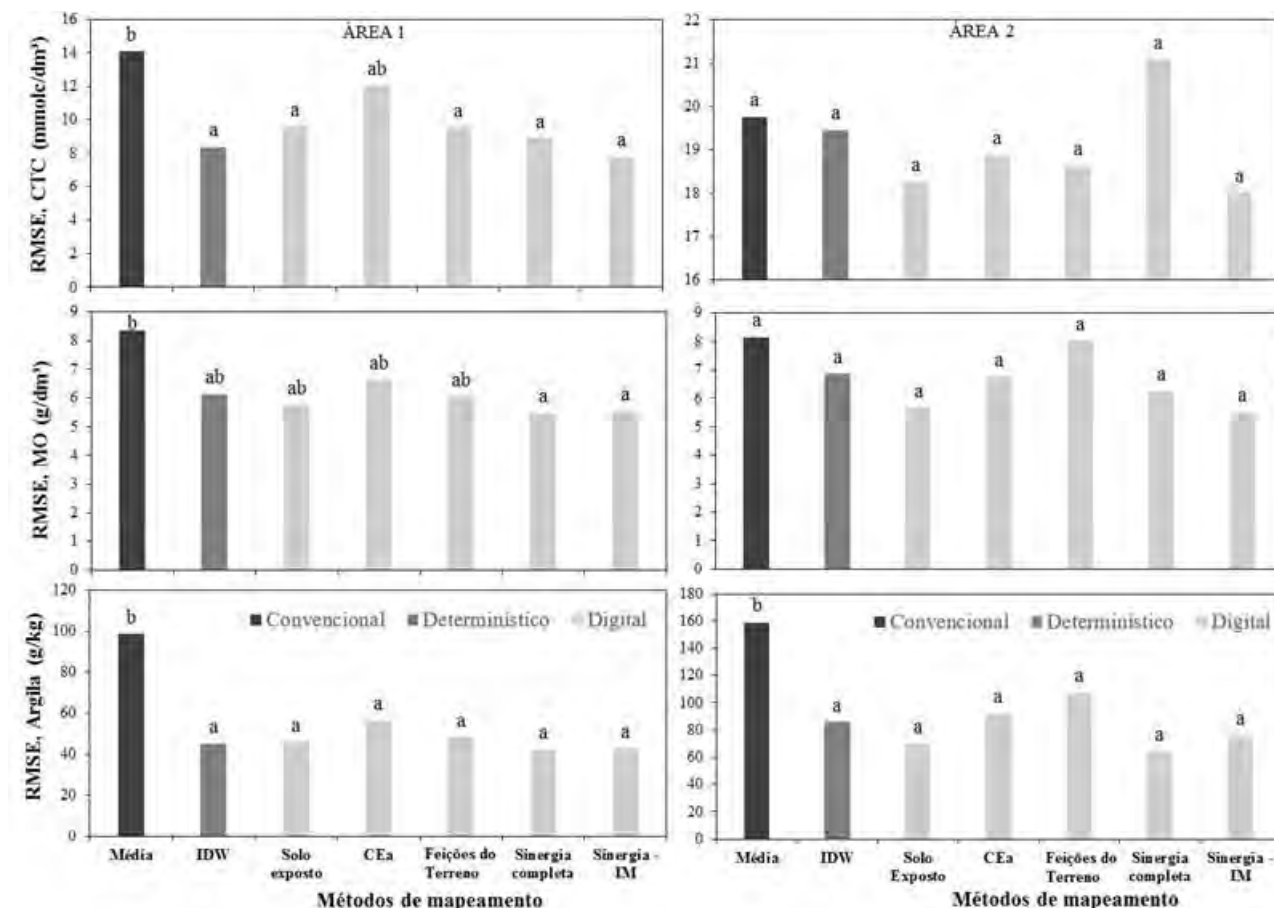


FIGURA 3. Comparação dos erros quadráticos médios (MSE) do conjunto de validação entre os métodos de mapeamento para cada atributo do solo em duas áreas de estudo. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si. Tukey 5%. Para facilitar a interpretação dos resultados os erros quadráticos médios (MSE) foram convertidos em raiz do erro quadrático médio (RMSE). **Comparison of the mean squared errors (MSE) of the validation set among the mapping methods for each soil attribute in two fields of study.**

## CONCLUSÃO

Para os atributos de solo avaliados, somente os mapeamentos digitais empregando a sinergia de sensores aumentam a eficiência da modelagem quando comparados ao método convencional. O mapeamento digital é preferível ao convencional e determinístico quando se tem limitação de recursos econômicos para investigações mais densas dos atributos do solo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de doutorado sanduíche no exterior (PDSE) subsidiado pela Capes, processo 88881.134991/2016-1 e ao grupo interdisciplinar de tecnologia em agricultura de precisão (GITAP) pela contribuição na pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ARTUR, A. G., OLIVEIRA, D. P., COSTA, M. C. G., ROMERO, R. E., SILVA, M. V. C., FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.141–149, 2014.

AUERSWALD, K.; SIMON, S.; STANJEK, H. Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. **Soil Science**, v. 166, p. 382-390, 2001.

BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 2099-2106, 2010.

CAMARGO, A. O., MONIZ, A. C., JORGE, J. A., VALADARES, J. M. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986, 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2099-2106, 2010.

COLEMAN, T.L.; MONTGOMERY, O.L. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v.53, p.1659-1663, 1987.

MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.

MINASNY, B. McBratney, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of the ancillary information. *Computers and Geosciences*, v. 32, n. 9, p.1378-1388, 2006.

RAIJ, van B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: (Boletim Técnico, 100), 1997, 285 p.

SANCHES, G. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; REMACRE, A. Z.; FRANCO, H. C. J. Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. *Soil & Tillage Research*, v. 175, p. 217-225, 2018.

SAS.Optimality criteria. SAS/QC Use's Guide. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

SILVA, S., A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. **Idésia**, v. 26, p. 75 -81, 2008.

Sousa Junior, J. G., Demattê, J. A., Araújo, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores e atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, v.70, p. 610-621, 2011.

TERRA, F. S.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis-NIR and mid-IR reflectance data. **Geoderma**, v. 255-256, p. 81-93, 2015.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1-8. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf> >. Acesso em: 06 nov. 2016.

WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; SÖDERSTRÖM, M. Increased sample point density in farm soil mapping by local calibration of visible and near infrared prediction models. **Geoderma**, v. 156, n. 3, p. 152-160, 2010.

## **CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO PARA O MONITORAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE SPHENOPHORUS LEVIS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**EDUARDO GRANSO<sup>1</sup>, TIAGO R. TAVARES<sup>2</sup>, JADER S. DA SILVA<sup>3</sup>, FRANZ A. PAVLU<sup>4</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng° Agrônomo, Analista, Usina Iracema – São Martinho, Iracemápolis – SP, Fone: (19) 3456-7700, eduardo.granso@saomartinho.com.br

<sup>2</sup>Eng° Agrônomo, Doutorando, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP;

<sup>3</sup>Eng° Agrônomo, Gestor de Qualidade Agrícola, Usina Iracema – São Martinho, Iracemápolis – SP;

<sup>4</sup>Eng° Agrônomo, Me., CEO, Drop Agricultura, Piracicaba – SP;

<sup>5</sup>Eng° Agrícola, Prof., Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O *Sphenophorus levis* é uma das principais pragas de solo da cana-de-açúcar. O diagnóstico é executado por amostragem em todo o talhão, em uma densidade fixa. Sua distribuição não ocorre de maneira aleatória, sendo influenciada pelas propriedades físico-químicas do solo. O objetivo deste trabalho foi explorar as relações entre a distribuição espacial do *S. levis* e a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), avaliando a possibilidade de utilização desta ferramenta para definir áreas de maior e menor risco de infestação. O estudo foi conduzido em duas áreas pertencentes à Usina Iracema, em Iracemápolis-SP. Os dados de CEa foram coletados utilizando o sensor V3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas) e o levantamento de *S. levis* foi realizado pela equipe da própria Usina. Também foram utilizados os resultados de análise textural de alguns pontos dos talhões. Ambas as áreas apresentaram correlação entre os dados de CEa e argila. As classes de CEa com maiores valores apresentaram maior frequência de tocos atacados em relação às classes de valores menores. Os resultados observados são sugestivos para indicação da CEa como ferramenta para o direcionamento da amostragem de *S. levis* em talhões de cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** atributos do solo, bicudo-da-cana, manejo integrado de pragas.

### **SOIL APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY FOR MONITORING SPHENOPHORUS LEVIS SPATIAL DISTRIBUTION IN SUGARCANE**

**ABSTRACT:** *Sphenophorus levis* is one of the main soil pests of sugarcane. The diagnosis is performed by sampling the whole field, in a fixed density. Its distribution does not occur in a random manner, being influenced by the physical-chemical properties of the soil. The objective of this work was to explore the relationships between the spatial distribution of *S. levis* and the soil apparent electrical conductivity (CEa), evaluating the possibility of using this tool to define areas of higher and lower risk of infestation. The study was conducted in two areas belonging to the Iracema Power Plant, in Iracemápolis-SP. CEa data were collected using the V3100 equipment (Veris Technologies, Salina, Kansas) and the *S. levis* survey was performed by the Plant's own team. Also the results of textural analysis of some points of the fields were used. Both areas presented a correlation between CEa and clay data. The CEa classes with higher values presented a higher frequency of attacked stumps than the smaller classes. The observed results are suggestive for the indication of CEa as a tool to guide the sampling of *S. levis* in sugar cane fields.

**KEYWORDS:** soil attributes, sugarcane weevil, integrated pest management



## INTRODUÇÃO

Com o fim das queimadas dos canaviais e, o aumento da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, os problemas relacionados à sanidade da cultura tendem a crescer, principalmente em relação a insetos-pragas (ALMEIDA, 2008). O bicudo da cana-de-açúcar (*Sphenophorus levis*) é considerado uma importante praga desta cultura, podendo ocasionar perdas expressivas de produtividade, chegando a 30 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em casos mais severos (DEGASPARI et al., 1987). As larvas causam danos diretos nos colmos e nas partes subterrâneas da touceira, podendo causar a morte das plantas, falhas na rebrota e diminuição da produtividade e longevidade do canavial (PRECETTI; ARRIGONI, 1990).

O conjunto de operações envolvidas para o seu controle pode encarecer a atividade, sendo importante o monitoramento das áreas infestadas por meio da amostragem da praga. Boletins técnicos têm sugerido que o levantamento populacional seja realizado logo após o corte do canavial, antes da destruição das soqueiras. São coletadas duas amostras por hectare, onde em cada ponto faz-se uma cova de 0,5 x 0,5 x 0,3 m; tornando-se um método que exige de grande esforço para que todas áreas sejam avaliadas dentro do prazo disponível.

A distribuição espacial de *S. levis*, assim como os danos causados pelo mesmo, são altamente agregados (alcance curto) e não ocorre de forma aleatória, sendo possível investigar a relação de sua incidência com determinados fatores como atributos físicos e químicos. Um dos avanços que se espera com a gestão localizada e mais intensa das lavouras é a expansão da oferta de técnicas e tecnologias para o monitoramento e diagnóstico localizado dos fenômenos. Dentre eles, a investigação espacial da ocorrência de insetos-praga pode ser uma peça chave na busca por maiores produtividades.

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) é uma tecnologia que permite a caracterização física do solo de forma qualitativa, com alta resolução espacial e baixo custo. Molin e Faulin (2013) descrevem a condutividade elétrica (CE) como a habilidade que um material possui em conduzir eletricidade, sendo mensurada pela unidade padrão Siemens por metro (S m<sup>-1</sup>). A CEa do solo é a mensuração da CE no momento da avaliação, onde é possível aferir este parâmetro de acordo com as condições presentes do solo em questão (MOLIN, 2015). Alguns fatores podem afetar a CEa, como salinidade do solo, teor de argila, capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de umidade do solo (Mc NEILL, 1992; RHOADES et al., 1999).

A hipótese deste estudo é de que a variabilidade espacial da CEa se relaciona indiretamente com a distribuição espacial de *S. levis*, viabilizando sua utilização no auxílio do direcionamento de amostragens para o diagnóstico desta praga. Assim, o trabalho objetivou avaliar as relações entre a ocorrência de *S. levis* e a CEa em dois talhões de cana-de-açúcar, analisando-se a frequência de tocos atacados (TA) localizados em diferentes classes de condutividade elétrica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas áreas pertencentes à Usina Iracema, localizada no município de Iracemápolis-SP. A primeira área (A) possui 49,84 ha e está em seu 6º corte. O solo foi caracterizado como Latossolo vermelho eutrófico pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). A segunda área (B) possui 49,57 ha em área de Latossolo vermelho-amarelo álico e está em seu 7º corte. A amostragem de solo para quantificação do teor de argila (profundidade de 0 a 25 cm) foi realizada numa densidade de 1 amostra a cada 5 ha, totalizando 9 amostras para a área A e 10 para a área B.

O levantamento de *S. levis* foi realizado por uma equipe responsável pelo monitoramento de pragas da própria usina. Os dados foram coletados nos dias 31/05/2017, 20/06/2017 e 04/07/2017 para a área A e no dia 14/08/2017 para a área B. A amostragem foi feita numa densidade de aproximadamente 9 pontos por hectare, totalizando 446 pontos na área A e 474 na B. Pavlu e Molin (2016), estudando métodos de amostragem de *S. levis*, observaram dependência espacial da praga a partir de 14 amostras ha<sup>-1</sup>.

A partir do vértice do talhão, são contadas 22 ruas de cana e desloca-se 8 m (10 passos) para dentro da 22ª rua, fazendo a coleta do primeiro ponto. Após a primeira coleta, desloca-se 16 m (20 passos) e faz-se a segunda coleta, seguindo a distância de 16 m até o fim da rua. A partir da primeira rua amostrada, conta-se mais 44 ruas e adentra-se na 44ª rua, repetindo todo o processo, sendo o primeiro ponto amostral a 8 m de distância, e os demais a 16 m de distância até o fim da rua, deslocando-se 44 ruas até o fim do talhão. A figura 1 ilustra como é o deslocamento da equipe de amostragem no campo.

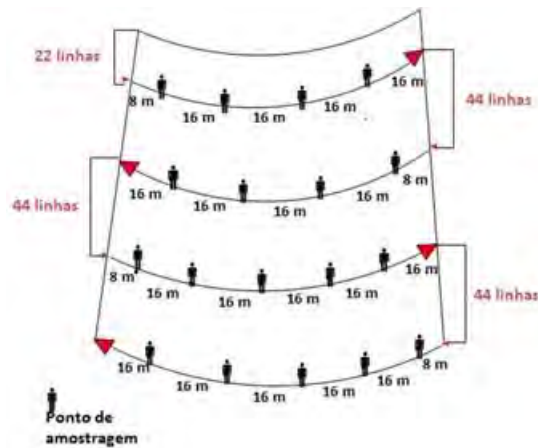


FIGURA 1. Esquema de deslocamento no talhão para a amostragem de *S. levis*.

Em cada ponto amostral foi feita uma trincheira de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>) e retiradas todas as soqueiras existentes. Os perfilhos foram cortados no sentido longitudinal para a quantificação das diferentes formas biológicas da praga (larva, pupa e adulto) e o número de tocos atacados (TA).



FIGURA 2. Trincheira aberta para amostragem (esquerda); Toco atacado por larva de *S. levis* (direita).

A avaliação da CEa nos talhões foi realizada com o equipamento V3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas) tracionado por um trator numa velocidade média de deslocamento de 15 km/h, e um espaçamento entre passadas de 15 m (10 entrelinhas de 1,5 m) conectado a um coletor de dados e um receptor GNSS Garmin modelo 18x LVC, com uma frequência de coleta de dados de um ponto por segundo.

O equipamento é composto por seis discos rotativos dispostos lado a lado que entram em contato com o solo a uma profundidade de aproximadamente 7,0 cm, o que garante contato elétrico. Seu funcionamento consiste na injeção de uma determinada intensidade de corrente elétrica na superfície do solo, por meio de dois eletrodos. A passagem da corrente elétrica no solo resulta numa diferença de potencial, que é medida por outros dois eletrodos ao lado dos eletrodos de corrente (RABELLO, 2009). O par de discos internos integra a resistência entre as profundidades de 0 a 30 cm, enquanto o par de discos externos integra a resistência de 0 a 90 cm. As leituras foram realizadas no dia 27/07/2017 na área A e no dia 31/07/2017 na área B.

Os dados de CEa na camada de 0 a 30 cm foram filtrados utilizando o software ArcGIS 10.4 (ESRI, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA), com o objetivo de se remover valores discrepantes em relação ao próprio conjunto de dados (via estatística descritiva) e também em relação a seus vizinhos (via análise espacial). Após a filtragem, os dados foram submetidos a análises de geoestatísticas para a construção dos semivariogramas e ajuste dos modelos de interpolação. Utilizou-se o método de interpolação por krigagem para os dados da CEa. Os mapas temáticos foram gerados pelo software ArcGIS 10.4. Os teores de argila da amostragem de solo foram submetidos a estatística descritiva e cruzados com os valores de CEa (0-30 cm) para a determinação do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ).

Devida a ausência de dependência espacial nas informações de distribuição da praga, optou-se por avaliar ponto a ponto com as informações de CEa interpoladas. Para tal, as informações foram classificadas de forma qualitativa, em duas categorias: ausência (AUS) e presença (PRE). Desta forma, os pontos onde não

foram observados tocos atacados (TA) entraram na categoria AUS, e os pontos onde foram observados um ou mais tocos atacados entraram na categoria PRE.

Os valores de CEa de ambas as áreas foram separados em diferentes categorias de condutividade, com base na amplitude dos conjuntos de dados de cada área. A área A foi dividida em três classes (baixa, média e alta) e a área B, devido à menor variabilidade, foi dividida em duas classes (baixa e alta). Desta forma, foi possível avaliar a frequência da presença da praga nas diferentes condições de condutividade elétrica aparente do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a tabela 1, é possível notar uma diferença expressiva na textura das duas áreas, sendo a área A caracterizada por apresentar solo argiloso (66,7 % de argila) e maior amplitude de variabilidade; e a área B apresentando textura menos argilosa (22,9 % de argila) e com menor amplitude de variação. Amplitude que explica a maior variabilidade de valores de CEa na área A em relação a B (Tabela 2).

O teor de argila em ambas as áreas se correlacionou significativamente com a CEa. De acordo com a classificação proposta por Cohen (1998), os valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) entre 0,10 e 0,29 apontam para uma relação fraca, já valores entre 0,30 e 0,49 são considerados moderadas, e os de 0,5 até 1 possuem forte relação. Desta forma, área A apresentou valores médios de correlação (0,44), enquanto que a área B apresentou forte correlação (0,65) entre os teores de argila e os valores de CEa.

TABELA 1. Estatística descritiva dos teores de argila (%) referentes às amostragens de solo e sua correlação com a CEa (0-30 cm).

Área	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose	Corr. CEa
A	73,60	59,00	66,70	27,45	5,24	7,86	-1,41	0,44
B	25,80	20,90	22,90	3,68	1,91	8,34	-1,74	0,65

Onde: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Corr. CEa = correlação entre os teores de argila e os valores de CEa.

TABELA 2. Estatística descritivas das leituras de CEa (0-30cm em função da subdivisão das áreas.

Area	ha	CEa	Máximo	Mínimo	Média	Variância	DP	CV	Curtose
A	16,7	Baixa	5,33	3,48	4,28	0,52	0,72	16,79	-0,21
	16,7	Média	8,26	5,33	6,65	0,83	0,91	13,68	-1,33
	16,7	Alta	13,10	8,27	9,57	0,95	0,98	10,21	0,27
B	26,1	Baixa	2,22	0,64	1,82	0,07	0,27	14,71	0,06
	26,1	Alta	4,05	2,22	2,77	0,15	0,38	13,85	-0,76

Onde: CEa = condutividade elétrica aparente (mS.m<sup>-1</sup>); DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Observando os mapas apresentados na Figura 3, é possível visualizar as zonas com valores distintos de condutividade elétrica, bem como o caminhamento da equipe de amostragem, apresentada na imagem pelos pontos de coleta georreferenciados. Os pontos maiores indicam os locais onde houve presença de tocos atacados pela praga e os pontos menores, onde não foram encontrados danos.

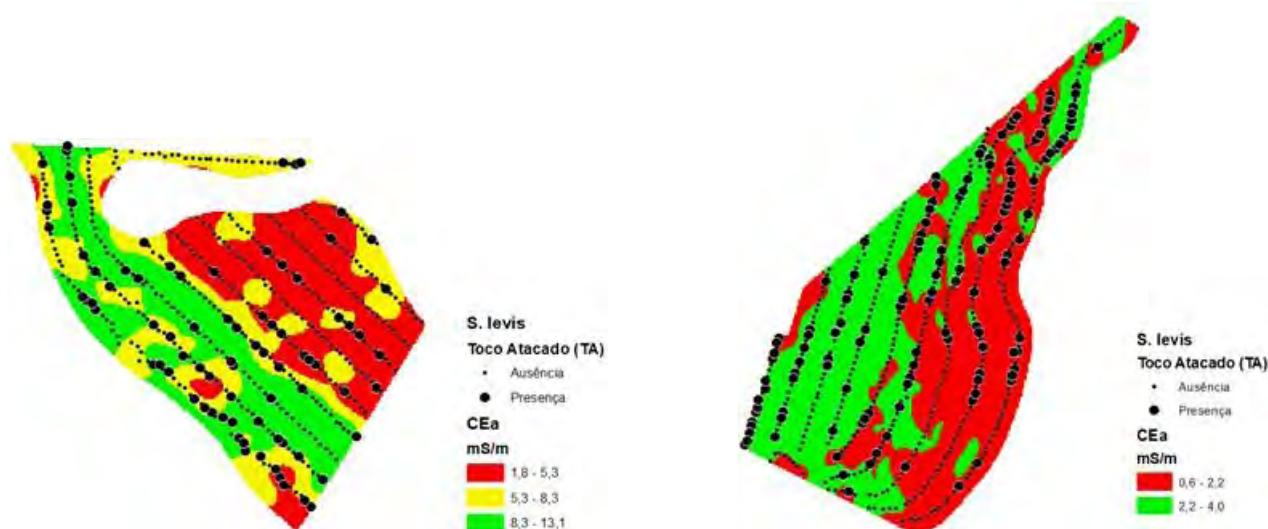


FIGURA 3. Mapa temático das classes de CEa e pontos de levantamento de *S. levis* e a frequência de observações de tocos atacados (TA) da área A (esquerda) e B (direita).

TABELA 3. Distribuição das observações de tocos atacados (TA) em diferentes classes de CEa.

Área	CEa	N total	AUS	PRE	% TOTAL	% CLASSE
A	Baixa	149	129	20	4,5	13,4
	Média	151	121	30	6,7	19,9
	Alta	146	114	32	7,2	21,9
TOTAL		446	364	82	18,4	-
B	Baixa	239	175	64	13,5	26,8
	Alta	235	169	66	13,9	28,1
TOTAL		474	344	130	27,4	-

Onde: CEa = condutividade elétrica aparente ( $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ ); N total = número total de pontos amostrados; AUS = pontos sem observação de tocos atacados; PRE = pontos com um ou mais tocos atacados; %TOTAL = porcentagem de tocos atacados em relação ao total de pontos coletados; %CLASSE = porcentagem de tocos atacados em relação aos pontos coletados dentro da classe de CEa especificada.

A área A apresentou uma menor taxa de infestação (18,4%) em relação à área B (27,4%), provavelmente pelo fato desta segunda apresentar um canal mais antigo (7º corte), e conseqüentemente possuir um ano a mais no acúmulo de touceiras danificadas pela praga. Comparando a presença da praga com os valores de CEa, notou-se que na área A maiores porcentagens de ataques foram observadas em locais de maior condutividade elétrica aparente e na área B não houve uma relação clara entre CEa e ataque da praga. Do total de 18,4% de tocos atacados na área A, 13,9% destes se encontravam em áreas de média e alta CEa (75% dos ataques). Em contrapartida, do total de 27,4% de tocos atacados na área B, metade deles (13,9%) se encontraram na classe de alta CEa. A relação mais clara entre CEa e ataque do *S. levis* na área A pode estar relacionada a sua maior variabilidade de argila.

Embora a área B tenha apresentado dependência espacial, com evidente variabilidade textural no sentido leste-oeste, a amplitude do teor de argila nesta área foi baixa (4,9%) em comparação a área A (14,9%). Assim, a relação da presença da praga com locais de maiores CEa – e, portanto, maior teor de argila – pode estar condicionada a presença de marcante variabilidade espacial de textura. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem a possível relação entre valores médio e altos de CEa com o ataque de *S. levis* na cultura da cana-de-açúcar em talhões de cana com variabilidade espacial de textura. Futuros trabalhos devem ser conduzidos para comprovação desta hipótese em áreas com diferentes níveis de gradiente textural, assim como utilizando bancos de dados com histórico de ataques desta praga.

## CONCLUSÃO

A relação entre CEa e a ocorrência de ataques de *Sphenophorus levis* foi avaliada em duas áreas com diferentes gradientes de variabilidade textural. Os dados obtidos em ambas as áreas não permitiram uma interpretação clara da relação entre *S. levis* e CEa. Contudo, a área que apresentou maior gradiente textural obteve 75% dos tocos atacados pela praga em locais com média e alta CEa, o que sugere a relação entre a distribuição espacial de *S. levis* e a condutividade elétrica do solo em áreas que apresentem variabilidade textural. Mais estudos devem ser conduzidos para comprovação desta hipótese.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a Usina Iracema e ao Grupo São Martinho ao apoio e estrutura oferecida durante a realização do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. C., STINGEL, E.; ARRIGONI, E. de B. **Monitoramento e controle de pragas da cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP. Centro de Tecnologia Canavieira, 35p, 2008.
- DEGASPARI, N. et al. Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial a no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 6, p. 553-558, 1987.
- EMBRAPA, Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA Produção de Informação, Brasília, p. 16, 1999.
- MCNEILL, J.D. Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: Topp, G.C., Reynolds, W.D., Green, R.E. (Eds.), *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory Into Practice*. Spec. Publ. 30. SSSA, Madison, WI, 209–229. 1992.
- MOLIN, J.P.; DO AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J.P.; FAULIN, G.D.C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 01-05, 2013.
- PAVLU, F A; MOLIN, J.P. A sampling plan and spatial distribution for site-specific control of *Sphenophorus levis* in sugarcane. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.38, p.279-287, 2016.
- PRECETTI, A. C. M. Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar. Copersucar, 1990.
- RABELLO, L. M. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15427611.pdf>. Acessado em: 02/09/2018.
- RHOADES, J.D., CORWIN, D.L., LESCH, S.M. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. 1999. In: CORWIN, D.L., LOAGUE, K., ELLSWORTH, T.R. (Eds.), *Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone*. Geophysical Monograph 108 American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 197–215.

## **CURVAS ESPECTRAIS PARA IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO TRIGO**

**LUAN PIERRE POTT<sup>1</sup>, TELMO JORGE CARNEIRO AMADO<sup>2</sup>, ELODIO SEBEM<sup>3</sup>, RAÍ AUGUSTO SCHWALBERT<sup>4</sup>, MARCOS SANTOS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS, Fone: (55) 992060204, luanpierrepott@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Ciência do Solo, UFSM, Santa Maria -RS;

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor Doutor, Politécnico, UFSM, Santa Maria -RS;

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria -RS;

<sup>5</sup> Tecnólogo em Geoprocessamento, Politécnico, UFSM, Santa Maria -RS;

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** As principais plantas daninhas no cultivo de trigo são a aveia preta e o azevém. Seu controle de forma geral é realizado sem levar em consideração a variabilidade espacial da densidade de infestação das plantas daninhas. Uma forma de identificar as espécies infestantes é através da análise de curvas espectrais dos alvos. O trabalho tem como objetivo avaliar as curvas espectrais de trigo, aveia preta e azevém para identificar quais comprimentos de onda são capazes de distinguir essas espécies. O experimento avaliou as espécies: aveia preta, azevém e trigo através de confecção de parcelas experimentais para seus cultivos e posteriormente com o uso de um espectrorradiômetro com faixa espectral de 325-1075 nm para realizar as leituras. As leituras foram classificadas em 8 bandas espectrais: violeta, azul, verde, amarelo, laranja, vermelho, red edge e infravermelho próximo sendo avaliado a reflectância das espécies de estudo. Como resultados teve-se que algumas bandas espectrais possuem maior capacidade de distinção das três espécies em questão, especialmente a banda de amarelo e laranja, nas quais as três espécies possuíram reflectância estatisticamente distinta no teste de comparação de médias de Tukey. Pode-se concluir que a análise de curvas espectrais de alvos da planta daninha aveia preta e azevém e a cultura do trigo possibilita diferenciar espécies em florescimento pleno.

**PALAVRAS-CHAVE:** bandas espectrais, reflectância, comprimentos de onda.

### **SPECTRAL CURVES FOR IDENTIFICATION OF WEEDS IN WHEAT CROP**

**ABSTRACT:** The main weeds in wheat cultivation are black oats and ryegrass. Its control is generally performed without taking into account the spatial variability of weed infestation density. One way to identify weed species is through the analysis of spectral curves of the targets. The objective of this work is to evaluate the spectral curves of wheat, black oats and ryegrass to identify which wavelengths are able to distinguish these species. The experiment evaluated the species: black oats, ryegrass and wheat through the preparation of experimental plots for their crops and later with the use of a spectroradiometer with spectral range of 325-1075 nm to perform the readings. The readings were classified into 8 spectral bands: violet, blue, green, yellow, orange, red, red edge and near infrared being evaluated the reflectance of the study species. As results, it was observed that some spectral bands have a greater capacity to distinguish the three species in question, especially the band of yellow and orange, in which the three species had statistically different reflectance in the Tukey mean comparison test. It can be concluded that the analysis of spectral curves of weed targets black oats and ryegrass and the wheat crop make it possible to differentiate species in flowering.

**KEYWORDS:** spectral bands, reflectance, wavelengths.

### **INTRODUÇÃO**

Plantas daninhas de forma geral ocupam sistemas agrícolas de forma espontânea e acabam interferindo na produtividade das culturas de interesse uma vez que competem diretamente por recursos naturais, e interferem de forma indireta liberando substâncias alelopáticas e ocasionando dificuldade de colheita. Para a

cultura do trigo (*Triticum aestivum* (L.)) as plantas daninhas de destaque são a aveia preta (*Avena strigosa* (Schreb)) e o azevém (*Lolium multiflorum* (Lam.)) (DE MORI et al., 2014).

Para o controle das plantas daninhas é comumente utilizado o método químico, com o emprego dos herbicidas. As aplicações de herbicidas em pós-emergência são realizadas, na maioria dos casos, em área total, não levando em consideração a variabilidade da presença de plantas daninhas das áreas agrícolas. Nos últimos anos, tem-se intensificado os estudos com a utilização de sensores para identificação de plantas daninhas em cultivos para posterior controle de forma dirigida.

De acordo com Pinter et al. (2003) & Slaughter et al. (2008) o manejo e controle de plantas daninhas em sítio-específico pode trazer benefícios econômicos sem diminuir a eficácia do controle. O controle de plantas daninhas tem reduzido a utilização de herbicidas de 11-90% sem afetar na produtividade das culturas, (GERHARDS & CHRISTENSEN, 2003). Outro motivo para diminuir as quantidades de herbicidas aplicados é a prevenção do aumento de casos de resistência de plantas daninhas à mecanismos de ação de herbicidas (MARSHALL & MOSS, 2008).

Para realizar o controle de forma dirigida das plantas daninhas é primeiramente necessário identificá-la. Com a utilização de sensores ópticos que são capazes de gerar curvas espectrais de alvos, pode-se obter o comportamento espectral de plantas daninhas, bem como de plantas cultivadas, uma vez que cada alvo possui característica distinta de estrutura, bioquímica, área foliar, distribuição de ângulo foliar, arquitetura, lignina, celulose, clorofila, carotenóides, quantidade de nitrogênio e água em sua composição (USTIN et al., 2009).

Sensores hiperespectrais possuem resolução espectral menor que 20 nanômetros, e usualmente caracterizam o espectro eletromagnético na faixa 400-2500 nm, que abrangem as áreas do visível, infravermelho próximo e médio (MIRIK et al., 2013), o que possibilita a geração de curvas espectrais de alvos. Neste sentido, o trabalho tem como objetivo avaliar as curvas espectrais de trigo, aveia preta e azevém e identificar os comprimentos de onda mais eficientes em distinguir essas espécies.

## MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi conduzido no município de Santa Maria - RS, área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com coordenadas geográficas 29,7180° S, 53,7375° O e altitude média de 110 m. O clima do local é classificado como Cfa com temperatura média de 19,3° C e precipitação média anual de 1688 mm, (KÖPPEN & GEIGER, 1928). O solo predominante na área é o Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2013).

A área em questão vinha sendo manejada com sistema de plantio direto há mais de seis anos sob rotação das culturas de verão soja e milho e culturas de inverno aveia preta e trigo. Para manejo da área foi realizado a dessecação da área utilizando o herbicida glifosato na dose de 2.160 g ha<sup>-1</sup> do e.a. (equivalente ácido). Para a aplicação, foi utilizado pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, com pontas do tipo leque que proporcionaram volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>.

O experimento contou com 9 parcelas para cada espécie, somando 27 unidades experimentais. As dimensões das parcelas eram de 5 x 3 m, totalizando 15m<sup>2</sup>, no delineamento inteiramente casualizado (Figura 1).

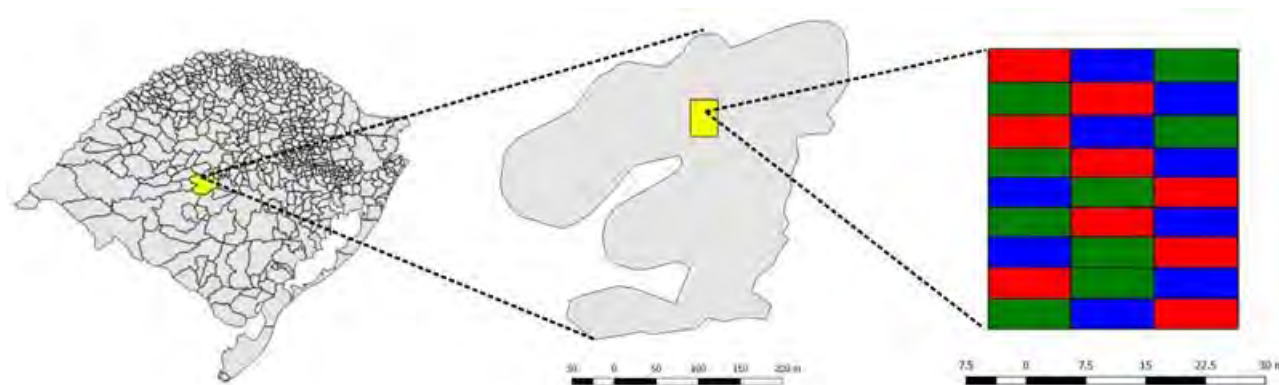


FIGURA 1. Localização e disposição do experimento e unidades experimentais.

As espécies de trigo, aveia preta e azevém foram semeadas em 03 de junho de 2017 de forma manual, respeitando espaçamento entre linhas de 0,5 m, com população de 250 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação foi realizada em cobertura com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-20-20 logo após a semeadura, também foi realizada a adubação nitrogenada em cobertura de 100 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando uréia em 30 dias após a emergência das culturas.

Para o levantamento das curvas espectrais foi utilizado o equipamento espectro radiômetro HandHeld 2, ASD®, com comprimentos de onda de 325-1075 nm. Este sensor é classificado como passivo em referência a fonte de energia para as medições, tendo resolução espectral de 1nm. A faixa de comprimentos de onda utilizadas para a análise foi de 380-900 nm, devido à ruídos nos extremos.

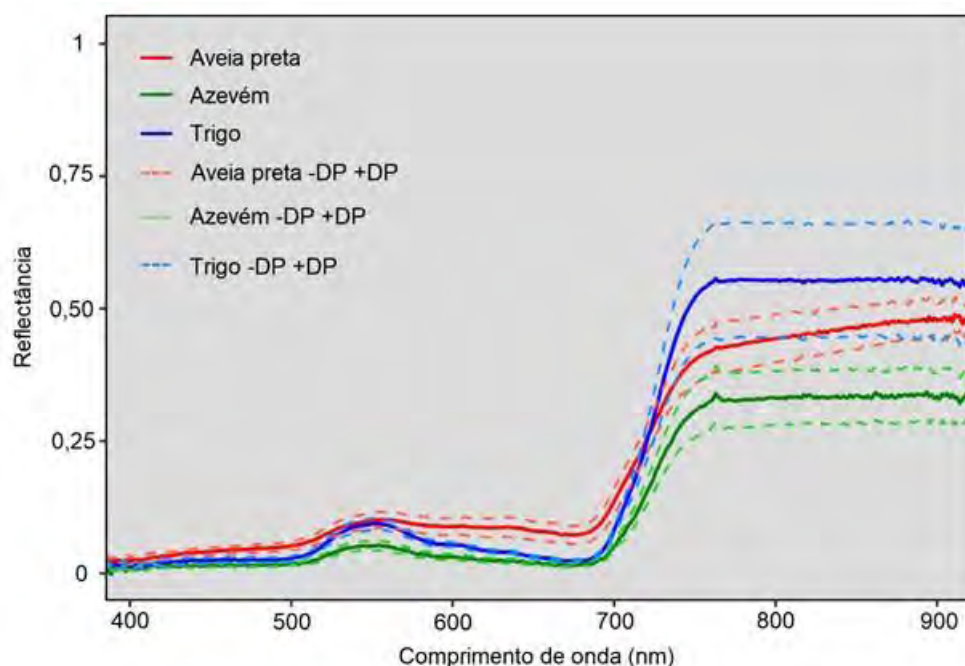
A leitura com o espectrorradiômetro foi realizada quando as culturas estavam em pleno florescimento. Primeiramente o equipamento foi calibrado em placa branca para posterior início da avaliação. Foram realizadas leituras dirigidas para as espécies em cada parcela. As medições deram-se com o sensor na posição zenital em relação ao alvo, com distância sensor-alvo de 0,5 m. As leituras foram realizadas quando o dia estava totalmente aberto, sem presença de nuvens, ao redor de 12:00 horas (UTC-3). Para cada parcela foram realizadas 3 leituras sendo estas subamostras das 9 parcelas de cada espécie, totalizando 27 leituras para cada espécie. Os dados foram extraídos do equipamento e analisados previamente no *software* View Spec Pro versão 6.0, ASD®.

Delimitaram-se os dados em bandas espectrais nos comprimentos de onda das bandas: violeta (380-450 nm), azul (451-495 nm), verde (496-570 nm), amarelo (571-590 nm), laranja (591-620 nm), vermelho (621-700 nm), red edge (700-750 nm) e infravermelho próximo (NIR) (751-900 nm).

Foi realizada a estatística descritiva da reflectância dos alvos bem como a análise de variância e teste de comparação de médias Tukey ( $p < 0,01$ ) utilizando a medida da reflectância de cada curva espectral. Também foram realizados gráficos para demonstração da variação dos dados observados por meio de quartis, boxplot. As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* R (*Experimental Designs Package*).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir das leituras foram gerados gráficos relacionando os comprimentos de onda com suas respectivas reflectâncias para cada alvo, podendo ser observado que no geral possuem características de reflectância próximas para todas as espécies estudadas (Figura 2).



Legenda: Linha contínua de cada espécie representa a média aritmética de  $n=27$ . Linha tracejada de cada espécie representa média - DP e média + DP. DP= desvio padrão.

FIGURA 2. Curvas espectrais de aveia preta, azevém e trigo sob pleno florescimento.  $n= 27$ .

A curva espectral de reflectância da vegetação se caracteriza por valores baixos na região do visível do espectro eletromagnético, influenciada, principalmente, pelos pigmentos existentes nos cloroplastos amplamente encontrados nas células do mesófilo das folhas (KNIPLING, 1970). Observa-se que a maior reflectância do espectro da região do visível refere-se à banda do verde, explicando a coloração visual típica das plantas.

Na região do infravermelho próximo, o aumento nos valores de reflectância da curva espectral deve-se ao fato de estarem relacionadas à estrutura interna celular da folha (GATES, 1965). Esta reflectância tem importância no balanço de energia das plantas.



Ao analisar mais especificamente as curvas espectrais, dividindo o espectro eletromagnético nas bandas espectrais pode-se observar as diferenças de reflectância que possuem para cada banda. Também é possível observar que algumas bandas possuem maiores variações de reflectâncias nas leituras dos alvos. A banda de violeta obteve maior variação dos dados obtendo coeficiente de variação (CV) de 22,9, 28,0 e 26%.

TABELA 1. Estatística descritiva da reflectância das bandas espectrais para as três espécies de estudo.

Espécie		Aveia preta							
Banda		Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Red Edge	NIR
Média		0,030	0,046	0,082	0,092	0,088	0,085	0,280	0,453
Mediana		0,028	0,046	0,083	0,097	0,096	0,093	0,282	0,442
Mínimo		0,022	0,030	0,058	0,063	0,059	0,053	0,225	0,393
Máximo		0,045	0,058	0,104	0,112	0,103	0,103	0,331	0,523
Desvio padrão		0,007	0,007	0,012	0,015	0,016	0,018	0,027	0,042
CV* (%)		22,9	16,0	15,1	16,8	18,7	21,7	9,6	9,2
Espécie		Azevém							
Banda		Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Red Edge	NIR
Média		0,012	0,016	0,039	0,037	0,029	0,022	0,184	0,332
Mediana		0,011	0,015	0,036	0,033	0,026	0,020	0,181	0,331
Mínimo		0,008	0,012	0,031	0,029	0,024	0,017	0,146	0,265
Máximo		0,017	0,020	0,048	0,046	0,036	0,027	0,220	0,394
Desvio padrão		0,003	0,003	0,007	0,007	0,005	0,004	0,029	0,051
CV (%)		28,0	20,4	17,5	17,8	17,3	18,9	15,7	15,3
Espécie		Trigo							
Banda		Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Red Edge	NIR
Média		0,019	0,026	0,067	0,064	0,051	0,035	0,305	0,557
Mediana		0,020	0,027	0,067	0,062	0,050	0,034	0,320	0,608
Mínimo		0,013	0,019	0,057	0,056	0,046	0,031	0,240	0,411
Máximo		0,026	0,033	0,083	0,078	0,061	0,041	0,366	0,668
Desvio padrão		0,005	0,005	0,008	0,006	0,004	0,003	0,048	0,107
CV (%)		26,0	20,1	12,2	10,0	8,9	8,921	15,8	19,3

\*CV= coeficiente de variação.

Legenda: Média de 27 leituras espectrais para cada espécie.

Na análise de variância (ANOVA) da reflectância das bandas espectrais das três espécies e teste de comparação de médias de Tukey em nível de 1% de probabilidade de erro pode-se apontar que as bandas espectrais do amarelo (571-590 nm) e do laranja (591-620 nm) foram distintas estatisticamente para as três espécies do estudo, tendo estas bandas maior eficiência para suas distinções (Tabela 2).

TABELA 2. Resultado das análises de comparação de médias para as reflectâncias médias das bandas nas três espécies avaliadas.

Banda Espécie	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Red Edge	NIR
Aveia preta	0,030 a*	0,045 a	0,081 a	0,091 a	0,088 a	0,084 a	0,280 a	0,452 ab
Azevém	0,011 b	0,015 b	0,038 b	0,0365 c	0,029 c	0,021 b	0,183 b	0,331 b
Trigo	0,018 b	0,025 b	0,067 a	0,0064 b	0,050 b	0,034 b	0,305 a	0,556 a

\* Letras diferentes na mesma coluna representa diferença estatística significativa. Tukey 1%.

O sensoriamento tem sido avaliado para distinção de espécies, ou grupo de espécies de plantas daninhas partindo da premissa que cada espécie possui certas características que podem ser utilizadas para diferenciá-la de outra, geralmente forma, tamanho e reflectância da folha (EVERITT et al., 1992; BROWN et al., 1994; VILELA et al., 2006). Para diferir espécies de plantas utilizando sensores ópticos é necessário diferenças suficientes na reflectância espectral entre as espécies e resolução espectral apropriada para a aquisição das informações (LAMB & BROWN, 2001), além da repetibilidade dos resultados.

Para que haja eficiência na distinção das espécies é necessário que os valores de reflectância dos alvos não coincida com a reflectância das outras espécies. Nos gráficos abaixo é possível observar a variação das leituras de reflectância para a banda espectral do amarelo (Figura 3) e da banda do laranja (Figura 4). Nota-se

que a variação da reflectância das três espécies nas bandas do amarelo e laranja não interseccionam valores, sendo assim potenciais bandas para diferenciação destas espécies.

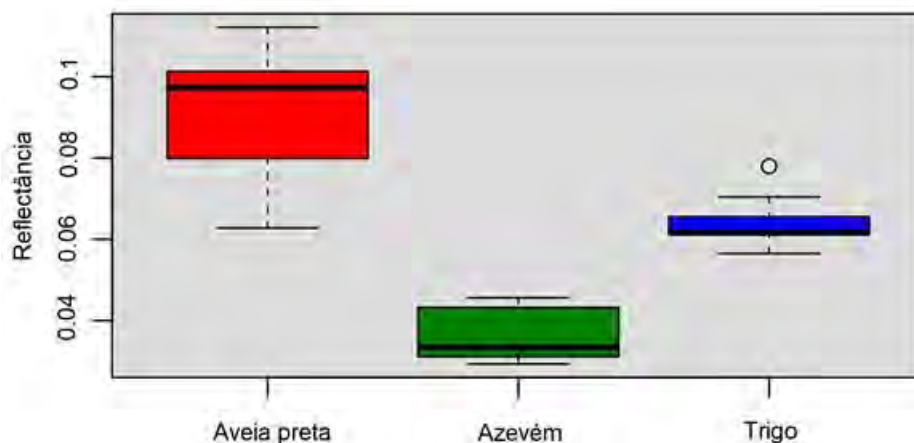


FIGURA 3. Variação da reflectância dos alvos na banda do amarelo. n= 27.

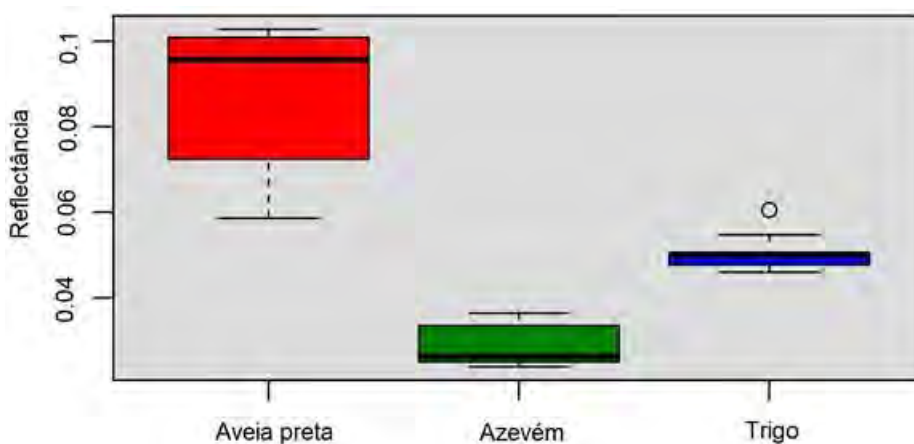


FIGURA 4. Variação da reflectância dos alvos na banda do laranja. n= 27.

Safanelli et al. (2014) utilizou as bandas referente à azul, verde, vermelho, red edge, e infravermelho próximo para identificação de leiteiro (*Euphorbia heterophylla* (L.)) em cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e constatou diferença estatística significativa entre o leiteiro e a soja para todas as bandas espectrais estudadas.

Em estudos recentes, foi utilizada uma câmera multiespectral de seis bandas (bandas centradas em 530, 550, 570, 670, 700 e 800 nm) (PÉREZ-ORTIZ et al., 2016; PEÑA et al., 2013). Também em estudos com câmera multiespectral foram utilizadas seis bandas (bandas centradas em 450, 530, 670, 700, 740 e 780 nm) (LÓPEZ-GRANADOS et al., 2016). Diversos estudos demonstraram que o uso de pelo menos quatro bandas espectrais fornece melhores resultados do que o uso de câmeras RGB padrão, especialmente quando se utilizou informações da região do infravermelho próximo (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2013; PEÑA et al., 2015).

A capacidade de distinção espectral encontra dificuldades como: custo relacionado à sensores hiperespectrais, a informação espectral coletada poderá ter influência de condições de insolação, cobertura de nuvens, sombra e poeira e a reflectância espectral possui interferência em plantas com estresse fisiológico (CARTER & KNAPP, 2001).

A avaliação de curvas espectrais ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento das espécies proporcionará maior entendimento das assinaturas espectrais típicas de cada espécie, bem como as interferências do meio formando o comportamento espectral da planta.

Formar um banco de dados espectrais de espécies de plantas e suas variações ao longo do desenvolvimento possibilitarão a detecção de plantas daninhas em sistemas agrícolas e com a automação juntamente com sistema de pulverização permitirá realizar controle de plantas daninhas de forma dirigida em pulverizações de pós-emergência. Possíveis complicações da tecnologia de sensores para pulverizações em

pós-emergência de plantas daninhas serão os níveis de infestação encontrados à campo, condição meteorológica e ambientais no momento das avaliações.

## CONCLUSÃO:

Conclui-se que a análise de curvas espectrais das plantas aveia preta, azevém, e trigo permite realizar sua diferenciação no estágio de florescimento pleno das espécies.

As bandas espectrais referentes ao amarelo e ao laranja possuem maior eficiência de diferenciação espectral da aveia preta, azevém e trigo.

Sensores hiperespectrais são de suma importância para a definição de comprimentos de onda ou bandas espectrais com intuito de identificação de alvos distintos em sistemas agrícolas.

Estudos com dados hiperespectrais de plantas daninhas e plantas cultivadas levantam informações importantes para compor um banco de assinaturas espectrais para controle de plantas daninhas de forma dirigida.

## REFERÊNCIAS

- DE MORI, C.; HARGER, N.; FOLONI, J.S.S.; EICHELBERG, L.; BASSOI, M.C.; DOSSA, A.; OLIVEIRA, A.B. de; BODNAR, A.; FAE, G.; TAVARES, L.C.V.; CESA, P. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná - Safra 2012**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. 31 p.
- CARTER, G.A.; KNAPP, A.K. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. **Am. J. Bot.**, v.88, p.677–684, 2001.
- GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.
- GERHARDS, R.; CHRISTENSEN, S. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. **Weed Research**, v43, p. 385–392, 2003.
- KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflection of visible and near infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 155-159, 1970.
- KÖPPEN W.; GEIGER R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Gotha, **Wall-Map 150 cm x 200 cm**, 1928.
- LÓPEZ-GRANADOS, F. et al. Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: Variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. **Precision Agriculture**, v.17, p.183–199, 2016.
- MARSHALL, R., & MOSS, S. R. Characterisation and molecular basis of ALS inhibitor resistance in the grass weed *Alopecurus myosuroides*. **Weed Research**, v48, p.439–447, 2008.
- MIRIK, M; ANSLEY, R. J.; STEDDOM K.; JONES, D. C; RUSH, C. M.; MICHELS, G. J. ELLIOTT, N. C. Remote distinction of a noxious weed (Musk Thistle: *Carduus Nutans*) Using airborne hyperspectral imagery and the support vector machine classifier. **Remote Sensing**. V.5 p. 612-630, 2013.
- PEÑA, J.M. et al. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. **PLoS ONE**, v.8, e77151, 2013.
- PEÑA, J.M. et al. Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. **Sensors**, v.15, p.5609–5626, 2015.
- PÉREZ-ORTIZ, M. et al. Selecting patterns and features for between-and within-crop-row weed mapping using UAV-imagery. **Expert System with Applications**, v.47, p.85–94, 2016.
- PINTER, P. J., HATFIELD, J. L., SCHEPERS, J. S., BARNES, E. M., MORAN, M. S., DAUGHTRY, C. S. T. Remote sensing for crop management. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v 69, p. 647–664, 2003.
- SAFANELLI J.L.; BOESING B.F.B.; BOTECCA E.; CATEN A.T.L. Diferenciação de *Euphorbia heterophylla* L. em lavoura de soja utilizando espectrorradiometria. **In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva**. Gramado RS. Anais p. 1-6, 2014.
- SANTOS H.G.; JACOMINE P.K.T.; ANJOS L.H.C.; OLIVEIRA V.A.; LUMBRERAS J.F.; COELHO M.R.; ALMEIDA J.A.; CUNHA T.J.B.; OLIVEIRA J.B. **Embrapa: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed Brasília. 353p, 2013.
- SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K.; DOWNEY, D. Autonomous robotic weed control systems: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v61, p. 63–78, 2008.
- TORRES-SÁNCHEZ, J. et al. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. **Precision Agriculture**, v.8, p.58210, 2013.

USTIN, S.L.; GITELSON, A.A.; JACQUEMOUD, S.; SCHAEPMAN, M.; ASNER, G.P.; GAMON, J.A.; ZARCO-TEJADA, P. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, v.1 n.13, p.67-77, 2009.

## **DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS EM VINHEDO POR MEIO DE ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

**BRUNO R. S. COSTA<sup>1</sup>, HENRIQUE OLDONI<sup>2</sup>, ROMERO C. ROCHA JÚNIOR<sup>3</sup>, LUÍS H. BASSOI<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP, bruno.ricardo.silva@hotmail.com.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>3</sup>Aluno de graduação em Agronomia, UFV, Viçosa – MG.

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Os índices de vegetação (IV) são medidas quantitativas relacionadas à presença e vigor da biomassa cobrindo superfícies naturais ou cultivadas, uma vez que a sua determinação está associada com o comportamento espectral característico das folhas. O monitoramento dos IV é relevante para o manejo das culturas, assumindo-se que o vigor vegetativo está associado ao estado nutricional, fitossanitário e hídrico das plantas. O mapeamento dos IV também possibilita estimar a variação espacial das condições de desenvolvimento vegetativo em uma mesma área. Desta forma, o estudo teve como objetivo estimar a distribuição espacial do vigor vegetativo de videiras de vinho, cv. Cabernet Franc, a partir da delimitação de zonas homogêneas (ZH) resultantes da análise geoestatística e multivariada (análise de componentes principais e de agrupamento) de diferentes IV. A avaliação foi realizada em pomar comercial localizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP. Os IV foram calculados com base nos valores de reflectância em três faixas do espectro eletromagnético (670, 730 e 780 nm) coletados em campo, a nível de dossel, em pontos georreferenciados ao longo das linhas de plantio, utilizando o sensor ACS-430, componente do sistema portátil *Crop Circle*. Observou-se que, apesar da variação do padrão de distribuição espacial dos IV, a análise multivariada permitiu a categorização mais representativa do vigor vegetativo, resultando na delimitação de zonas homogêneas deste atributo, as quais podem ser utilizadas para orientar as práticas de manejo.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vitis vinifera* L., densidade de dossel, instrumentação agrícola.

### **DELIMITATION OF MANAGEMENT ZONES IN VINEYARD BY MAIN COMPONENTS AND GROUPING ANALYSIS OF DIFFERENT VEGETATION INDICES**

**ABSTRACT:** Vegetation indices (VI) are quantitative measures of presence and vigor of the biomass covering natural or cultivated surfaces, once its determination is based upon the characteristic spectral signature of leaves. The monitoring of these VI is important for crop management, due to the association of vegetative vigor with the nutritional, phytosanitary and water status of the plants. The mapping of the VI also leads to the estimation of the variability of vegetative development within an area. This study aims to estimate the spatial distribution of vegetative vigor of grapevines, cv. Cabernet Franc, from the definition of homogenous zones (HZ) obtained by geostatistics and multivariate data analysis (main component and grouping analysis) of different VI. The evaluation was carried out in a commercial vineyard located in Espírito Santo do Pinhal city, State of Sao Paulo, Brazil. The VI were calculated based on reflectance values in three bands of the electromagnetic spectrum (670, 730 and 780 nm) collected at georeferenced points along the plant rows, using the ACS-430 sensor, component of the *Crop Circle* portable system. It was observed that, regardless of the spatial distribution pattern of the VI, multivariate analysis enabled the most suitable representation of vegetative vigor, resulting in the delineation of homogenous zones for this attribute that can be used as guideline for crop management practices.

**KEYWORDS:** *Vitis vinifera* L., canopy density, agricultural instrumentation.

## INTRODUÇÃO

Os índices de vegetação (IV) resultam da razão entre as medidas da reflectância, obtidas em duas ou mais bandas espectrais (comumente na faixa do vermelho visível e infravermelho), de parte da radiação solar que interage com as folhas. Tradicionalmente, o monitoramento desses índices vem sendo utilizado no sensoriamento remoto para a avaliação das condições da vegetação, o que é possível devido ao padrão de reflectância de superfícies vegetadas ser diferente daquele dos demais materiais (PAYERO et al., 2004).

Assim, o mapeamento do vigor vegetativo por meio dos IV pode representar um importante fator de produção agrícola, uma vez que o comportamento espectral do tecido foliar se correlaciona com o seu conteúdo de pigmentos fotossintéticos, com a estrutura anatômica das suas células, bem como com o seu conteúdo de água, além de outras propriedades do dossel. Esses fatores se correlacionam com aspectos agrônômicos do cultivo e com características biofísicas das plantas, a exemplo da área foliar (VIÑA et al., 2010), do estado nutricional e fitossanitário (CAMMARANO, et al, 2014; FENG et al., 2017) e dos atributos físicos e químicos do solo (BERNARDI, et al., 2017). Além disso, uma vez que essas mesmas condições podem variar espacialmente ao longo da extensão de uma área cultivada, o mapeamento dos IV se constitui em um fundamento para a identificação de zonas homogêneas do vigor vegetativo.

Alterações locais nos IV em conjunto com a análise de outros parâmetros ambientais implicam na necessidade de investigação e atuação nas possíveis causas, porém em nível manejo variado. A definição de zonas diferenciadas é especialmente importante na produção de cultivares viníferas de videira, uma vez que o conceito de *terroir* implica na possibilidade de obtenção de vinhos com qualidades distintas em função da associação de diferentes condições de produção em uma mesma área. Desta forma, o estudo teve como objetivo caracterizar a distribuição espacial de diversos IV por meio da análise geoestatística e determinar zonas de manejo, representativas da condição vegetativa de videiras de vinho, cv. Cabernet Franc, a partir da análise multivariada (componentes principais e agrupamento) desses índices.

## MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento da reflectância foi realizado em pomar comercial de videira com área de 1,50 ha, situado nas coordenadas geográficas 22°10'41,11"S e 46°42'11,77"O, com altitude de 1183 m. A área se encontra instalada na Vinícola Guaspari, a qual está localizada no município de Espírito Santo do Pinhal – SP. A cultivar avaliada foi a Cabernet Franc (porta-enxerto Paulsen 1103), implantada em espaçamento de 3,00 x 1,00 m entre fileiras e plantas, respectivamente, conduzidas em sistema de espaldeira vertical, com poda de formação do tipo cordão Royat unilateral e irrigadas por sistema de gotejamento, apresentando dois emissores por planta, com vazão média de 1,60 L h<sup>-1</sup> por emissor.

A avaliação do vigor vegetativo ocorreu em 08 de novembro de 2017, durante o ciclo de formação de plantas, posterior ao ciclo de produção, conforme sistema de dupla poda adotado pela vinícola. A obtenção dos dados em campo para cálculo dos IV foi feita com auxílio do sistema portátil *Crop Circle*, utilizando o sensor ACS-430 (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA), o qual incorporou três canais de medidas ópticas, fornecendo medidas simultâneas da reflectância espectral da cultura a nível de dossel a 670 nm ( $\rho_R$ , vermelho), 730 nm ( $\rho_{RE}$ , vermelho limítrofe) e 780 nm ( $\rho_{NIR}$ , infravermelho próximo). A partir dos valores de reflectância medidos, foram calculados alguns IV compatíveis com o sensor, conforme Tabela 1.

TABELA 1. Índices de vegetação (IV) calculados a partir das medidas de reflectância fornecidas pelo sensor ACS-430.

	Fórmula	Índice de Vegetação
SRI	$\rho_{NIR} / \rho_R$	<i>Simple Ratio Index – Red</i>
ChII	$(\rho_{NIR} / \rho_{RE}) - 1$	<i>Chlorophyll Index – Red Edge</i>
NDVI	$(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDRE	$(\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE})$	<i>Normalized Difference Red Edge</i>
CCCI	$[(\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE})] / [(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)]$	<i>Canopy Content Chlorophyll Index</i>
NLI	$(\rho_{NIR}^2 - \rho_R) / (\rho_{NIR}^2 + \rho_R)$	<i>Non-Linear Vegetation Index</i>
RDVI	$(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)^{1/2}$	<i>Re-normalized Difference Vegetation Index</i>
MSR	$[(\rho_{NIR} / \rho_R) - 1] / [(\rho_{NIR} / \rho_R)^{1/2} - 1]$	<i>Modified Simple Ratio</i>
IPVI	$\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R)$	<i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>

Além do sensor, utilizou-se o datalogger GeoSCOUT GLS-400 (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA), parte componente do *Crop Circle* para armazenamento de dados. Na amostragem para a medida da reflectância, o sensor foi posicionado acima do dossel das plantas, em uma altura aproximada de 2,00 m, sendo deslocado por caminhamento por toda a extensão longitudinal das fileiras de cultivo. O georreferenciamento

dos pontos amostrais foi feito com por meio de receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA), com o sinal corrigido no mecanismo RTK (*Real Time Kinematic*).

Para análise descritiva dos dados, os valores de reflectância e dos IV foram resumidos em medidas de tendência central e dispersão, sendo determinadas por meio do software R (R CORE TEAM, 2018). Por sua vez, a análise geoestatística foi realizada em duas etapas, ambas utilizando o software Vesper 1.6 (MINANSY et al., 2005). Esta análise consistiu, primeiramente, no método de ajuste automático de semivariogramas por procedimento em modo local (HASS et al., 1990), utilizando um modelo teórico (adotado com base no menor valor da raiz quadrada do erro quadrático médio resultante) e a razão do número de pares pelo desvio padrão da semivariância como ponderador no ajuste deste ao modelo empírico pelo método de regressão não-linear ponderada. Em seguida, a inferência espacial foi determinada por interpolação dos resultados dos IV pelo método da krigagem ordinária.

Na sequência, para a geração de mapas georreferenciados, os dados interpolados foram importados em SIG, utilizando o software Quantum GIS 2.18.17 (QGIS), no qual foram utilizadas três classes para a categorização dos intervalos de cada IV, adotando como regra de classificação o método de otimização de Jenks (quebras naturais). Por fim, a partir dos valores interpolados de todos os IV, a análise multivariada permitiu a delimitação de zonas homogêneas (ZH) a partir de dois processos: a análise de componentes principais (PCA) dos dados interpolados, feita com auxílio do programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2018) e a análise de agrupamento aos escores das componentes principais (CP) selecionadas, por meio do algoritmo fuzzy k-means, utilizando o software FuzME 3.5 (MINANSY; MCBRATNEY, 2002). Foram selecionadas somente as CP com autovalor > 1 (TRIPATHI et al., 2015). A escolha do número ideal de zonas homogêneas foi orientada pelo índice de desempenho fuzziness (FPI) (FRIDGEN et al., 2004) e pela entropia de partição modificada (MPE) (BOYDELL; MCBRATNEY, 2002). Para validação das zonas homogêneas classificadas, a diferença entre os valores médios de cada IV, calculados a partir de um determinado número de medidas, foi avaliada por análise de variância, segundo o teste de Tukey a 95% de probabilidade, utilizando-se o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta um resumo numérico da estatística descritiva referente ao conjunto de valores observados de reflectância e dos IV. A maior variabilidade relativa dos dados foi observada na reflectância na banda do vermelho ( $\rho_R$ ) e nos índices ChII e SIR, como evidenciado pelo elevado coeficiente de variação (CV, %).

TABELA 2. Estatística descritiva dos valores de reflectância em três diferentes bandas e dos índices de vegetação (IV) da videira cv. Cabernet Franc.

Variáveis	Máximo	Mínimo	Média	Amplitude	Variância	Desvio	CV(%)
$\rho_{RE}$	24,500	17,470	20,380	7,030	0,346	0,588	2,88
$\rho_{NIR}$	53,820	24,830	34,247	28,990	4,599	2,144	6,26
$\rho_R$	15,730	0,650	2,861	15,080	0,868	0,932	32,57
NDRE	0,510	0,007	0,253	0,503	0,002	0,043	16,92
ChII	2,081	0,013	0,685	2,067	0,023	0,153	22,33
CCCI	0,757	0,028	0,298	0,729	0,002	0,047	15,74
RDVI	6,906	1,505	5,150	5,401	0,105	0,325	6,30
MSR	7,263	0,271	2,543	6,992	0,180	0,424	16,67
SRI	68,274	1,615	12,735	66,659	8,418	2,901	22,78
IPVI	0,986	0,618	0,923	0,368	0,001	0,023	2,53
NDVI	0,971	0,235	0,846	0,736	0,002	0,047	5,52
NLI	0,999	0,952	0,995	0,048	0,000	0,002	0,21

CV: Coeficiente de variação.

O modelo adotado aos semivariogramas experimentais locais (HASS et al., 1990) foi o exponencial. A Figura 1 apresenta a distribuição espacial da reflectância nas três bandas medidas pelo sensor ACS-430 e dos IV calculados a partir destes. Por interpretação visual, concluiu-se que houve uma variação no padrão da distribuição espacial das zonas homogêneas na área em relação aos IV adotados, sendo os índices mais

correlacionados com a banda da reflectância espectral a qual faz parte da sua fórmula de cálculo. Desta forma, os índices NDRE, ChII e CCCI apresentam maior correlação negativa ( $> 0,93$ ), com a reflectância nas bandas do vermelho limítrofe  $\rho_{RE}$  (730 nm) e infravermelho próximo  $\rho_{NIR}$  (780 nm), enquanto os índices NDVI, IPVI, MSR e SRI apresentam maior correlação, também negativa ( $> 0,90$ ), com a reflectância na banda do vermelho  $\rho_R$  (670 nm). A associação inversamente proporcional entre os índices de vegetação e a reflectância no espectro do vermelho se deve ao espectro de absorção da clorofila, que se dá mais fortemente nos comprimentos de onda das porções azul ( $\sim 430$  nm) e vermelho ( $\sim 660$  nm) do espectro eletromagnético visível, sendo o pigmento menos eficiente na absorção da faixa mediana deste, refletindo então a luz verde ( $\sim 550$  nm) (TAIZ; ZEIGER, 2008).

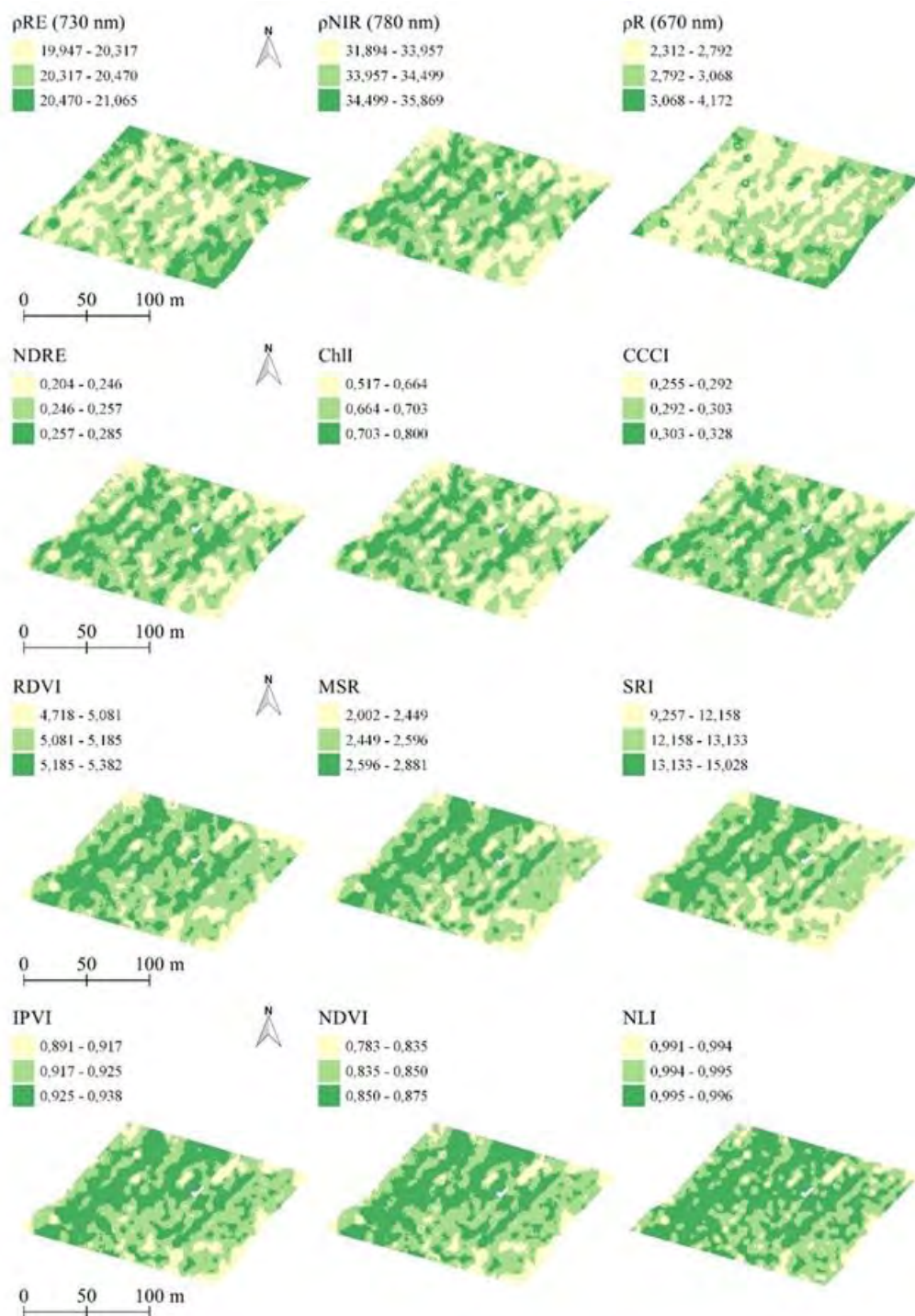


FIGURA 1. Distribuição espacial de reflectância em três diferentes bandas e dos índices de vegetação da videira cv. Cabernet Franc.



Os resultados da PCA estão descritos na Tabela 3. Foram selecionadas duas CP (CP1 e CP2), as quais apresentaram um autovalor superior a 1.

TABELA 3. Análise de componentes principais para os valores dos índices de vegetação (IV) da videira cv. Cabernet Franc.

Componente principal	Autovalor	Variância	Variância acumulada (%)						
CP1	7,33	81,47	81,47						
CP2	1,30	14,47	95,94						
Carga da Componente Principal									
	NDRE	ChII	CCCI	RDVI	MSR	SRI	IPVI	NDVI	NLI
CP1	-0,889	-0,880	-0,703	-0,988	-0,948	-0,939	-0,937	-0,934	-0,874
CP2	-0,451	-0,465	-0,702	0,017	0,257	0,235	0,317	0,315	0,264

Verificou-se que grande parte da variância dos dados foi explicada pela CP1 (81,5%), com predominância da participação do Índice RDVI, que apresentou maior carga negativa (-0,988). A porcentagem da variância explicada pela CP2 foi igual a 14,5%, sendo o total acumulado até esta componente igual a 95,9%.

A Figura 2 apresenta as zonas homogêneas obtidas pela análise de agrupamento, assumindo três e duas classes, além dos resultados dos índices FPI e MPE utilizados como critério para escolha do número destas. A Figura 3 apresenta os resultados dos índices utilizados para escolha do melhor número de zonas homogêneas.

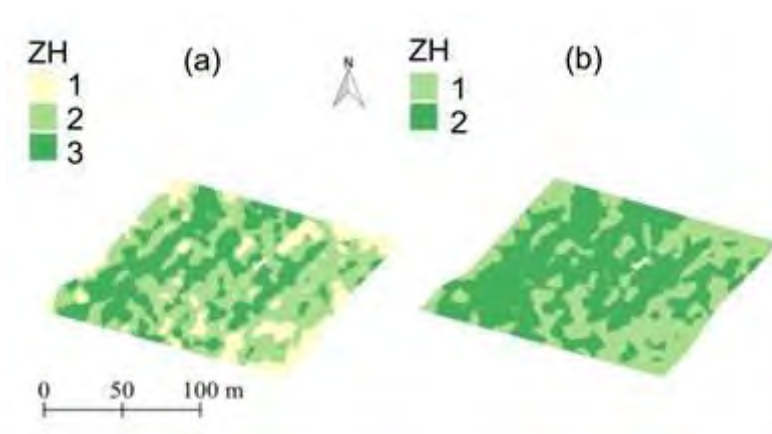


FIGURA 2. Distribuição espacial das zonas homogêneas (ZH) considerando 3 (a) e 2 (b) classes conforme análise de agrupamento de diferentes índices de vegetação (IV) da videira cv. Cabernet Franc.

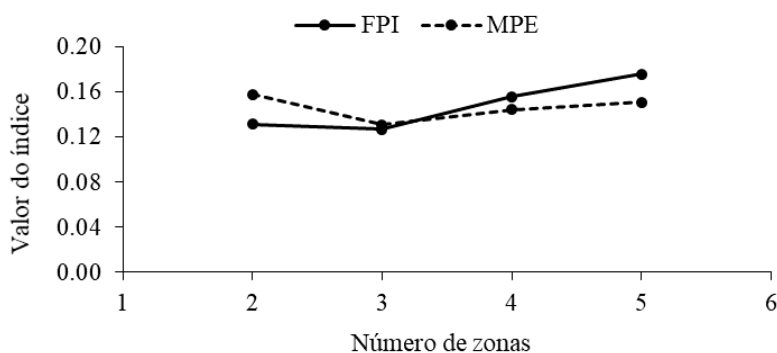


FIGURA 3. Índice de desempenho fuzziness (FPI) e entropia de partição modificada (MPE) conforme análise de agrupamento de diferentes índices de vegetação (IV) da videira cv. Cabernet Franc.

O número ideal de zonas homogêneas foi igual a três, o qual foi associado a menores valores dos índices FPI e MPE (0,127 e 0,131, respectivamente). Porém, adotou-se também a representação de duas zonas (com valores de FPI e MPE iguais a 0,131 e 0,158, nesta ordem) para fins operacionais da distribuição espacial como diretriz para práticas de manejo. Assim, com a delimitação da variabilidade da cobertura vegetativa das videiras e avaliação de propriedades ambientais que influenciam as características da copa, bem como a estabilidade temporal desses atributos, torna-se possível adotar práticas de manejo que possam intervir nas condições do solo e da planta, a fim de corrigir possíveis efeitos que impedem a expressão vegetativa potencial

das mesmas. Além disso, apesar da dispersão das classes, as zonas delimitadas também podem ser utilizadas para orientar práticas de amostragem mais eficientes. Assim, as zonas homogêneas podem nortear a avaliação do potencial hídrico foliar, a estimativa da produtividade, determinada pela contagem de cachos, bem como o acompanhamento da qualidade das uvas, a partir da coleta de bagas. Ressalta-se que as avaliações destacadas fazem parte das práticas realizadas pela vinícola no decorrer do ciclo de produção da videira.

A Tabela 4 apresenta os valores médios dos IV ( $n = 28$ ) calculados a partir de valores de reflectância medidos em pontos localizados em cada uma das zonas homogêneas delimitadas, além do resultado da análise de variância para fins de validação dessa classificação.

TABELA 4. Valores médios dos índices de vegetação (IV) e resultado da análise de variância para diferenciação das zonas homogêneas (ZH) da videira cv. Cabernet Franc.

ZH	Índices de Vegetação								
	NDRE	CHLI	CCCI	RDVI	MSR	SIR	IPVI	NDVI	NLI
1	0,2350 b	0,6164 b	0,2810 b	5,0349 c	2,3704 c	11,4103 c	0,9182 c	0,8363 c	0,9946 c
2	0,2461 b	0,6542 b	0,2887 b	5,1494 b	2,5563 b	12,6889 b	0,9261 b	0,8522 b	0,9953 b
3	0,2646 a	0,7222 a	0,3053 a	5,2878 a	2,7470 a	14,0662 a	0,9332 a	0,8664 a	0,9959 a
Pr (>F)	$6,55 \cdot 10^{-6}$	$5,80 \cdot 10^{-6}$	$9,99 \cdot 10^{-4}$	$5,55 \cdot 10^{-10}$	$5,92 \cdot 10^{-9}$	$4,38 \cdot 10^{-9}$	$1,92 \cdot 10^{-8}$	$1,92 \cdot 10^{-8}$	$2,24 \cdot 10^{-9}$
1	0,2335 b	0,6176 b	0,2821 a	4,9851 b	2,3105 b	11,1373 b	0,9127 b	0,8254 b	0,9942 b
2	0,2552 a	0,6894 a	0,2975 a	5,2100 a	2,6461 a	13,3842 a	0,9286 a	0,8573 a	0,9955 a
Pr (>F)	$3,46 \cdot 10^{-2}$	$4,79 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-1}$	$3,41 \cdot 10^{-3}$	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-3}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$

ZH: zonas homogêneas. Valores médios seguidos de mesma letra não apresentam diferença significativa entre si segundo o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Para a maioria dos IV, com exceção do CCCI na representação em duas zonas, foram observadas diferenças significativas entre as classificações, de acordo com o teste de Tukey e adotando-se um nível de probabilidade de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), confirmando a diferença entre as zonas homogêneas. Desta forma, as maiores médias dos IV foram associadas à ZH 3, classificada como aquela que apresentou plantas com maior densidade de dossel em comparação às localizadas na ZH 1 e 2.

## CONCLUSÃO

A análise de componentes principais e de agrupamento permitiu a delimitação de três zonas homogêneas do vigor vegetativo das videiras de vinho cv. Cabernet Franc, uma vez que se dispunha de diferentes índices de vegetação que apresentaram diferentes padrões de distribuição espacial e níveis de correlação entre si. A diferença entre as zonas homogêneas foi confirmada segundo análise de variância dos índices utilizados para a sua classificação. A partir das zonas homogêneas, pode-se inferir sobre as propriedades do solo ou da planta que possam estar correlacionadas com a variação dos índices de vegetação. Essas zonas também servem para a indicação de locais específicos de amostragem para fins de avaliação produtiva e fisiológica das videiras, considerando a heterogeneidade da área.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo e apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pela concessão da área de estudo e apoio prestado durante o trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BERNARDI, A.C. de C.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R.G.; RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y. Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.8, p. 513-518, 2017.
- BOYDELL, B.; MCBRATNEY, A.B. Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. **Precision Agriculture**, v.3, p.9–23, 2002.
- CAMMARANO, D.; FITZGERALD, G.J.; CASA, R.; BASSO, B. Assessing the robustness of vegetation indices to estimate wheat N in Mediterranean environments. **Remote Sensing**, v.6, p. 2827-2844, 2014.

- FENG, W.; QI, S.; HENG, Y.; ZHOU, Y.; WU, Y.; LIU, W.; HE, L.; LI, X. Canopy vegetation indices from in situ hyperspectral data to assess plant water status of winter wheat under powdery mildew stress. **Frontiers in Plant Science**, v.8, 12p., 2017.
- FRIDGEN, J.J., KITCHEN, N.R., SUDDUTH, K.A., DRUMMOND, S.T., WIEBOLD, W.J., FRAISSE, C.W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v.96, p.100–108, 2004.
- HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v.24, n.7, p. 1759-1769, 1990.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. **FuzME Version 3.5**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Sydney, Australia. 2002.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.6**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Sydney, Australia. 2005.
- PAYERO, J.O.; NEALE, C.M.U.; WRIGHT, J.L. Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. **Applied Engineering in Agriculture**, v.20, n.3, p.385-393, 2004.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 819p.
- TRIPATHI, R.; NAYAK, A.K.; SHAHID, M.; LAL, B.; GAUTAM, P.; RAJA, R.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; PANDA, B.B.; SAHOO, R.N. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. **Catena**, v.133, p.128–136, 2015.
- VIÑA, A.; GITELSON, A.A.; NGUY-ROBERTSON, A.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p. 3468–3478, 2010.

## **DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM VINHEDO COM BASE NA GRANULOMETRIA DO SOLO**

**HENRIQUE OLDONI<sup>1</sup>, ROBERTO L. MARTINS<sup>2</sup>, CARLOS M. P. VAZ<sup>3</sup>, LUÍS H. BASSOI<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Engº Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP. henriqueoldoni@gmail.com.

<sup>2</sup> Engº Agrônomo, Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>3</sup> Físico, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

<sup>4</sup> Engº Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A adoção da agricultura de precisão ainda é limitada pelos custos iniciais. A redução do número de variáveis pode minimizá-los. O presente trabalho tem por objetivo delimitar zonas de manejo de irrigação (ZI) por meio da análise geoestatística e multivariada utilizando dados de frações granulométricas do solo de um vinhedo de cv. Chardonnay, localizado em Espírito Santo do Pinhal - SP. Em 54 pontos georreferenciados, foram coletadas 108 amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m para determinação das frações areia, silte e argila e estimativa do conteúdo de água disponível (AD) e prontamente disponível (APD). Os dados de textura do solo, AD e APD foram submetidos à análise estatística descritiva e os dados de textura submetidos às análises geoestatística, de componentes principais e de agrupamento para a determinação das ZI. Análise de variância e teste de Tukey foram aplicados aos dados amostrados de frações granulométricas do solo, AD e APD para validação das ZI geradas. O melhor número de ZI foi quatro para ambas as camadas de solo, sendo que todas as zonas apresentaram diferença significativa ao menos para uma das três frações granulométricas do solo. Menores porcentagens da fração silte associadas às maiores frações de argila resultaram na redução da AD e APD. Assim, foi possível delimitar zonas de manejo de irrigação com base somente em dados de textura do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conteúdo de água no solo, geoestatística, fuzzy c-means.

### **DELINEATION OF IRRIGATION MANAGEMENT ZONES IN A VINEYARD BASED ON SOIL GRANULOMETRY**

**ABSTRACT:** The adoption of precision agriculture is still limited by the initial costs. Reducing the number of variables can minimize them. The present work has the objective of delimiting irrigation management zones (ZI) through geostatistical and multivariate analyses using data of soil granulometric fractions from a cv. Chardonnay vineyard, located in Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, Brazil. At 54 georeferenced points, 108 deformed and undisturbed samples were collected in the 0-0.2 and 0.2-0.4 m layers for determination of the sand, silt and clay fractions and estimation of available soil water content (AD) and readily available (APD). The soil texture, AD and APD data were submitted to descriptive statistical analysis and the texture data submitted to the geostatistical, principal components and cluster analyses for the determination of the ZI. Analysis of variance and Tukey's test were applied to the soil fractions, AD and APD data for validation of the delineated ZI. The best ZI number was four for both soil layers, and all zones showed significant difference at least for one of the three soil fractions. Lower percentages of the silt fraction associated with the higher clay fractions resulted in the reduction of AD and APD. Thus, it was possible to delimit irrigation management zones based only on soil texture data.

**KEYWORDS:** Available soil water content, geostatistics, fuzzy c-means.

### **INTRODUÇÃO**

O reconhecimento da qualidade de vinhos finos produzidos no Brasil vem crescendo nos últimos anos, tanto por consumidores internos como externos, ocasionando aumento da competitividade do setor e busca pela melhoria incessante da qualidade do vinho. Isso promove a demanda crescente de novas

tecnologias por parte dos vitivinicultores brasileiros em diversos setores da produção, dentre eles, no manejo hídrico da cultura.

A disponibilidade hídrica do solo é um fator determinante da qualidade da produção de uvas finas (ACEVEDO-OPAZO et al., 2010; BASSOI et al., 2015) e conseqüentemente na qualidade do vinho. Devido à elevada variabilidade dos solos tropicais brasileiros, mesmo em pequenas áreas, a disponibilidade hídrica também pode variar na mesma intensidade. Isso acarreta problemas no monitoramento da real necessidade hídrica da cultura por meio de sensores, quando instalados em um único ponto ou em pontos sem o prévio conhecimento da variabilidade na área. A adoção da agricultura de precisão (AP) pode auxiliar nesse contexto, pois possibilita realizar o monitoramento da umidade do solo e o manejo da irrigação baseado na variabilidade dos atributos do solo relacionados à sua disponibilidade hídrica em uma determinada área cultivada, por meio da identificação de zonas de manejo de maior e menor necessidade de irrigação, aumentando a eficiência do uso da água (HAGHVERDI et al., 2015) além de proporcionar maior homogeneidade na produção e sua qualidade.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a partir da utilização de ferramentas de AP para o manejo da irrigação e monitoramento da umidade do solo, com ampla variação nas técnicas e informações utilizadas no delineamento de zonas de manejo de irrigação (ZI) (JIANG et al., 2011; HAGHVERDI et al., 2015; OLDONI; BASSOI, 2016). No entanto, a adoção da AP por parte dos produtores ainda é limitada pelos custos de sua adoção. Uns dos métodos para diminuição de custos é a redução do número de variáveis caracterizadas além da adoção daquelas mais representativas com menor custo de aquisição. A coleta de amostras de solo deformadas para determinação das frações granulométricas do solo (argila silte e areia) pode ser uma alternativa, visto que apresentam influência na capacidade de armazenamento de água do solo e disponibilidade à planta (LIU et al., 2014). Portanto, o presente trabalho teve por objetivo delimitar ZI por meio da análise geoestatística e multivariada de dados de textura do solo de um pomar de videira de vinho, localizado em Espírito Santo do Pinhal, São Paulo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um pomar de videira de vinho cv. Chardonnay, sobre porta-enxerto Paulsen 1103, cultivado em uma área de 1,1 ha (coordenadas geográficas: 22° 10' 49,1" de latitude sul; 46° 44' 28,4" de longitude oeste; e altitude média de 875 m), localizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP. O sistema de formação das videiras é em espaldeira, com espaçamento entre linhas de 2,5 m e entre plantas de 1,0 m. A área possui sistema de irrigação por gotejamento, com uma linha lateral em cada fileira de plantas e dois gotejadores por planta, com vazão média de 1,88 l h<sup>-1</sup> cada. O solo da área foi classificado como Argissolo (IBGE/EMBRAPA, 2001), e o clima, segundo classificação proposta por Thornthwaite (1948), é classificado como B3rB'3a' (ROLIM et al., 2007).

Uma malha de 54 pontos amostrais foi estabelecida no pomar (Figura 1), seguindo as fileiras de plantas com um ponto a cada 20 plantas (20 m) e, em geral, a cada 4 fileiras (10 m). Os pontos foram georreferenciados por meio de um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS; HiPer® GGD, TOPCON), com o sinal corrigido no mecanismo *Real Time Kinematic* (RTK). Em cada ponto foram coletadas amostras indeformadas e deformadas nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos para determinação da densidade do solo. As deformadas foram utilizadas na determinação da distribuição do tamanho de partículas do solo (PSD) pelo analisador granulométrico de raios gama automatizado (VAZ et al., 1999). Com base na PSD, as frações areia, silte e argila foram determinadas, assim como a curva de retenção de água no solo (CR) utilizando o método de Arya-Paris (ARYA; PARIS, 1981; VAZ et al., 2005), sendo esta ajustada ao modelo de van Genuchten (VAN GENUCHTEN, 1980). A partir da CR, determinou-se o conteúdo de água disponível (AD, mm) e prontamente disponível (APD, mm) à planta, considerando os valores de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente quando retidas a -6 e -1500 kPa, respectivamente, e o limite para APD na umidade volumétrica retida a -100 kPa.

Os dados de argila, silte, areia, AD e APD, em ambas as profundidades, foram submetidos à análise estatística descritiva e o teste de normalidade não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de significância de 5%, foi aplicado. O coeficiente de variação (CV) dos atributos do solo avaliados foi classificado quanto à sua variação em torno da média segundo Wilding (1985), como baixa (CV≤15%); moderada (15<CV≤35%); e alta (CV>35%) variação. As análises foram realizadas utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017). A análise geoestatística foi então aplicada aos dados das frações granulométricas do solo para caracterização da distribuição espacial e interpolação dos mesmos por meio da krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007). Para isso, semivariogramas experimentais isotrópicos foram construídos, modelos teóricos foram ajustados e seus respectivos parâmetros de ajuste foram obtidos.

Para avaliar a dependência espacial de cada fração granulométrica do solo, o grau de dependência espacial (GDE) foi calculado e classificado segundo Cambardella et al. (1994):  $GDE \leq 25\%$  - forte dependência espacial;  $25 < GDE \leq 75\%$  - moderada dependência espacial; e  $GDE > 75\%$  - fraca dependência espacial. A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa Vesper 1.62 (MINASNY et al., 2005).

O delineamento das ZI foi realizado utilizando uma sequência de duas análises multivariadas: a análise de componentes principais (PCA); e análise de agrupamento por meio do algoritmo fuzzy c-means. Ambas as análises foram aplicadas somente com base nos dados de textura do solo. Para a PCA, uma matriz de correlação dos dados de areia, silte e argila, de cada profundidade do solo, foi utilizada como entrada, resultando em PCA normalizada. Foram selecionadas as componentes principais (PC) com autovalor  $>1$ , semelhante ao critério adotado em trabalhos realizados por Tripathi et al. (2015), para posterior utilização na análise de agrupamento e geração das ZI. A PCA foi realizada por meio do programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017). Análise de agrupamento foi então aplicada à matriz dos escores dos PC selecionados, esta obtida por meio da multiplicação entre a matriz dos autovetores e a matriz dos dados interpolados padronizados das frações granulométricas do solo, para cada camada de solo. O programa FuzME 3.5 (MINASNY; McBRATNEY, 2002) com número mínimo de 2 e máximo de 6 ZI testadas. Foi avaliado o melhor número zonas por meio do índice de desempenho fuzzy (FPI) (FRIDGEN et al., 2004) e entropia de partição modificada (MPE) (BOYDELL; McBRATNEY, 2002). Quanto menores os valores destes índices, melhor a divisão das ZI.

Para comprovar a eficiência das ZI geradas com base somente em dados de frações granulométricas do solo, foram utilizados os dados de AD e APD de cada ponto amostral das duas profundidades em estudo. Para isso, foi verificada a diferença significativa entre zonas aplicando a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey HSD, ao nível de 5% de significância, aos dados amostrados de AD e APD. O mesmo foi realizado para os dados de textura amostrados em ambas as profundidades de solo, com o intuito de comprovar a eficiência da análise de agrupamento na divisão do pomar em ZI e caracterizar a diferença. Para isso utilizou-se o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da textura indicaram um solo de textura argilosa (SANTOS et al., 2013), sendo a camada de solo de 0,2-0,4 m pouco mais argilosa (Tabela 1). Os valores de CV foram classificados como de baixa variação em torno da média ( $<15\%$ ; WILDING, 1985), com exceção aos dados de silte, classificado como de moderada variação (15-35%) em ambas as profundidades avaliadas. Os coeficientes de assimetria e curtose indicaram uma normalidade na distribuição de frequência da maioria dos conjuntos de dados, no entanto, por meio do teste não paramétrico K-S, a hipótese de normalidade dos dados foi descartada para os atributos AD e APD na camada do solo de 0-0,2 m.

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos das camadas de solo de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Atributo <sup>(a)</sup>	Camada (m)	Estatística descritiva <sup>(b)</sup>								$P_{K-S}$ <sup>(c)</sup>
		Média	Mediana	Mín	Máx	s	CV (%)	Ass	Cur	
Argila (%)	0-0,2	37,9	37,1	28,3	51,1	5,1	13,4	0,52	-0,02	0,201
	0,2-0,4	44,1	44,7	32,4	52,9	5,6	12,7	-0,39	-0,94	0,152
Silte (%)	0-0,2	12,5	12,7	7,8	18,4	2,3	18,4	0,22	-0,28	0,828
	0,2-0,4	12,9	12,3	8,8	18,8	2,5	19,1	0,55	-0,14	0,077
Areia (%)	0-0,2	49,4	49,5	36,5	59,8	5,3	10,7	-0,35	-0,19	0,625
	0,2-0,4	43,0	42,5	32,5	53,2	5,5	12,8	-0,02	-1,08	0,128
AD (mm)	0-0,2	17,2	17,8	12,5	19,7	1,7	10,1	-0,92	0,30	0,006
	0,2-0,4	16,7	16,7	13,3	21,5	1,8	10,6	0,60	0,03	0,343
APD (mm)	0-0,2	12,3	12,7	9,2	14,1	1,2	9,5	-0,89	0,24	0,004
	0,2-0,4	12,0	12,0	9,5	15,4	1,3	10,5	0,61	0,10	0,201

<sup>a</sup> AD e APD: água disponível e prontamente disponível, respectivamente. <sup>b</sup> Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ass: coeficiente de assimetria; Cur: coeficiente de curtose. <sup>c</sup>  $P_{K-S}$ : Probabilidade de distribuição normal de Kolmogorov-Smirnov (K-S),  $P_{K-S} > 0,05$  indica que a variável segue uma distribuição normal.

Foi possível identificar dependência espacial para todos os dados de textura do solo das duas camadas avaliadas (Tabela 2), sendo que o modelo teórico esférico melhor se ajustou à semivariância experimental. O alcance da dependência espacial dos dados de textura do solo das duas profundidades variou entre 26,4 e 48,8 m, limitando a dependência espacial a estas distâncias. De acordo com Cambardella et al. (1994), a dependência espacial foi classificada como moderada ( $25 < GDE \leq 75\%$ ) para todas as frações granulométricas do solo das duas profundidades avaliadas.

TABELA 2. Parâmetros dos semivariogramas das frações granulométricas das camadas de solo de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Atributo	Camada (m)	Modelo	Alcance (m)	Efeito pepita	Patamar	GDE (%) <sup>(a)</sup>	RMSE <sup>(b)</sup>
Argila (%)	0-0,2	Esférico	28,7	18,00	26,64	67,6	2,09
	0,2-0,4	Esférico	46,7	15,45	32,98	46,8	2,18
Silte (%)	0-0,2	Esférico	44,5	1,34	2,50	53,7	0,21
	0,2-0,4	Esférico	48,8	2,19	6,68	32,8	0,56
Areia (%)	0-0,2	Esférico	39,9	13,33	24,30	54,9	1,57
	0,2-0,4	Esférico	26,4	8,77	31,72	27,6	3,17

<sup>a</sup> GDE, grau de dependência espacial, de acordo com Cambardella et al. (1994); <sup>b</sup> RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio.

A PCA possibilitou explicar a maior parte da variância total das três frações granulométricas do solo com os dois primeiros PC (PC 1 e PC 2), em cada uma das profundidades avaliadas (autovalores > 1; Tabela 3). A primeira componente (PC 1) referente à camada de solo de 0-0,2 m, explica 64,4% da variância total dos dados e foi dominada pelos atributos argila e areia, com carga negativa para a areia. A segunda componente (PC 2) da mesma profundidade, explica o restante da variância dos dados e foi dominada com carga negativa pelo atributo silte. Resultados semelhantes são observados na segunda camada de solo avaliada, onde a PC 1 explicou 63,5% da variância dos dados e a PC 2 explicou, praticamente, o restante da mesma. A análise de agrupamento foi então aplicada, utilizando os scores dos PC 1 e PC 2 de cada profundidade do solo. O melhor número de zonas de manejo foi quatro para ambas as camadas de solo, identificado por meio do menor valor de FPI e MPE (Figuras 2A e 2B). A Figura 3 apresenta os mapas de ZI referentes às duas camadas de solo avaliadas.

TABELA 3. Análise de componentes principais das frações granulométricas das camadas de solo de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Componentes principais	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
Camada de solo de 0,0-0,2 m			
PC 1	1,93	64,39	64,39
PC 2	1,07	35,61	100,00
PC 3	0,00	0,00	100,00
Camada de solo de 0,2-0,4 m			
PC 1	1,90	63,47	63,47
PC 2	1,10	36,52	99,99
PC 3	0,00	0,01	100,00

Cargas das componentes para cada atributo do solo

	Camada de solo de 0,0-0,2 m			Camada de solo de 0,2-0,4 m		
	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia
PC 1	0,934	0,259	-0,996	0,983	-0,067	-0,966
PC 2	0,358	-0,966	0,084	0,184	-0,998	0,257
PC 3	0,000	0,000	0,000	-0,014	-0,006	-0,014

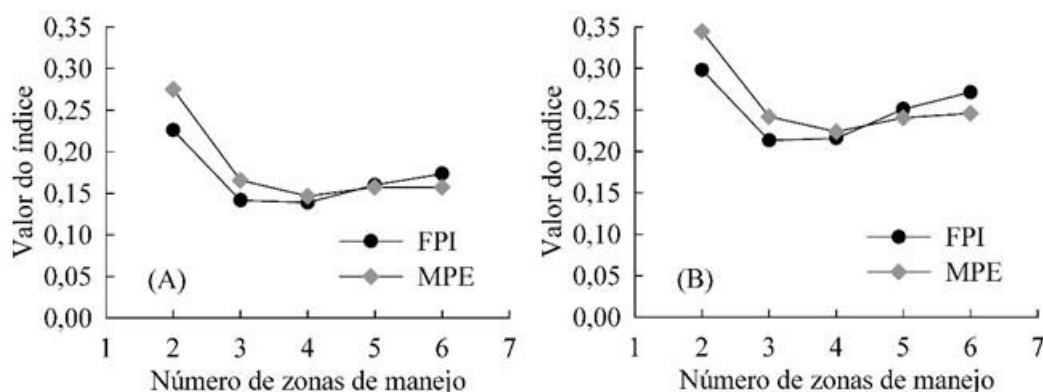


FIGURA 2. Índice de desempenho fuzzy (FPI) e entropia de partição modificada (MPE) para os diferentes números de zonas de manejo nas camadas de solo de 0-0,2 m (A) e 0,2-0,4 m (B).

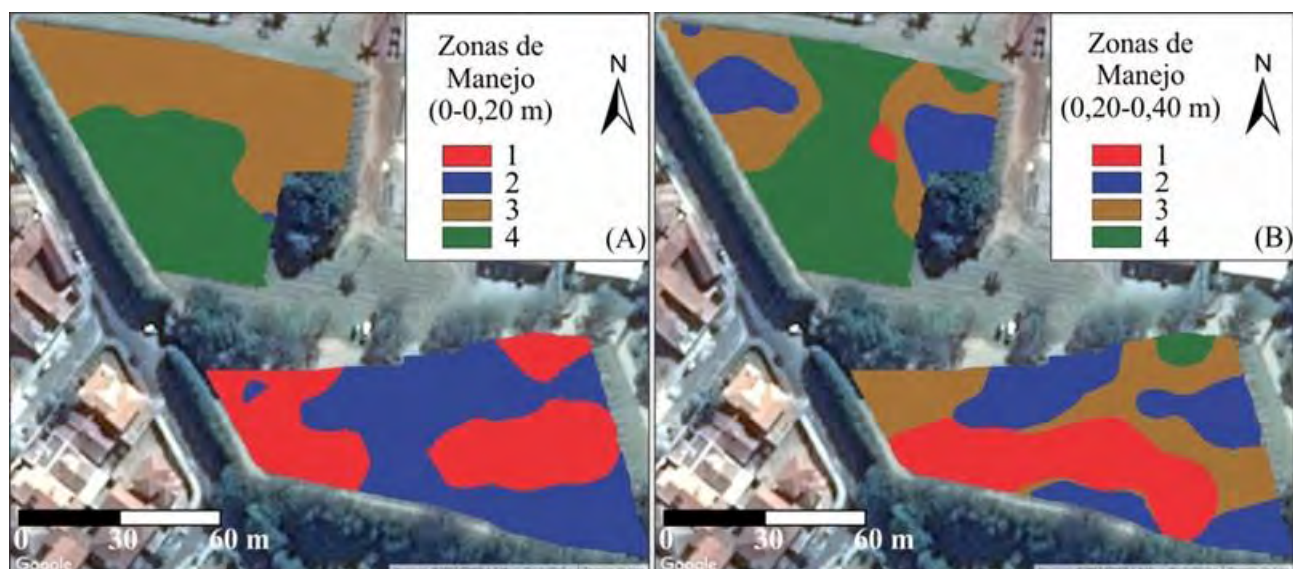


FIGURA 3. Zonas de manejo de irrigação delimitadas nas camadas de solo de 0-0,2 m (A) e 0,2-0,4 m (B).

A partir da ANOVA e teste de Tukey HSD, foi identificada diferença significativa entre os valores médios dos atributos das ZI das duas camadas de solo (Tabela 4), evidenciando a heterogeneidade entre zonas. Com base nos valores médios da textura do solo, as zonas 1 e 4 apresentaram os maiores valores de argila e menores de areia na camada de 0-0,2 m. Já os valores da fração silte foram maiores nas zonas 1 e 2. Na segunda camada de solo houve maior heterogeneidade entre zonas, quando comparada à camada mais superficial, principalmente para a fração argila, a qual apresentou diferença significativa para todas as quatro ZI, com os maiores valores na zona 4 e menores na zona 2. A divisão de zonas de manejo com base nos dados de textura do solo possibilitou identificar diferença significativa entre os valores médios de AD e APD das zonas de manejo geradas para ambas as camadas de solo. Este resultado demonstra que a utilização limitada de atributos físicos do solo na delimitação de zonas de manejo de irrigação pode ser uma alternativa na redução de custos iniciais na adoção da AP sem comprometer a confiabilidade dos resultados. As zonas de manejo 4, referentes às duas camadas de solo, apresentaram os menores valores médios dos atributos AD e APD. Os resultados deste trabalho permitem auxiliar na escolha correta dos pontos de implantação dos sensores de umidade do solo, bem como, planejar a divisão da área em parcelas de irrigação independentes.

TABELA 4. Valores médios dos dados de frações granulométricas, água disponível (AD) e prontamente disponível (APD) do solo das zonas de manejo das camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Zonas de manejo	n	Argila	Silte	Areia	AD	APD
		----- (%) -----			----- (mm) -----	
Camada de solo de 0-0,2 m						
1	13	42,05 a	14,21 a	43,74 b	17,79 a	12,70 a
2	14	34,31 b	14,25 a	51,44 a	18,07 a	12,93 a
3	16	34,83 b	11,17 b	54,01 a	17,62 a	12,63 a
4	11	42,43 a	10,18 b	47,39 b	14,72 b	10,65 b
Camada de solo de 0,2-0,4 m						
1	8	47,21 b	16,62 a	36,17 c	16,87 ab	12,10 ab
2	16	36,83 d	13,86 b	49,30 a	18,18 a	13,02 a
3	16	44,48 c	11,56 c	43,88 b	16,67 b	11,92 b
4	14	50,18 a	11,27 c	38,55 c	15,04 c	10,75 c

Valores médios com mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## CONCLUSÃO

O uso restrito de dados de amostras georreferenciadas para textura do solo permitiu o delineamento de zonas de manejo de irrigação com elevada representatividade do conteúdo de água disponível do solo. Menores porcentagens da fração silte associadas às maiores de argila resultaram na redução do conteúdo de água disponível do solo.



**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pelo suporte prestado durante o trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-OPAZO, C.; ORTEGA-FARIAS, S.; FUENTES, S. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.956-964, 2010.
- ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.1023-1030, 1981.
- BASSOI, L.H.; CORREIA, J.S.; DOS SANTOS, A.R.L.; SILVA, J.A; COSTA, B.R.S. Deficit irrigation in grapevine cv. syrah during two growing seasons in the Brazilian Semiarid. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, p.430-441, 2015.
- BOYDELL, B.; MCBRATNEY, A.B. Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. **Precision Agriculture**, v.3, p.9-23, 2002.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOCAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.
- FRIDGEN, J.J.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; WIEBOLD, W.J.; FRAISSE, C.W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v.96, p.100-108, 2004.
- HAGHVERDI, A.; LEIB, B.G.; WASHINGTON-ALLEN, R.A.; AYERS, P.D.; BUSCHERMOHLE, M.J. Perspectives on delineating management zones for variable rate irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.117, p.154-167, 2015.
- IBGE – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 – Escala 1:5.000.000. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php)>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- JIANG, Q.; FU, Q.; WANG, Z. Delineating site-specific irrigation management zones. **Irrigation and Drainage**, v.60, p.464-472, 2011.
- LIU, J.; WEI, C.F.; XIE, Q.; ZHANG, W.H. Capacities of soil water reservoirs and their better regression models by combining “merged groups PCA” in Chongqing, China. **Acta Ecologica Sinica**, v.34, p.53-65, 2014.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. **FuzME Version 3.5**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Sydney, Australia. 2002.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.6**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Sydney, Australia. 2005.
- OLDONI, H.; BASSOI, L.H. Delineation of irrigation management zones in a Quartzipsamment of the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1283-1294, 2016.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55-94, 1948.
- TRIPATHI, R.; NAYAK, A.K.; SHAHID, M.; LAL, B.; GAUTAM, P.; RAJA, R.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; PANDA, B.B.; SAHOO, R.N. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. **Catena**, v.133, p.128-136, 2015.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, 44: 892-890. 1980.
- VAZ, C.M.P.; IOSSI, M.F.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; COOPER, M. Validation of the Arya and Paris Water Retention Model for Brazilian Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, n.3, p.577-583, 2005.

VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, v.164, n.6, p.403-410, 1999.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2. ed. Chichester, Wiley and Sons, 2007. 315p.

WILDING, L.P. Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In: NIELSEN, D.R.; BOUMA, J. (Ed.). **Soil Spatial Variability**. Wageningen: Pudoc, p.166-194, 1985.

## **DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA CÁLCULO DE DOSES DE NITROGÊNIO PARA MILHO E TRIGO**

**EMANOEL DI TARSO DOS SANTOS SOUSA<sup>1</sup>, DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ<sup>2</sup>, AMANDA PEREIRA ASSIS GOMES<sup>3</sup>, AMÉLIA LAÍSY DO NASCIMENTO<sup>4</sup>, GREGORY DE OLIVEIRA MAYRINK<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-3463, emanoel.sousa@ufv.br.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Doutor, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-1882, queiroz@ufv.br.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola, Mestranda, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-3463, amanda.p.gomes@ufv.br.

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola, Doutoranda, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-3463, amelia.nascimento@ufv.br.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> ônomo, Doutorando, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-3463, gregory.mayrink@ufv.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Uma adequada adubação nitrogenada é fator primordial para se atingir níveis mais elevados produtividade das culturas. Normalmente as doses de fertilizantes nitrogenados para milho e trigo são definidas com base em tabelas de recomendação que levam em consideração a produtividade que se deseja alcançar. Novas metodologias têm sido desenvolvidas e aprimoradas para a determinação da dosagem de nitrogênio com base em índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). Este trabalho teve por objetivo desenvolver um programa de computador para calcular a dose de nitrogênio a ser aplicada nas culturas do milho e trigo, com base na produtividade desejada e no NDVI. O programa foi desenvolvido em linguagem C++ utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Qt Creator versão 5.8. As produtividades estabelecidas para cálculo da dosagem de nitrogênio foram de 6000, 8000 e 10000 kg por hectare, para o milho e 2000, 4000 e 6000 kg por hectare para o trigo, com o NDVI variando de 0,55 a 0,85. O programa forneceu resultados satisfatórios para ambas as culturas, sendo capaz de fornecer não só a quantidade necessária de nitrogênio para adubação da área, como também a dosagem do fertilizante fonte de nitrogênio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adubação nitrogenada, NDVI, Programa de computador.

## **DEVELOPMENT A SOFTWARE FOR CALCULATING OF NITROGEN DOSES FOR CORN AND WHEAT CROPS**

**ABSTRACT:** The application of the right doses of nitrogen is an important factor to get high crop yield. The doses of nitrogen fertilizers for corn and wheat are usually defined based on recommendation tables that require the crop yield as input data. New methodologies have been developed and improved to stablish the nitrogen doses based on vegetation indexes such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The objective of this work was to develop a software to calculate the nitrogen dose to be applied in corn and wheat crops, based on the desired yield and the measured NDVI. The software was developed in C++ using the integrated development environment Qt Creator version 5.8. The yields established for calculating of nitrogen doses were 6000, 8000 and 10000 kg per hectare for corn and 2000, 4000 and 6000 kg per hectare for wheat, with NDVI ranging from 0.55 to 0.85. The software provided satisfactory results for both crops, being able to provide not only the required amount of nitrogen for area fertilization, but also the nitrogen fertilizer doses.

**KEYWORDS:** Nitrogen fertilization, NDVI, Software.

## **INTRODUÇÃO**

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos. Na safra 2017/2018 estima-se que sua produção chegará a 229,5 milhões de toneladas, e mesmo sendo menor que a última safra, o país deve colher a segunda maior safra da história (CONAB, 2018). Para se atingir produtividades mais elevadas, a adubação nitrogenada é fator importante, uma vez que o desenvolvimento dos grãos está diretamente ligado ao nitrogênio, que é o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade (BARBOSA et al., 2016; MACHADO FILHO et al., 2018; NUNES et al., 2015). No entanto, em muitos casos o nitrogênio não está

disponível numa forma que facilite sua absorção pelas plantas, o que leva à necessidade de adubação nitrogenada (HURTADO et al., 2011; VIEIRA, 2017). Estudos realizados por Pietro-Souza et al. (2013), Wrobel et al. (2016), Barbosa et al. (2016) e Vieira (2017) mostraram que a adubação nitrogenada favorece o desenvolvimento das culturas do milho e trigo. O uso de tabelas de recomendação de adubação, como as apresentadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) e Ribeiro et al. (1999) são formas usuais de calcular a dose de nitrogênio. As quantidades de nutrientes necessárias para a adubação são calculadas a partir da produtividade que se pretende atingir. Porém, é necessário analisar o ganho de produtividade e a quantidade de nitrogênio a ser aplicado para se determinar a dose ideal de nitrogênio. Com intuito de otimizar a adubação nitrogenada, métodos que utilizam o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e mapas de produtividade estão sendo desenvolvidos e aprimorados (DA SILVA et al., 2017 e BARBOSA, 2017). Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um programa de computador para calcular a dose de nitrogênio a ser aplicada em milho e trigo, com base na produtividade desejada e no NDVI mensurado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O programa de computador proposto foi elaborado com uma interface gráfica para interação com o usuário e foi desenvolvido em linguagem C++, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Qt Creator versão 5.8 (THE QT COMPANY, 2018). A metodologia apresentada por Solie et al. (2012) e o manual do usuário do sensor óptico GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, Califórnia, EUA) foram utilizados como base para o cálculo da dosagem de nitrogênio a ser aplicada, representada pelas equações 1, 2 e 3.

$$N_d = \frac{Y_{max} N}{NUE} \quad (1)$$

$$NR = \frac{1}{1 + \exp \left[ \frac{-(RI_{NDVI} FP_{NDVI} - Inf)}{K} \right]} - \frac{1}{1 + \exp \left[ \frac{-(FP_{NDVI} - Inf)}{K} \right]} \quad (2)$$

$$DN = NR N_d \quad (3)$$

Em que:

- N<sub>d</sub> = Quantidade de nitrogênio necessário para atingir a produtividade prevista, kg ha<sup>-1</sup>;
- Y<sub>max</sub> = Produtividade máxima esperada para a área, kg ha<sup>-1</sup>;
- N = Teor de nitrogênio presente no grão a ser produzido, kg de N por kg de grão produzido;
- NUE = Eficiência do uso de nitrogênio pela cultura, decimal;
- NR = Razão normalizada, decimal;
- RI<sub>NDVI</sub> = Índice de resposta do NDVI, decimal;
- FP<sub>NDVI</sub> = NDVI da área em que será aplicado nitrogênio, decimal;
- Inf e K = Parâmetros estabelecidos em função do NDVI da área de referência e que permitem representar o modelo da variável produtividade como função do NDVI;
- DN = Dose de nitrogênio que deve ser aplicada, kg ha<sup>-1</sup>.

De acordo com Solie et al. (2012) o NDVI de referência deve ser determinado em uma área rica em nitrogênio e que, conseqüentemente, este não é um fator limitante à produtividade. As áreas para determinação do NDVI de referência devem apresentar a vegetação da cultura mais vigorosa que as demais que deverão receber a fertilização nitrogenada suplementar.

A estrutura do algoritmo do programa pode ser visualizada no fluxograma apresentado no Figura 1.

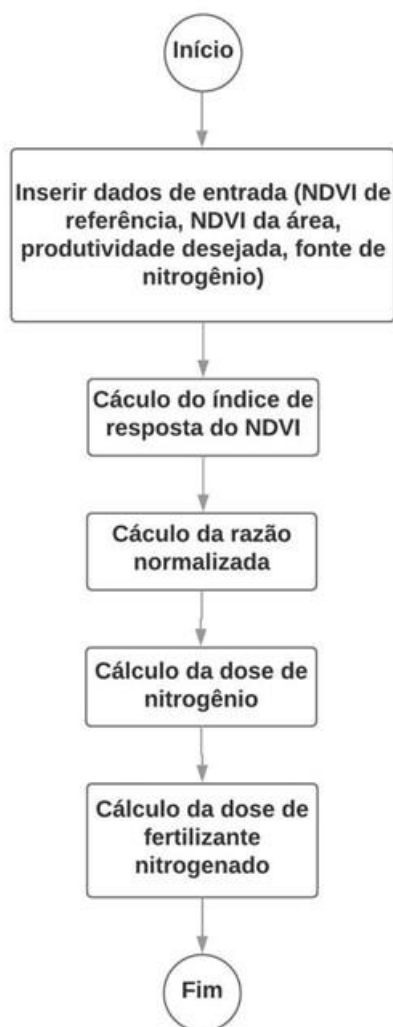


FIGURA 1. Fluxograma do programa de computador desenvolvido. **Flowchart of the developed software.**

Visando a comparação entre métodos de determinação da dose de nitrogênio, foi considerada uma mesma produtividade desejada para as culturas do milho e do trigo. Calculou-se a dose de nitrogênio utilizando a tabela de recomendação apresentada por Ribeiro et al. (1999) e utilizando o programa de computador desenvolvido. As produtividades utilizadas para os cálculos de doses de nitrogênio recomendada para o milho foram 6000, 8000 e 10000 kg por hectare. O cálculo das doses de nitrogênio recomendadas para o trigo foi realizado utilizando as produtividades de 2000, 4000 e 6000 kg por hectare. Os valores de NDVI adotados nas simulações do programa desenvolvido foram padronizados com base na amplitude das leituras de NDVI (0,55 a 0,85) obtido em experimento realizado por Povh et al. (2008), sendo 0,85 o NDVI de referência e os valores de NDVI entre 0,55 e 0,84 os NDVI's das áreas a serem tratadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa desenvolvido foi denominado NitroREC e foi utilizado nas simulações de recomendação de adubação nitrogenada por meio da interface gráfica do usuário ilustrada na Figura 2. Além de calcular a dose de nitrogênio, o programa desenvolvido calcula também a dose de alguns fertilizantes nitrogenados que estão listados na opção “Fonte de nitrogênio” (Figura 2). As fontes de nitrogênio adicionadas como opção foram nitrato de amônio, nitrato de cálcio, sulfato de amônio e uréia. Dessa forma, ao realizar o cálculo de uma determinada dose de nitrogênio utilizando o programa, o usuário recebe, além da dose do nutriente em questão, a dose do fertilizante que ele escolhe nos dados de entrada. Caso o fertilizante nitrogenado desejado não esteja entre as opções apresentadas o usuário pode escolher aquele que lhe for mais conveniente ou mais acessível economicamente e realizar a conversão manualmente fora da execução do NitroREC.

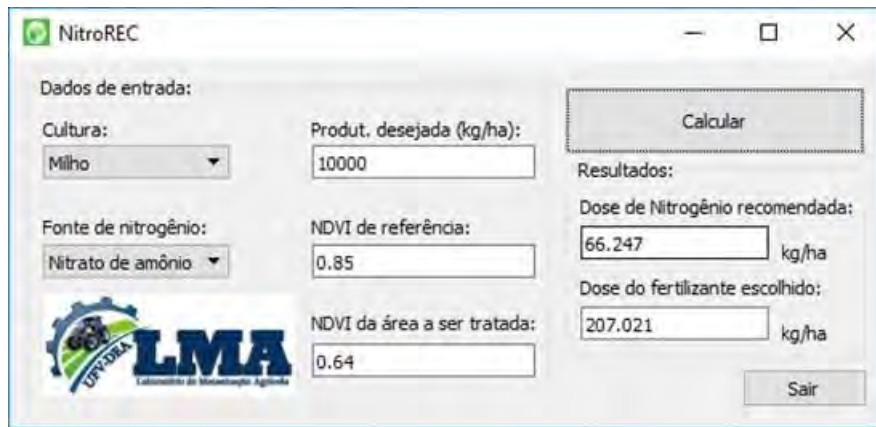


FIGURA 2. Interface gráfica do usuário do programa desenvolvido. **Graphical user interface of the developed software.**

Em caso de a área a qual se deseja aplicar fertilizantes nitrogenados apresentar NDVI igual ao NDVI de referência, o algoritmo do programa reconhece esta como uma área que não necessita de aplicação de nitrogênio extra. Neste caso, o NitroREC emitirá um aviso conforme ilustra a Figura 3.

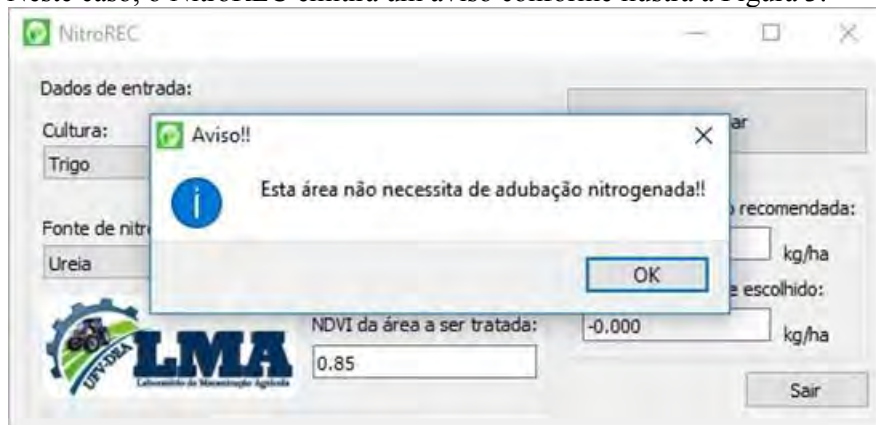


FIGURA 3. Interface gráfica do usuário com aviso sobre a não necessidade de adubação. **Graphical user interface with warning about no fertilization required.**

Para obter o resultado apresentado na Figura 4, foi simulado um equívoco do usuário na digitação do valor do NDVI de referência ou NDVI da área a ser tratada. Neste caso, o NDVI da área informado foi maior que o NDVI de referência. A fim de contornar situações como essa, o programa foi implementado de forma que pudesse detectar a falha e emitir aviso sobre como proceder para a correto cálculo de recomendação da dose de nitrogênio a ser aplicada.

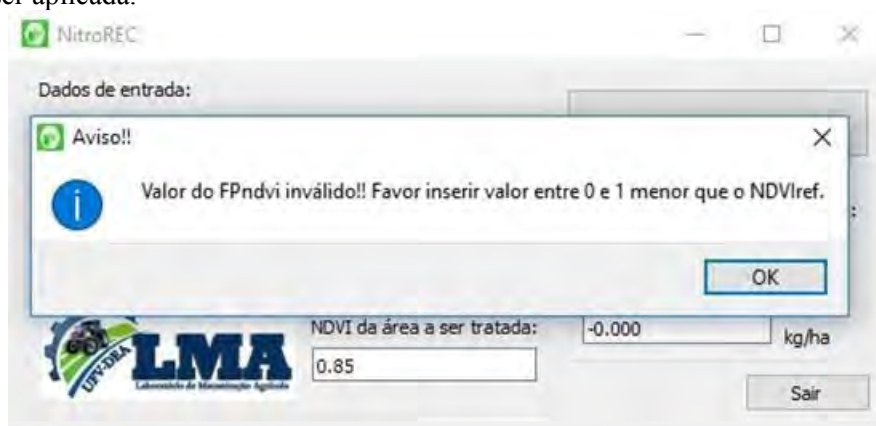


FIGURA 4. Interface gráfica do usuário com aviso sobre os dados de entrada. **Graphical user interface with warning about input data.**

Os resultados dos cálculos realizados pelo programa comparados com as recomendações apresentadas por Ribeiro et al. (1999) para a cultura do milho estão dispostos na Tabela 1. Percebe-se que apenas para a produtividade de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> o resultado apresentado pelo programa foi maior que a dose recomendada por Ribeiro et al. (1999). Por considerar também o NDVI, a dose recomendada pelo NitroREC deve variar em relação às tabelas de recomendação mais conhecidas e também variar espacialmente dentro da área em que se deseja tratar. Dessa forma, o programa apresenta potencial para ser utilizado na aquisição e processamento de dados que podem ser úteis na geração de mapas de recomendação de adubação nitrogenada, caso seja utilizado em conjunto com um aparelho GNSS (Global Navigation Satellite System).

TABELA 1. Comparação entre as doses de nitrogênio recomendadas para o milho obtidas por Ribeiro et al. (1999) e pelo NitroREC calculadas para um NDVI da área a ser tratada de 0,55. **Comparison between the nitrogen doses recommended for corn obtained by Ribeiro et al. (1999) and NitroREC calculated for NDVI of area 0,55.**

Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de N recomendada (Ribeiro et al., 1999) (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de N recomendada pelo programa desenvolvido (kg ha <sup>-1</sup> )	Diferença entre as doses recomendadas (kg ha <sup>-1</sup> )
6000	60	65	+5
8000	100	87	-13
10000	140	110	-30

Os resultados dos cálculos realizados pelo programa comparados às recomendações apresentadas por Ribeiro et al. (1999) para a cultura do trigo estão listados na Tabela 2. Nota-se que na recomendação apresentada por Ribeiro et al. (1999), a dose de nitrogênio varia sempre entre 20 e 60 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo da variedade e sistema de cultivo. Enquanto as doses calculadas pelo NitroREC variam de acordo com a produtividade desejada e com os índices de vegetação da área de referência e da área a ser tratada.

TABELA 2. Comparação entre as doses de nitrogênio recomendadas para o trigo obtidas por Ribeiro et al. (1999) e pelo NitroREC calculadas para um NDVI da área a ser tratada de 0.55. **Comparison between the nitrogen doses recommended for wheat obtained by Ribeiro et al. (1999) and NitroREC calculated for NDVI of area 0,55.**

Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de N recomendada (Ribeiro et al., 1999) (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de N recomendada pelo programa desenvolvido (kg ha <sup>-1</sup> )	Diferença entre as doses recomendadas (kg ha <sup>-1</sup> )
2000	20 - 60	40	-20
4000	20 - 60	79	+19
6000	20 - 60	118	+58

De acordo com resultados obtidos e apresentados por Povh et al. (2008), os maiores valores de NDVI para o trigo foram observados durante o seu perfilhamento. Sendo assim, é recomendável que o NDVI de referência para o trigo, bem como sua respectiva recomendação de adubação, sejam determinados nessa fase do desenvolvimento da cultura.

Para ambas as culturas o programa desenvolvido mostrou-se sensível a variação no NDVI da área a ser tratada. Este fato resultou em recomendações distintas, dependendo do NDVI da área inserido (Figura 5). Pode-se perceber que quanto menor for o NDVI da área maior será a dose recomendada. Nota-se que dentre as culturas e produtividades testadas a maior amplitude de doses de nitrogênio recomendadas ocorreu para o trigo. A maior diferença entre os valores das doses de nitrogênio recomendadas para o trigo pelo manual de recomendação e as doses recomendadas pelo programa desenvolvido pode ser explicada pelo fato do manual generalizar as recomendações. Embora seja um método que leva em consideração algumas variáveis como sistema de cultivo, variedade do trigo e produtividade desejada, a dose recomendada varia pouco. Já o método implementado no programa desenvolvido se mostrou mais sensível às variáveis de entrada, em especial o NDVI de referência adotado para esta cultura que pode ter sido ligeiramente superior aos valores observados em condições de campo.

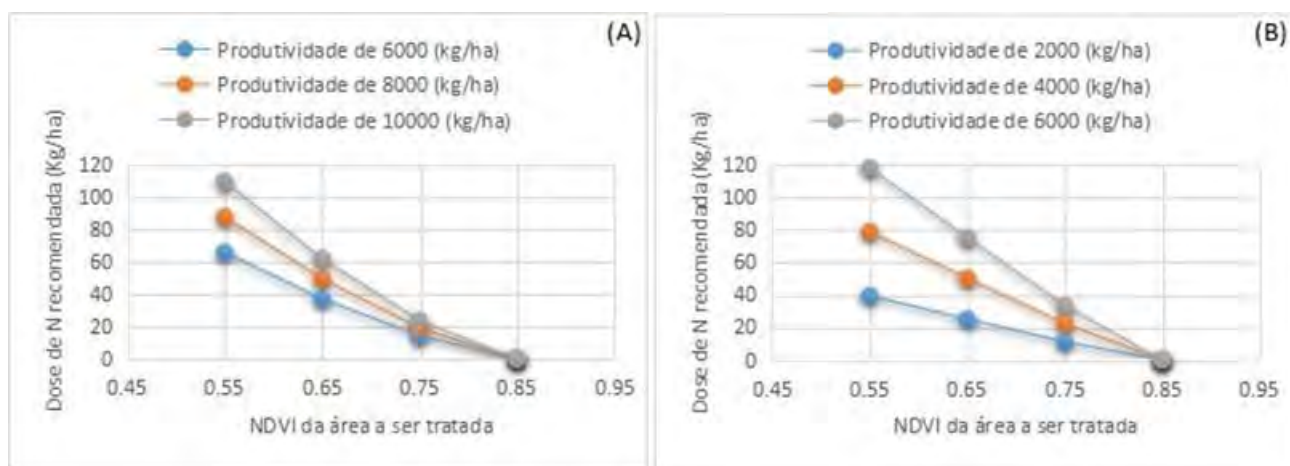


FIGURA 5. Curva de resposta do programa em função do NDVI da área a ser tratada, com NDVI de referência fixado em 0,85 (A - Milho, B - Trigo). **Software response curve according to the NDVI of the area to be treated, with NDVI reference set at 0.85 (A - Corn, B - Wheat).**

## CONCLUSÃO

O programa de computador desenvolvido conseguiu calcular as doses de nitrogênio de maneira satisfatória para ambas as culturas. Os resultados apresentados pelo programa diferiram em média 16 kg por hectare para o milho e 32 kg por hectare para o trigo em relação a metodologia usual.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFV pela aprendizagem e oportunidade de realizar o trabalho e agradecem a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; ÁVILA, M. R. Desempenho agrônomo e qualidade das sementes de trigo sob adubação nitrogenada no Arenito Caiuá. **Magistra**, v. 28, n. 2, p. 211-220, 2016.
- BARBOSA, W. S. S. Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. Dissertação (Pós-graduação em Agronomia) - **Universidade Federal de Alagoas**, 2017.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul**, 2004.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, V. 5 - SAFRA 2017/18- N. 7 - Sétimo levantamento**, abril, 2018.
- DA SILVA, M. R. T.; CAMPOS, G. A. M.; SANTOS, C. X.; FREITAS, E. F. M.; ALVES, S. M. F. Número de Pontos Amostrais no Estudo da Variabilidade Espacial do índice SPAD na Cultura de Tomate Industrial. **Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE)**(ISSN 2447-8687, 2017.
- HURTADO, S. M. C.; RESENDE, Á. V. D.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, 2011.
- MACHADO FILHO, G. C.; NASCIMENTO, I. R.; SAKAI, T. R. P.; ROCHA, W. S.; SANTOS, M. M. dos. °Brix e produção de espigas de milho verde em função de épocas de adubação nitrogenada. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.1, p.33-41, Jan-Abr., 2018.
- NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D. S.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, 2015.
- PIETRO-SOUZA, W.; BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. de C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em latossolo vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.575-580, 2013.



POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. 359p.

SOLIE, J. B.; MONROE, A. D.; RAUN, W. R.; STONE, M. L. Generalized algorithm for variable-rate nitrogen application in cereal grains. **Agronomy journal**, v. 104, n. 2, p. 378-387, 2012.

THE QT COMPANY. **The IDE – Qt Creator**. 2018. Disponível em: <<http://www.qt.io/ide/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

VIEIRA, C. P. Resposta agrônômica do milho à adubação nitrogenada e potássica em sistema de plantio direto. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. **Universidade Federal da Paraíba**, Areia, 2017.

WROBEL, F. L.; NEUMANN, M.; LEÃO, G. F. M.; HORST, E. H.; UENO, R. K. Doses de nitrogênio sobre produtividade e aspectos nutricionais de grãos e palha de trigo duplo propósito. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v.14, p.27-35, 2016.

## **EFEITO DA UMIDADE DO SOLO EM MEDIÇÕES DE PH UTILIZANDO ELETRODOS ÍON-SELETIVOS**

**ISAC S. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, TIAGO R. TAVARES<sup>2</sup>, RODRIGO G. TREVISAN<sup>3</sup>, VICTOR HUGO S. BERSANI<sup>1</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP-ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP-ESALQ, Piracicaba – SP, tiagosrt@usp.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Mestre, Smart Agri – Agricultura Inteligente, ESALQ Tec Incubadora Tecnológica, Piracicaba-SP

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP-ESALQ, Piracicaba – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Sensores eletroquímicos apresentam potencial para determinação do pH e de alguns nutrientes disponíveis em solos. No entanto, pesquisas nacionais têm sugerido que, assim como a concentração do elemento de interesse, a umidade também apresenta efeito sobre a resposta do sensor em amostras de solos tropicais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da umidade do solo na determinação do pH utilizando eletrodos íon-seletivos (ISE), bem como avaliar o desempenho deste sensor ao atuarem em conjunto com sistemas de jatos d'água presentes no equipamento comercial Mobile Sensor Platform da empresa Veris Technologies (Salina, KS, EUA). Para o estudo utilizou-se conjuntos de amostras de diferentes classes texturais e com variabilidade de pH (CaCl<sub>2</sub>), determinados via análise laboratoriais. Estas amostras foram submetidas a avaliações com e sem a influência do sistema de jatos d'água. As medições com o ISE de pH foram realizadas com diferentes níveis de umidade por meio da adição de água destilada ao solo. Observou-se que a umidade da amostra apresenta efeito significativo sobre a resposta do eletrodo, principalmente em baixos teores de umidade, estabilizando este efeito a partir de 25% de umidade. O sistema de jatos d'água, utilizado para limpeza do ISE em amostras consecutivas, também contribui para o umedecimento da amostra de solo a ser analisada e, conseqüentemente permite reduzir o efeito da umidade do solo. O sistema de jatos d'água permitiu estabilizar o efeito da umidade em amostras com pelo menos 5% de umidade gravimétrica, com R<sup>2</sup> próximos a 0,70.

**PALAVRAS-CHAVE:** plataforma multisensores; acidez do solo; sensoriamento proximal do solo.

### **INFLUENCE OF SOIL MOISTURE IN PH MEASUREMENTS USING ION-SELECTIVE ELECTRODES**

**ABSTRACT:** Electrochemical sensors present potential for determining the pH and some available nutrients in soils. However, national studies have suggested that additionally the interest element concentration, moisture has also an effect on the sensor outputs from samples of tropical soils. The objective of this work was to evaluate the influence of soil moisture on pH determination using ion-selective electrodes (ISE) and to measure the performance of this sensor when working with water jet systems present in the commercial equipment Mobile Sensor Platform of Veris Technologies (Salina, KS, USA). This study used samples with variability of pH (CaCl<sub>2</sub>) and texture, determined through laboratory analysis. These samples were evaluated with and without the influence of the water jet system. The measurements with the ISE were carried out on soil samples with different levels of humidity, obtained by the addition of distilled water to the soil. It was observed that the humidity of the sample influenced the electrode output, mainly in its moisture was low, stabilizing this effect above 25% moisture. The water jet system, used to clean the ISE for work in consecutive samples, also contributes to the wetting of the soil sample and, consequently, reduces the effect of soil moisture. The water jet system allowed stabilizing the effect of moisture in samples with at least 5% gravimetric humidity, with R<sup>2</sup> close to 0.70.

**KEYWORDS:** multi-sensors-plataform; soil acidity; proximal soil sensing.

## INTRODUÇÃO

Para um correto mapeamento respeitando parâmetros geoestatísticos exige-se uma alta densidade amostral ( $>1$  amostra  $\text{ha}^{-1}$ ) para a avaliação da maioria dos atributos químicos do solo (CHERUBIN et al., 2014; 2015). O elevado custo e tempo necessários para amostrar e analisar o solo conduziram os pesquisadores a buscarem novas maneiras de determinar seus atributos físico-químicos, recebendo destaque a utilização de técnicas de sensoriamento proximal do solo (SPS).

Dentre as técnicas de SPS, os eletrodos íon-seletivos (ISE) demonstram resultados promissores para determinação de nutrientes do solo (ADAMCHUK et al., 2005; SILFIELD et al., 2010). O primeiro equipamento de mensuração do pH do solo em movimento, o qual utilizava ISE, foi apresentado por Adamchuk et al. (1999). O sistema funciona com uma plataforma automática de coleta de amostras de solo e com um sistema de jato d'água pressurizado utilizado para limpeza dos eletrodos entre leituras consecutivas. As leituras são realizadas em média a cada dez segundos diretamente no solo por dois eletrodos íon-seletivos, sem a necessidade de preparo da amostra. Pesquisas em solos temperados e tropicais têm apresentado boas correlações entre os dados de pH obtidos por este sistema ISE e análises laboratoriais (ADAMCHUK et al., 1999; SILVA, 2013; EITELWEIN, 2017).

Em solos de regiões temperadas observou-se que a umidade exerce efeito sobre a leitura do sensor, à medida que se aumenta o teor de água no solo, diminui-se a resposta em mV do sensor e aumenta sua sensibilidade (ADAMCHUCK et al., 1999). Porém, entre as faixas de umidade comumente observada em campo (15 a 25%) é possível considerar desprezível o efeito da umidade, pois não há diferença significativa para a resposta do sensor dentro destas faixas, viabilizando a operação deste sistema em campo sem a necessidade de dados auxiliares de umidade do solo. Por outro lado, em solos tropicais, trabalhos pioneiros com sensores eletroquímicos (SILVA, 2013; EITELWEIN, 2017), ao realizarem medições em áreas com diferentes teores de água no solo, observaram que o efeito da umidade influencia o desempenho do sensor na determinação do pH, com melhores desempenhos à medida que se aumenta a umidade do solo.

Assim, o presente trabalho foi motivado pelo seguinte questionamento: a umidade presente em solos tropicais estaria de fato influenciando o desempenho de ISE e deve ser uma variável a ser levada em consideração nos modelos de predição do pH? Além disso, o sistema de jatos d'água, projetado para a limpeza dos eletrodos, influenciariam indiretamente a umidade das amostras e, conseqüentemente, o desempenho dos ISE? Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da umidade do solo na determinação do pH utilizando ISE, bem como avaliar o desempenho deste sensor ao atuarem em conjunto com sistemas de jatos d'água presentes no equipamento comercial *Mobile Sensor Platform* (MSP) da empresa Veris Technologies (Salina, KS, EUA).

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi executado em duas etapas: (i) a primeira foi conduzida em bancada (Figura 1A), com total controle da umidade do solo que entrou em contato com o ISE, de modo a verificar o comportamento da resposta do sensor em função desta variável, e (ii) a segunda, conduzida junto ao sistema de jato d'água da MSP (Figura 1B), o qual mantém a ponta do ISE úmida, o que indiretamente causa o aumento da umidade da amostra de solo, de modo a avaliar se este incremento de umidade influencia o desempenho do ISE.

Para execução da primeira etapa, utilizaram-se 20 amostras pertencentes a quatro diferentes classes texturais, totalizando 5 amostras por classe (Tabela 1). As amostras fazem parte do banco de amostra de solos do Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP) da USP/ESALQ, as quais já foram previamente submetidas a análise laboratoriais para determinação de seus atributos de fertilidade. As 5 amostras de cada classe textural foram selecionadas com a maior variabilidade possível de pH ( $\text{CaCl}_2$ ). Cada amostra foi previamente seca em estufa ( $105^\circ\text{C}$  por 48 h), moída e peneirada ( $< 2$  mm). As avaliações com o ISE foram realizadas com as amostras secas e após serem umedecidas em 10 diferentes níveis de umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) utilizando água destilada, conforme apresentado na Tabela 1. As amostras foram umedecidas levando em consideração seu peso seco, após secagem em estufa.

TABELA 1. Descrição da classe textural das amostras de solo utilizadas no experimento, bem como dos níveis de umidade estabelecidos antes das leituras com os eletrodos.

N. de amostras	Textura	Umidades avaliadas
5	Média arenosa (15 – 25% de argila)	
5	Média argilosa (25 – 35% de argila)	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%,
5	Argilosa (35 – 60% de argila)	30%, 35%, 50%, 75% e 100%
5	Muito argilosa ( $> 60\%$ de argila)	

Para execução da segunda etapa e verificação da influência do sistema de jatos d'água, utilizou-se as mesmas amostras das duas classes com maior diferença de textura (classes média arenosa e muito argilosa), totalizando 10 amostras avaliadas. O mesmo procedimento de preparo de amostras e controle de umidade foi utilizando; contudo a variação da umidade foi interrompida em 50%, não sendo avaliadas as umidades de 75 e 100%, uma vez que já havia sido verificado, na primeira etapa, a estabilização do efeito da umidade em umidades inferiores a 50%. Nesta etapa, embora as amostras tenham sido umedecidas com água destilada, o sistema de jatos d'água, o qual exige grande quantidade de água para seu funcionamento, foi abastecido com água de torneira a qual apresentava pH alcalino (aproximadamente 8,10).

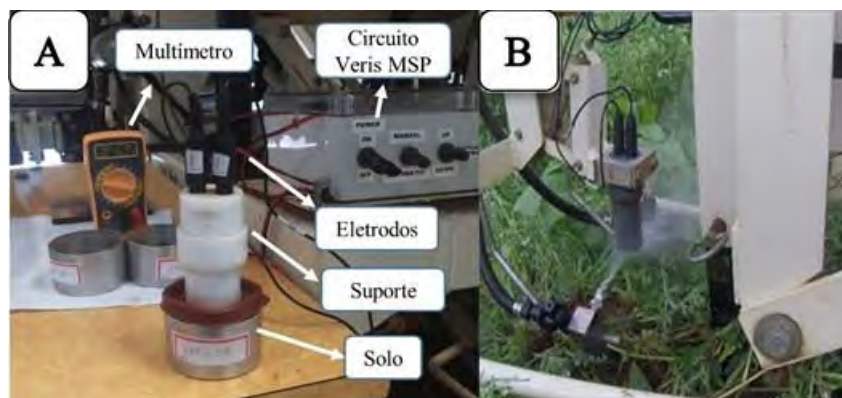


FIGURA 1. Visualização da bancada utilizada na primeira etapa (A) e sistema de jato d'água pressurizado funcionando para limpeza das pontas dos ISE (B).

Em ambas as etapas, as medidas de pH do solo foram realizadas com dois ISE originalmente fornecidos junto com a plataforma Veris MSP (Veris Technologies, Salina, KS, EUA). A atividade do íon  $H^+$  nas amostras foi determinada por meio da leitura do potencial eletroquímico em mV, obtida com o auxílio de um multímetro. As leituras em mV correspondem ao logaritmo da concentração/atividade do íon  $H^+$  na solução. Como o pH é uma escala logarítmica da concentração de  $H^+$  na solução do solo, há uma relação linear negativa entre a resposta em mV e o pH do solo (ADAMCHUK et al., 1999). Antes do início das atividades a resposta do eletrodo foi calibrada em duas soluções tampão com pH padrão de 4 e 7, informação utilizada para conversão de potencial eletroquímico em valor de pH.

Os dados de ambas as etapas foram submetidos a análise de variância para verificação do efeito da umidade e da variação de pH, bem com sua interação. Em seguida, a resposta do sensor em função da umidade foi plotada em gráficos para cada classe textural, para visualização do efeito dos tratamentos e da dispersão dos dados. Por último, foram calculados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das regressões para cada nível de umidade e plotados em um gráfico para os dados obtidos em bancada e outro com o sistema de jatos em funcionamento. Para todas as análises os dados de potencial eletroquímico foram analisados em modulo para sua transformação em valores positivos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Resposta do ISE em função da umidade do solo (Etapa 1)*

A análise de variância demonstrou que existe interação significativa entre os valores registrados pelo ISE e o nível de umidade da amostra (Tabela 2). Desta forma, as leituras realizadas em diferentes níveis de umidade produzirão diferentes resultados de pH estimado, tanto do ponto de vista da exatidão quanto da precisão dos valores estimados. Esse efeito é indesejável para a utilização do método de mensuração de pH em tempo real no campo, pois torna necessário o conhecimento da umidade do solo para possibilitar a obtenção de resultados confiáveis.

As amostras utilizadas contemplaram diferentes classes texturais e uma amplitude de valores de pH ( $CaCl_2$ ) de 4,1 a 6,7. As relações entre os níveis de umidade e as leituras observadas no ISE podem ser visualizadas na Figura 2. As amostras foram agrupadas pela classe textural para facilitar a visualização dos resultados. De maneira geral, em níveis de umidade abaixo de 25%, os valores de leitura dos ISE são mais afetados pelo conteúdo de água na amostra do que pelo real valor de pH, uma vez que existe maior dispersão dos dados, não sendo possível distinguir claramente o valor real de pH, refletindo em previsões com alto erro associado.

TABELA 2. Análise de variância para os efeitos do eletrodo, do nível de umidade e da interação entre ambos sobre o pH das amostras de solo para a etapa de bancada.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr (>F)
Eletrodo (mV)	1	41,4	41,45	137,01	<2e-16
Umidade (%)	10	299,2	29,92	98,92	<2e-16
Sensor x Umidade	10	89,7	8,97	29,64	<2e-16
Erro	1298	392,7	0,30		

Na faixa de umidade entre 25 e 35% têm-se uma melhor separação das amostras - indicando aumento da sensibilidade do ISE -, mas ainda existe efeito de aumento do potencial eletroquímico com o incremento da umidade. Para os teores de umidade entre 50 e 100% observa-se que os valores estão estáveis, descritos por uma reta paralela ao eixo dos teores de umidade. Nessa faixa, tem-se o comportamento ideal desejado para o uso dos ISE, pois o valor estimado de pH será o mesmo independentemente da variação do teor de umidade.

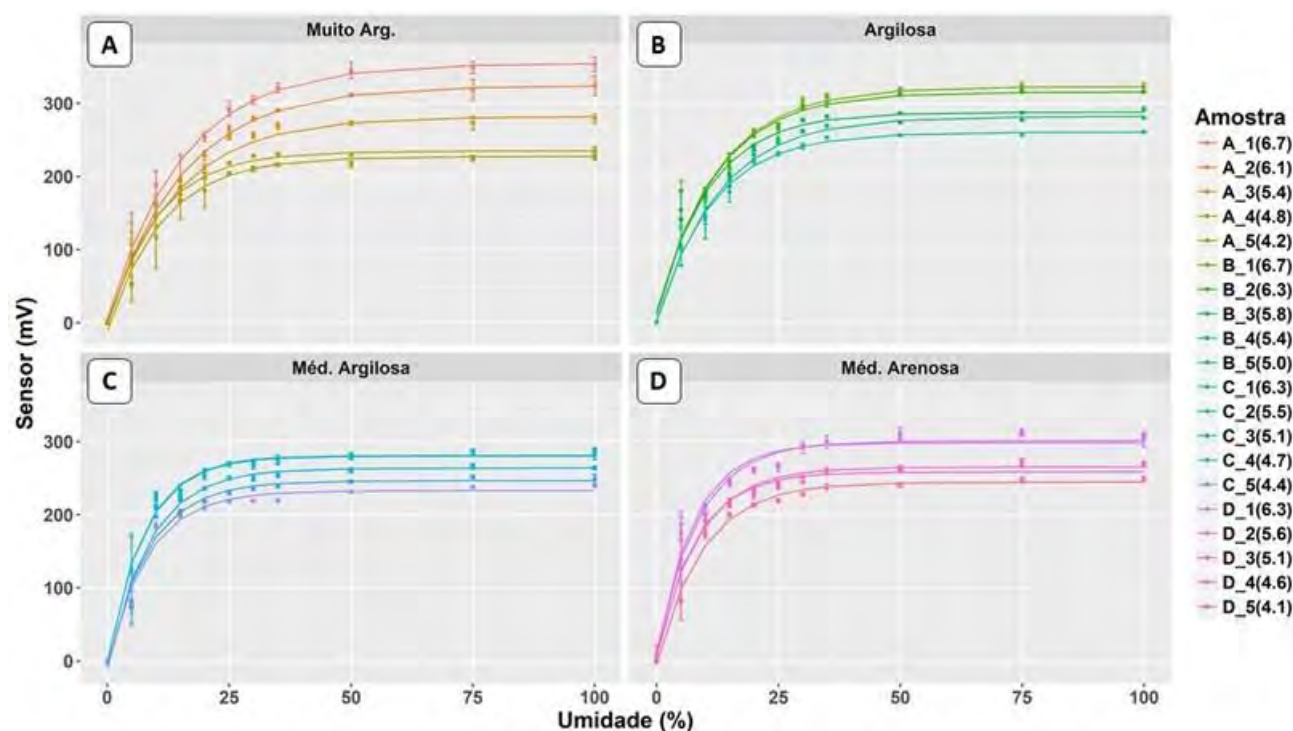


FIGURA 2. Efeito da umidade (gravimétrica) sobre a resposta do sensor eletroquímico em quatro diferentes classes texturais de solo para a etapa de bancada.

#### *Influência do sistema de jatos d'água sobre o desempenho do sensor (Etapa 2)*

A função do sistema de jatos d'água é descrita comercialmente como um mecanismo para limpeza da ponta do ISE, de modo a remover resquícios de solo que poderiam contaminar as leituras consecutivas. No entanto, o jato pode atuar como um meio para aumentar a umidade da amostra, especialmente na microrregião do solo que entra em contato com sensor. Durante a execução desta etapa verificou-se que a quantidade de água que se mantém presa à superfície do sensor e que acaba entrando em contato com o solo é de aproximadamente 0,20 g, correspondendo a aproximadamente 4 gotas.

A análise de variância realizada para os dados coletados nesta segunda etapa demonstrou que mesmo utilizando o sistema de jatos d'água, ainda existe interação significativa entre os valores registrados pelo ISE e o nível de umidade da amostra (Tabela 3). No entanto, ao observarmos o gráfico com as relações entre os níveis de umidade e as leituras do ISE para os dados coletados utilizando sistema de jatos d'água (Figura 3) verificamos que o efeito da umidade foi muito menor ao observado na primeira etapa (Figura 2).

TABELA 3. Análise de variância para os efeitos do eletrodo, do nível de umidade e da interação entre ambos sobre o pH das amostras de solo para a etapa utilizando sistema de jatos d'água.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr (>F)
Eletrodo (mV)	1	65,3	65,3	146,9	<2e-16
Umidade (%)	8	35,9	4,5	10,1	<1,27e-13
Sensor x Umidade	8	196,6	24,6	55,3	<2e-16
Erro	1062	472,2	0,44		

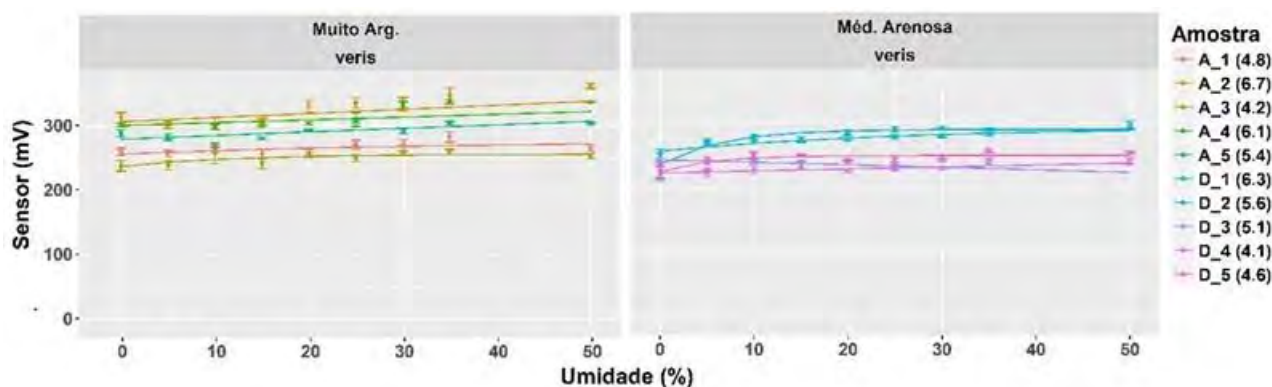


FIGURA 3. Efeito da umidade (gravimétrica) sobre a resposta do sensor eletroquímico em duas diferentes classes texturais de solo para a etapa utilizando sistema de jatos d'água.

Ao compararmos a resposta do ISE em função da umidade, com e sem o sistema de jatos d'água, observamos que este comportamento mais estável da resposta do sensor observado na Figura 3, se aproximando do desempenho observado a partir de 30% de umidade para as amostras da etapa 1 (Figura 2). Assim, embora o sistema de jatos d'água adicione pouca água à amostra, ele permite melhorar o desempenho do ISE, permitindo a estabilização do potencial eletroquímico já com baixos teores de umidade na amostra (próximo a 0% de água). Assim, para a utilização de ISE para o monitoramento de atributos do solo em tempo real e sem a necessidade de se conhecer a umidade das amostras de solo analisadas é fundamental a utilização do sistema de jatos d'água.

Embora ainda exista efeito da umidade sobre as leituras do ISE - facilmente observada na Figura 3 observando a oscilação da linha que traça o comportamento de cada amostra - ao considerarmos que a umidade gravimétrica do solo *in situ*, normalmente, não oscilará muito a nível local, principalmente em área com baixa variabilidade de textura, é possível obter bons resultados de predição com o ISE, considerando que o efeito da umidade será reduzido. No entanto, em condições onde possa haver uma maior variabilidade de umidade do solo dentro da área a ser sensoriada (ex. grandes variações texturais ou chuvas localizadas), as predições com o ISE podem ser comprometidas, mesmo com a utilização do sistema de jatos d'água. Neste caso, informações auxiliares sobre a umidade do solo (ex. mensuradas com algum outro sistema sensor), bem como sistemas que preparem a amostra antes da leitura com o ISE - tal como abordado por Sethuramasamyraja et al. (2008) – podem ser uma alternativa.

#### Comparação do coeficiente de determinação do ISE com e sem o sistema de jatos d'água

Além de mensurações com baixa dispersão (precisão), também é desejável que o método apresente altos valores de correlação com os dados obtidos pelo método laboratorial de referência. O comportamento do coeficiente de determinação em função da umidade para o ISE funcionando com e sem o sistema de jatos d'água (Figura 4) mostrou novamente que há uma maior estabilidade no desempenho deste sensor ao trabalhar em conjunto com o sistema de jatos d'água.

Com exceção das amostras que entraram secas (0% de umidade) para análise com o ISE, o sistema de jatos permitiu que o  $R^2$  oscilasse em torno de 0,7 para todas as umidades de solo. Em contrapartida, na ausência do molhamento da amostra (jato d'água), a estabilidade de desempenho do ISE só é observada a partir de 25% de umidade. Na Figura 4 também é observado que o desempenho do ISE avaliado em bancada se estabilizou com  $R^2$  superior a 0,8; valor maior ao observado para as amostras avaliadas com o sistema de jato d'água em funcionamento. Este comportamento pode ser explicado pela utilização de água com pH alcalino para limpeza dos ISE, que pode ter influenciado em sua leitura.

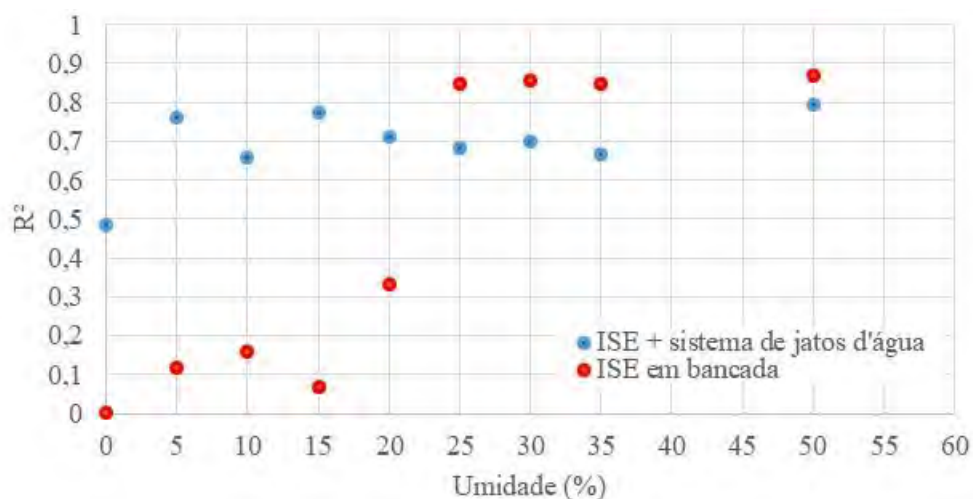


FIGURA 4. Efeito da umidade sobre o coeficiente de determinação da predição do pH ( $\text{CaCl}_2$ ) utilizando a resposta do sensor eletroquímico com (azul) e sem (vermelho) o sistema de jatos d'água.

Pesquisas científicas envolvendo a utilização de ISE para o monitoramento em tempo real de nitrato e pH datam do início dos anos 1990 (ADSETT; ZOERB, 1991; ADAMCHUCK et al., 1999). Mais recentemente, no cenário internacional, pesquisas envolvendo estes sensores evoluíram para a detecção de múltiplos íons (*multiple ion-selective electrodes*) (KIM et al., 2007), bem como visando explorar o sinergismo de ISE - via fusão de dados - com outras abordagens de SPS, tal como sensores de condutividade elétrica aparente (CHRISTY et al, 2004) e espectroscopia vis-NIR (CHRISTY et al, 2008; LA et al., 2016). Um grande número de pesquisas focou na avaliação do desempenho de ISE em solos com diferentes preparos de amostras (BROUDER et al., 2003; KIM et al., 2007), abordando inclusive soluções automatizadas para o pré-processamento em condições cinemáticas (SETHURAMASAMYRAJA et al., 2008). As aplicações *on-the-go* de ISE foram subsidiadas por trabalhos de Adamchuk et al. (1999; 2002) que apontaram a possibilidade de utilização destes sensores em amostras de solo com umidade natural. Os autores demonstraram que mesmo amostras levemente úmidas podem dar resultados razoáveis – desde que o teor de umidade gravimétrica seja de pelo menos 20%. Embora a importância da umidade da amostra, trabalhos nacionais explorando a utilização de ISE em solos tropicais com diferentes condições de umidade até então não haviam sido realizados. Além disso, tão pouco algum trabalho explorou a influência do sistema de jato d'água do sistema Veris - utilizado para limpeza dos eletrodos entre leituras consecutivas - na umidade da amostra analisada, bem como no desempenho da mensuração do ISE.

Os resultados do presente trabalho corroboram com as premissas de Adamchuk et al. (1999; 2002), no sentido que a umidade natural presente no solo é suficiente para obtenção de resultados razoáveis para caracterização da concentração de íons via utilização de ISE em condições cinemáticas. Coeficientes de determinação superiores a 0,8 foram obtidos com a aplicação direta do ISE na amostra (Figura 4). Também foi observado que o sistema de jatos d'água apresenta efeito no desempenho do ISE, uma vez que, indiretamente, aumenta a umidade da amostra a ser avaliada e garante uma melhora no desempenho do sensor. Os resultados do presente trabalho sugerem que, quando associado o sistema de jatos d'água ao ISE, apenas 5% de umidade gravimétrica presente na amostra já é suficiente para garantir um desempenho razoável do eletrodo, de modo que o  $R^2$  para a determinação do pH de amostras com umidade igual e superior a 5% já se estabilizaram em torno de 0,7.

Dentro do contexto da agricultura de precisão, técnicas que envolvam ISE aliados a sistemas que possibilitem sua utilização de cinemática de dados são alternativas promissoras para a avaliação de macro e micronutrientes com alta densidade amostral de informações (VISCARRA ROSSEL et al., 2011; KUANG et al., 2012). As principais vantagens dos ISE em relação as demais técnicas de SPS, são: (i) sua simplicidade de uso, bastando o contato do eletrodo com o solo para que se gere a resposta em mV; (ii) medição direta do íon de interesse, dispensando uso de técnicas elaboradas para geração dos modelos de calibração; e (iii) sensibilidade em ampla faixa de concentração do íon de interesse, baixo custo e portabilidade, tal como reportado por Carey e Riggan (1994). Para futuros trabalhos abordando esta técnica em solos tropicais, sugere-se: (i) avaliar o desempenho de ISE funcionamento de maneira conjunta com o sistema de jatos d'água em operações de campo; (ii) explorar o sinergismo de ISE com outras técnicas de SPS já disponíveis; (iii) estabelecer protocolos de recomendação de calagem com gestão localizada utilizando técnicas de SPS em solos tropicais.

## CONCLUSÃO

A umidade da amostra apresenta efeito sobre a resposta do ISE, principalmente em baixos teores de umidade. Sem a utilização do sistema de jatos d'água, com teores de umidade superiores a 25% tem-se a estabilização da resposta do ISE, com valores de coeficiente de determinação estáveis e próximos a 0,80. O sistema de jatos d'água presente na plataforma avaliada e utilizado para limpeza do ISE em amostras consecutivas, também contribui para o umedecimento da amostra de solo a ser analisada. O ganho de umidade provocado por este sistema é suficiente para reduzir o efeito da umidade do solo que é limitante ao desempenho do ISE em amostras com umidade menores que 25%. O sistema de jatos d'água permitiu estabilizar o efeito da umidade em amostras com pelo menos 5% de umidade gravimétrica, com coeficientes de determinação próximos a 0,70.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Ministério da Ciência e Tecnologia por meio do Projeto PROSENSAP, ao CNPq (Processo número: 454180/2014-9) e à FAPESP (Processo nº 2017/21969-0) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; MORGAN, M. T.; ESS, D. R. An automated sampling system for measuring soil. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 42, n. 4, p. 855–891, May 1999.
- ADAMCHUK, V. I. et al. Feasibility of on-the-go mapping of soil nitrate and potassium using ion-selective electrodes. **In: 2002 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2002. p. 1.
- ADAMCHUK, V. I. et al. Direct measurement of soil chemical properties on-the-go using ion-selective electrodes. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 48, p. 272–294, 2005.
- ADSETT, J. F.; ZOERB, G. C. Automated field monitoring of soil nitrate levels. **In: 1999 ASAE Annual Meeting: Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE, St. Joseph, MI, 1991.
- BROUDER, S. M. et al. Potential Uses of Ion-Selective Potassium Electrodes in Soil Fertility Management. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 34, n. 19-20, p. 2699-2726, 2003.
- CAREY, C. M.; RIGGAN, W. B. Cyclic polyamine ionophore for use in a dibasic phosphate-selective electrode. **Analytical Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 3587-3591, 1994.
- CHERUBIN, M. R. ; SANTI, A. L. ; EITELWEIN, M. T. ; DA ROS, C. O. ; BISOGNIN, M. B. . Malhas amostrais utilizadas para caracterização da acidez e bases relacionadas no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 659-672, 2014.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 168-177, 2015.
- CHRISTY, C. et al. A mobile sensor platform for measurement of soil pH and buffering. **In: 2004 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2004. p. 1.
- CHRISTY, C. D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. **Computers and electronics in agriculture**, v. 61, n. 1, p. 10-19, 2008.
- EITELWEIN, M. T. **Sensoriamento proximal de solo para a quantificação de atributos químicos e físicos**. 2017. 132 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- KIM, H. J. et al. Simultaneous analysis of soil macronutrients using ion-selective electrodes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 6, p. 1867-1877, 2007.
- KUANG, B. et al. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: a review. **Advances in Agronomy**. Academic Press, 2012. p. 155-223.
- LA, W. J. et al. Fusion of spectral and electrochemical sensor data for estimating soil macronutrients. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n. 4, p. 787-794, 2016.
- SETHURAMASAMYRAJA, B. et al. Agitated soil measurement method for integrated on-the-go mapping of soil pH, potassium and nitrate contents. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, n. 2, p. 212-225, 2008.
- SILVA, F. C. S. **Mensuração direta do pH do solo em campo por meio de eletrodos íon seletivos**. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.



SINFIELD, J. V.; FAGERMAN, D.; COLIC, O. Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 1, p. 1-18, 2010.

VISCARRA ROSSEL, R. A. et al. Proximal soil sensing: an effective approach for soil measurements in space and time. **Advances in agronomy**. Academic Press, 2011. p. 243-291.

## **EFICIÊNCIA DA AMOSTRAGEM EM GRADE PARA A CARACTERIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO NO SOLO**

**IGOR Q. M. VALENTE<sup>1</sup>, JULYANE FONTENELLI<sup>2</sup> THIAGO L. BRASCO<sup>3</sup>, FERNANDO O. ALARI<sup>4</sup>, LUCAS R. AMARAL<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP/FEAGRI, valente.igm@gmail.com.

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP/FEAGRI Campinas – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Técnico do Laboratório de Agricultura de Precisão, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP.

<sup>4</sup> Zootecnista, Pesquisador Colaborador, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A avaliação precisa dos diferentes tipos de amostragem é imprescindível na escolha do método que melhor representa a variabilidade espacial do solo. Devido aos custos, a amostragem de solo é frequentemente realizada em baixa densidade. Nesse sentido, buscamos testar se a amostragem em célula pode ser mais eficiente do que a amostragem pontual quando a densidade amostral é insuficiente para uma adequada interpolação dos dados, pois não existem trabalhos comparando as duas formas de amostragem e tratamento dos dados. O estudo foi desenvolvido em uma área de 96 hectares cultivados com cana-de-açúcar, utilizando uma malha amostral densa (1 hectare/ponto) como referência, sendo esta raleada para uma malha menos densa (4 hectares/ponto) e a geração de células com quadriculas de 4 hectares cada para verificar a eficiência da fertilização potássica (K) em taxa variada. Para representação contínua dos teores de K no solo a partir da amostragem pontual, usamos a interpolação por krigagem ordinária juntamente com o índice de concordância espacial para verificar a similaridade entre os mapas. Em seguida, prescrevemos as doses de fertilizante potássico em taxa variável para as amostragens pontuais e em célula (sem interpolação). A interpolação dos dados amostrados em célula aumenta os erros na aplicação de fertilizante potássico. Nesse sentido, o uso desse método pode prejudicar a adubação em taxa variável e consequentemente o uso de agricultura de precisão. Todavia, por serem atrativas economicamente, as grades menos densas não devem ser interpoladas, pois existem erros grandes em suas estimativas devido a sua interpolação. Por isso a amostragem em célula seria a mais recomendada no caso de grades mais esparsas.

**PALAVRAS-CHAVE:** geoestatística, mapeamento, taxa variável

### **GRID SAMPLING EFFICIENCY FOR CHARACTERIZATION OF POTASSIUM SOIL AVAILABILITY**

**ABSTRACT:** The proper evaluation of the different procedures for soil sampling is essential to choose the method that best represents the spatial variability of the soil. Due to costs, soil sampling is often performed in low density. In this sense, we evaluated whether the cell-scheme sampling can be more efficient than the point-scheme sampling when the sample density is insufficient for proper data interpolation, since there are no studies comparing these two sampling methods and their data analysis. The study was developed in a 96 hectares' sugarcane field, using a high density grid sampling (1 hectare / sample) as reference, which was thinned to a less dense grid (4 hectares / point) as well as the creation of cells with 4 hectares each to verify the efficiency of potassium (K) fertilization in variable-rate. For continuous representation of soil K contents from point sampling, we used ordinary kriging interpolation together with the spatial agreement index to verify the similarity among the prescription maps. Next, we prescribed fertilizer at variable-rates for point and cell sampling-schemes (without interpolation). The interpolation of the data sampled in cell-

scheme increases the errors in potassium fertilizer prescription. In this sense, the use of this method can hinder variable-rate fertilization and, consequently, the use of precision agriculture. However, since low density grid samplings are economically attractive, these data should not be interpolated due to the large errors associated to the interpolation procedure. Therefore, cell sampling would be the most recommended approach in the case of sparser grids.

**KEYWORDS:** geostatistics, mapping, variable rate

## INTRODUÇÃO

A partir do diagnóstico da fertilidade do solo é possível realizar o manejo localizado do solo para a adoção de medidas corretivas que atendam a real necessidade da lavoura em cada região específica (EMBRAPA, 2009). A Agricultura de Precisão (AP) assume que as lavouras não possuem comportamento uniforme em sua extensão e propõe a detecção, monitoramento e manejo da variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva (BRASIL, 2011). Embora vários métodos venham sendo testados para identificar, caracterizar e entender a variabilidade dos atributos físico-químicos dos solos, a amostragem sistematizada ainda é a mais utilizada em AP (COELHO et al., 2006). Atualmente, o método mais comum para a amostragem sistemática do solo é em grade, onde é definida uma malha amostral, geralmente igualmente espaçada e georreferenciada, permitindo assim a geração de mapas de distribuição espacial dos parâmetros de interesse. Este tipo de técnica é subdividida em dois tipos, amostragem pontual e amostragem em célula (COELHO et al., 2006; GIMENEZ e ZANCANARO, 2012).

Na amostragem pontual, uma grade virtual é gerada sobre a área por meio de um sistema de informação geográfica (SIG), dividindo o campo em polígonos, e dentro de cada um deles é gerado um ponto amostral georreferenciado (MOLIN et al., 2015). No momento da coleta, subamostras devem ser retiradas ao redor do ponto amostral, dentro de um raio equivalente ao erro de posicionamento do receptor de navegação, para diluir eventuais erros locais. Posteriormente, os resultados laboratoriais de cada amostra são vinculados às respectivas coordenadas. O mapa final é criado a partir da interpolação dos dados, a qual estima valores em locais não amostrados, preenchendo toda a superfície (MOLIN et al., 2015).

Para a amostragem em grade por célula, o campo é dividido em subáreas, denominadas células. Caminhando-se ao longo de toda a área de cada célula são coletadas subamostras, as quais, depois de misturadas, geram uma amostra composta, sendo que o resultado de sua análise é atribuído a toda a área da célula. Para a geração do mapa final não é necessária interpolação, já que não existem lacunas no espaço que exijam estimação de valores (MOLIN et al., 2015).

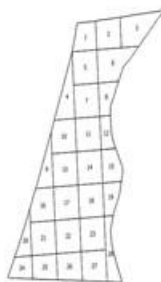
Desse modo, na primeira busca-se representar o ponto para permitir a interpolação dos dados, enquanto na segunda almeja-se representar a área das células, não necessitando de estimativas para os locais não amostrados. No entanto, muitas empresas prestadoras de serviço e produtores têm amostrado o solo por célula, argumentando que assim é possível representar melhor a área e estar menos sujeito a erros pontuais, mas realizam posteriormente a interpolação dos dados, ou seja, assumem que o solo coletado representa o ponto, quando na verdade representa a célula toda, o que teoricamente está incorreto. Assim, buscamos testar se a amostragem em célula é mais eficiente comparado a amostragem pontual quando a densidade amostral é reduzida, utilizando como referência a amostragem mais densa (1 hectare/ponto), uma vez que não existem trabalhos comparando as duas formas de amostragem e tratamento dos dados.

## MATERIAL E MÉTODOS

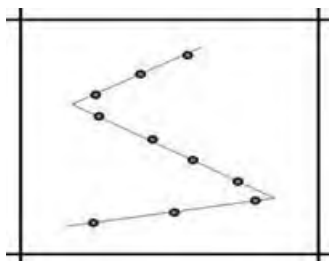
Este trabalho foi desenvolvido em uma área comercial cultivada com cana-de-açúcar com 96 ha, que possui diferentes tipos de solos ao longo de sua delimitação. O atributo do solo em estudo foi o K, por ser largamente utilizado nas práticas de adubação em cana-de-açúcar. Realizamos uma amostragem por pontos por meio de uma grade regular com espaçamento de 100 m, totalizando 96 amostras, aproximadamente uma por hectare. Em cada ponto amostral foram coletadas 8 sub-amostras ao redor do ponto central (raio ~ 3 m) em uma profundidade de 0 a 20 cm com quadriciclo equipado com amostrador de solo automatizado tipo broca. Esta amostragem densa serviu de referência para avaliar o efeito do raleamento de amostras. A etapa seguinte foi ralar a grade pontual de 96 pontos, mantendo-se 28 pontos, ou seja, atingindo uma densidade de uma amostra a cada quatro hectares a qual é frequentemente utilizada por usuários e empresas prestadoras de serviço. Para a obtenção de mapas contínuos de disponibilidade de K para a amostragem por pontos procedeu-se a interpolação por krigagem ordinária.

A terceira forma de amostragem foi realizada em célula, ou seja, foram geradas quadriculas com 4 hectares, obtendo-se 24 células em toda a área. Dentro de cada célula foram alocados 10 pontos (subamostras), alinhados em zigue-zague (Figura 1), ou seja, buscou-se representar a área da célula e não seu ponto central. Adicionalmente, com base na célula de 4 hectares foi realizada uma quarta forma amostragem, a qual foi mais centralizada, ou seja, foi delimitado um raio de 25 m a partir do ponto central da célula, onde dez subamostras foram coletadas dentro da delimitação deste raio (Figura 1). O valor da disponibilidade de K da amostra composta foi atribuído às respectivas células. Dessa forma obtivemos mapas sem a interpolação dos dados. Alguns produtores e prestadores de serviços fazem a interpolação dos dados obtidos pela amostragem em célula, o que não é recomendado. Nesse sentido, outros dois cenários foram criados para simular essa prática. Dessa forma obtivemos mapas sem e com a interpolação dos dados.

a) Célula de 4 ha.



b) Coletas das subamostras na célula de 4 há.



c) Centróide com subamostras coletadas dentro de um raio de 25 m.

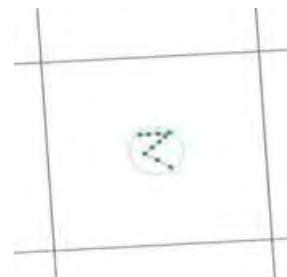


FIGURA 1. Amostragem por célula com grade de 4 ha. Em destaque a forma de coleta das subamostras dentro de cada célula.

Posteriormente foi realizado o cálculo de fertilizante potássico para cada pixel interpolado ou célula. Para permitir a variação da dose contínua ao invés de apenas 5 doses, conforme recomendação original, foi feita uma regressão entre a média do intervalo de cada classe de fertilidade e a dose recomendada. Com o intuito de mensurar os erros das estimativas por meio de doses potássicas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), utilizamos a equação de prescrição “ $\text{dose} = 23,781 * K_{\text{disponível}} + 150,25$ ”, criada a partir da tabela de recomendação de adubação para plantio de cana do Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997), com doses máximas limitada a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Para avaliar a qualidade preditiva dos métodos analisados, coletamos 19 pontos aleatórios com 8 subamostras em um raio de 3 m que não foram utilizados para a construção dos mapas. As amostras de validação coletadas serviram para aferir sobre a qualidade preditiva das metodologias de amostragem e tratamento de dados utilizados. A medida de erro usada para mensurar a qualidade das predições foi a raiz quadrada do erro médio (RMSE), a qual teve como base comparativa a amostragem pontual de 1 hectare.

Para os cenários em que foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, uma análise geoestatística preliminar foi realizada por meio da análise do semivariograma (GOOVAERTS 1998). Testou-se o ajuste dos modelos esférico, exponencial e gaussiano, utilizando-se o que obteve maior coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e menor raiz quadrada do erro médio (RMSE) na validação cruzada. Calculou-se também o índice de dependência espacial (IDE) (SEIDEL et al., 2016).

Para a construção dos mapas temáticos foram utilizados os métodos de interpolação por krigagem ordinária, utilizando o pacote *gstat* (funções em linguagem R para krigagem), juntamente com o software RStudio. Os mapas foram comparados entre si, tendo como referência o mapa pontual de 1 hectare. Para verificar a similaridade entre os demais mapas e o mapa referência (grade 1 ha) utilizou-se o índice de concordância espacial (ICE) de Willmott (WILLMOTT, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem em célula, centróide e pontual na densidade de 4 amostras por ha apresentaram desempenho similar à amostragem pontual de 1 ha na qualidade preditiva da dose de  $K_2O$  para os pontos de validação (Figura 2). No entanto, a amostragem de referência também contém erros dentro de suas estimativas, ou seja, o solo amostrado é altamente heterogêneo e com diferente caracterização. Porém, pela alta densidade de pontos, a mesma deve ser mais executável em relação às demais levando em consideração a proximidade entre os pontos mais próximos. Em relação a amostragem mais esparsa, a célula e o centróide apresentaram os melhores desempenhos na prescrição de doses de fertilizantes potássicos. Assim, o arranjo amostral quadriculado pode ser uma boa opção de mapeamento quando não for viável uma coleta de amostras mais densa. No presente estudo, a qualidade preditiva não foi associada necessariamente ao adensamento amostral, visto que arranjos amostrais menos densos apresentaram desempenho semelhante. O aumento da densidade de pontos onera o mapeamento do solo, principalmente devido ao custo com análises de laboratório (MOLIN et al., 2015). Sendo assim, é imprescindível a realização de estudos preliminares de identificação da variabilidade espacial da fertilidade do solo na tentativa de ponderar sobre o aumento da densidade de amostras, em relação ao ganho em acurácia para caracterização do solo.

Como era de se esperar, a aplicação de uma taxa uniforme e o procedimento de interpolação dos dados amostrados em célula e centróide produziram os maiores erros na aplicação de fertilizante potássico (Figura 2). Desse modo, ambas as práticas devem ser desestimuladas entre os usuários de AP.

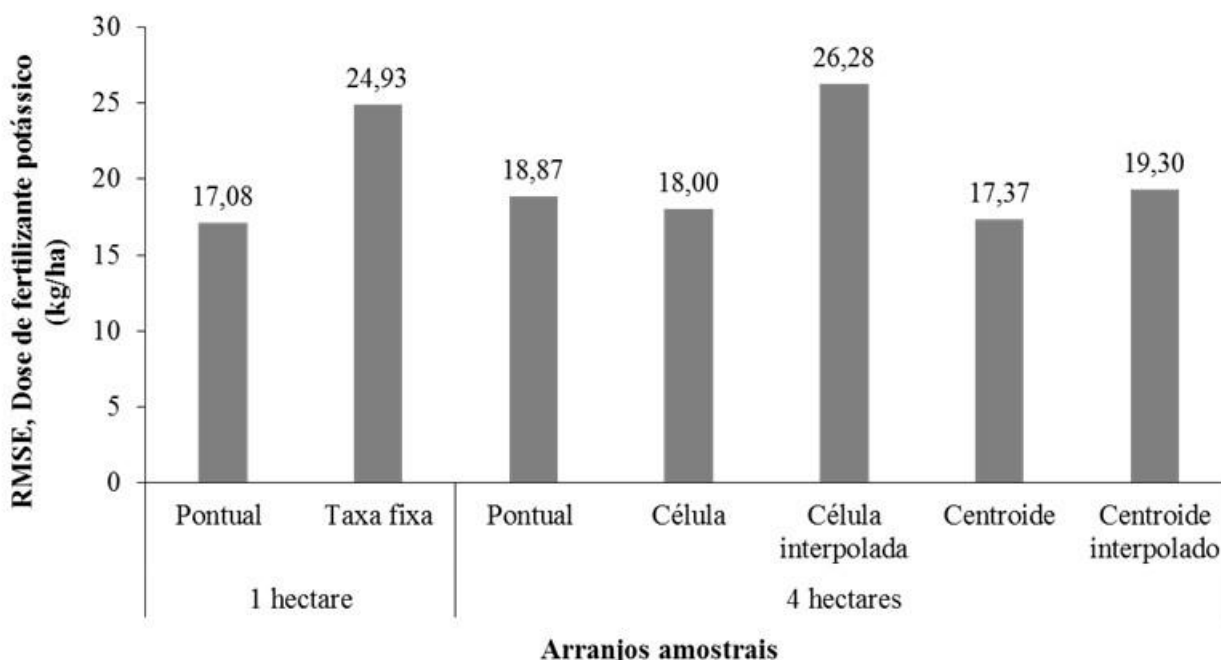


FIGURA 2 - Comparação da raiz quadrática do erro médio (RMSE) entre o valor real obtido nas amostras de validação e o predito pelos arranjos amostrais para a dose de fertilizante potássico.

Além do acima exposto, a baixa eficácia da interpolação dos arranjos quadriculares de amostragem também foi comprovada ainda no processo anterior à krigagem, na etapa de modelagem do semivariograma e escolha de modelos pelo processo de validação cruzada dos dados (Tabela 1). De modo geral, o desempenho das interpolações não foi satisfatório, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da validação cruzada inferiores a 0,5. Esses resultados indicam baixa confiabilidade das interpolações. Além disso, observamos maiores valores de alcance na interpolação em célula de 4 ha. Sendo assim, a forma de amostragem quadriculada dilui a variabilidade a pequenas distâncias, produzindo mapas com manchas mais extensas, que nem sempre refletem a real necessidade de adubação. Para se obter um semivariograma executável, o mesmo deve possuir um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) elevado e um erro médio baixo.

TABELA 1. Parâmetros dos semivariogramas e métricas de desempenho da modelagem do semivariograma (validação cruzada *leave-one-out*) para teores de potássio no solo em função do arranjo amostral.

Arranjo amostral	Modelo	Contribuição	Efeito pepita	Alcance (m)	IDE	IDE (Classe)	R <sup>2</sup>	RMSE
1 ha	Esf*	4,57	0,51	432	16,34	Forte	0,44	1,74
4 ha	Esf	1,57	1,53	465	9,90	Moderada	0,05	2,39
Célula 4 ha	Esf	7,63	0,989	1450	53,96	Forte	0,48	1,47
Centroide 4 ha	Exp*	6,6	0,241	323	11,07	Moderada	0,25	1,94

Nota: Contribuição - Semivariância estrutural (patamar-efeito pepita); Esf - Esférico; Exp - Exponencial; IDE - Índice de Dependência Espacial (SEIDEL e OLIVEIRA,2016); \* Para a modelagem do semivariograma foi removida a tendência dos dados a partir de um polinômio de primeira ordem (OLIVER e WEBSTER, 2014).

A baixa eficiência da interpolação das células e centróide também foram observadas na representação espacial das doses de fertilizante, pois os arranjos quadriculares quando interpolados reduziram a amplitude dos dados mascarando a variabilidade de aplicação a taxa variada (Figura 3).

Ao comparar os mapas em relação ao mapa referência (1 am/ha), os dados submetidos a interpolação apresentaram os maiores ICE e menores RMSE em comparação aos dados quadriculados (Figura 3). Além disso, a interpolação da célula e centróide favoreceram o aumento da similaridade e diminuição do RMSE em relação a amostragem pontual, quando comparados a representação quadriculada. Esse fato está relacionado a distribuição das doses de fertilizantes, pois mapas contínuos apresentaram maior ICE com a amostragem pontual de 1 hectare, quando comparados aos mapas quadriculados não interpolados (célula e centróide). De maneira geral, pode-se verificar que embora os mapas de células interpoladas se pareçam mais com o mapa referência (pontual 1 ha), o erro da recomendação é maior (vide resultados Figura 2).

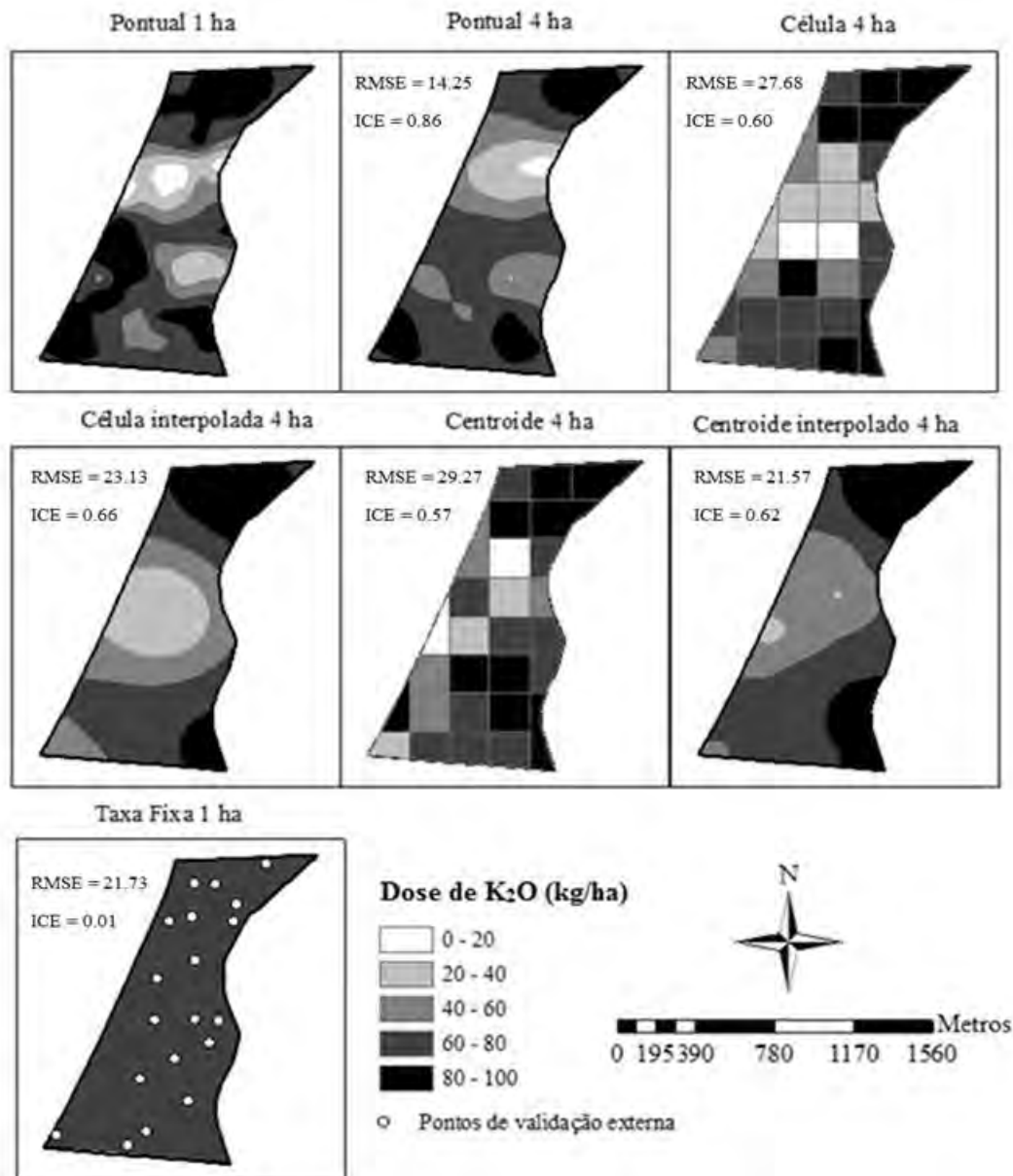


FIGURA 3. Mapas de doses de fertilizantes potássico conforme disponibilidade de  $K^+$  no solo, de acordo com a tabela de recomendação tradicional de Raij (1997). Nota: RMSE = Raiz Quadrada do Erro Médio em relação ao mapa com amostragem pontual de 1 ha; ICE = Índice de Concordância Espacial em relação a amostragem pontual de 1ha, conforme Willmott (1981).

## CONCLUSÃO

Como grades amostrais costumam ser pouco densas devido ao impedimento econômico, estas não devem ser interpoladas, pois ocasionam erros grandes em suas estimativas. Por isso a amostragem em célula seria a mais recomendada no caso de grades mais esparsas.

Além disso, a interpolação de dados coletados em forma de célula aumenta os erros em mapas de prescrição de fertilizante potássico. Nesse sentido, o uso desse método pode prejudicar a adubação em taxa variável e, conseqüentemente, o uso de agricultura de precisão.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Grupo Interdisciplinar de Tecnologia em Agricultura de Precisão (GITAP) por ter auxiliado nas coletas de solo, a Capes pela concessão de bolsa de Doutorado ao primeiro autor, ao PIBIC/CNPq por conceder a bolsa de Iniciação Científica à graduanda Euline Silva e ao projeto FAPESP (Processo 2015/21616-5) pelo custeio do experimento.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Agricultura de Precisão**. Ministério da Agricultura, Pecuária Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2011. 36p.
- CHERUBIN, R. Marcio et al. Eficiência de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. *Ciência Rural*, sabta Maria, v.44, n.3, 0.425-432, mar, 2014.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. U. E.; ALVES, V. M. C. **Amostragem de Solos**: a base para a aplicação de corretivos e fertilizantes. Sete Lagoas: Embrapa milho e Sorgo. 2006 (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).
- EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**, 2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- GIMENEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica da amostragem em grade. **Informações Agronômicas Nº 138**, Junho, 2012. p 19-25.
- GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 315–334, 1998.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224 p.
- RAIJ, B. VAN et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997.
- SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. A. Classification for a Geostatistical Index of Spatial Dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-10, 2016.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.



## **ERROS DE PERCURSO EM CARRETAS DE TRANSBORDO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**BRUNA PESSOA PASSALAU<sup>1</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mestranda do programa de Eng. de Sistemas Agrícolas, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (18) 99797-7698, bpassalaua@usp.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A necessidade de exatidão no tráfego de máquinas canavieiras impulsionou a adoção de sistemas de direcionamento automático para a otimização do tráfego, que também são usados nos tratores que tracionam carretas de transbordo. Esses conjuntos são longos e articulados, o que torna seu desempenho e benefícios questionáveis quanto aos alinhamentos em percursos curvos e lateralmente inclinados. Deste modo, este trabalho objetivou quantificar os desvios a que os tratores e carretas de transbordo estão submetidos em percursos retos e curvos com diferentes inclinações. Utilizou-se do sistema de transporte interno composto por um trator e duas carretas de transbordo com três eixos e equipados com receptores GNSS e sistema de correção tipo RTK para a obtenção de suas respectivas posições. Os erros entre as passadas foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas em relação à linha referência. Em percursos retos o último eixo do segundo transbordo desalinhou na ordem de 0,326 m com inclinação lateral média de 2%, crescendo para 0,908 m para percurso reto e inclinação de 9% e 1,214 m em percurso curvo, representando erros muito acima do aceitável. Nas condições desse estudo observou-se que os erros de desalinhamento para o trator são fortemente associados à inclinação lateral do terreno.

**PALAVRAS-CHAVE:** desvios laterais, direcionamento automático, controle de tráfego

### **PATH ERROR IN SUGARCANE TRANSSHIPMENT TRAILERS**

**ABSTRACT:** The need for accuracy in the traffic of sugar cane machines drove the adoption of automatic guidance systems for traffic optimization. However, tractors with transshipment trailers usually do not use or use simplified systems. Thus, this work aimed to quantify the deviations to which tractors and transshipment trailers are submitted in straight paths with different inclinations. The internal transport system consisted of a tractor and two transshipment trailers with three axes and equipped with GNSS receivers and a RTK correction system to obtain their respective positions. The errors between the passes were evaluated by the difference of the orthogonal distance between the position points of the antennas in relation to the reference line. In straight tracks, the last axis of the second transshipment trailer out on the order of 0.326 m with an average lateral inclination of 2%, increasing to 0.908 m for straight course and 9% slope and 1,214 m in a curved path, representing errors well above acceptable. Under the conditions of this study it was observed that the misalignment errors for the tractor are strongly associated with the lateral slope of the terrain.

**KEYWORDS:** lateral deviation; automatic steering; controlled traffic

### **INTRODUÇÃO**

A mecanização agrícola tem sido um dos elementos essenciais dos avanços tecnológicos e sua inserção na lavoura de cana-de-açúcar promove ganhos no sistema de produção, especialmente na eficiência da mão-de-obra. No entanto, o intenso tráfego de veículos nas áreas de produção acarreta problemas, como a compactação do solo e danos causados às soqueiras.

O tráfego de máquinas nos sistemas de produção da cana-de-açúcar deve ser evitado para assegurar a integridade fisiológica da rebrota e das produtividades decorrentes dela (PAULA & MOLIN, 2013). Portanto, o tráfego dos rodados de máquinas sobre áreas recém-colhidas deve seguir de maneira exata as

entrelinhas da cultura. Este processo se torna mais desafiador devido à limitada margem de desalinhamentos permitidos para se evitar danos ao sistema radicular (BAIO & MORATELLI, 2011; SPEKKEN et al., 2014), calculada a partir da distância entre o final do rodado e o início da área de desenvolvimento, modificando-se de acordo com as dimensões dos equipamentos utilizados.

A necessidade de exatidão no tráfego de máquinas canavieiras impulsionou a adoção de tecnologias que pudessem otimizar o deslocamento dos conjuntos mecanizados nas lavouras. Paralelamente, com o desenvolvimento e evolução dos sistemas de orientação, direção automática e robótica, maior esforço tem sido direcionado ao planejamento de percursos (KEICHER & SEUFERT, 2000; CARIOU et al., 2010). Para os tratores que executam o plantio e para as colhedoras, sistemas de direcionamento automático já vem sendo utilizados; porém, para os tratores com carretas de transbordo, tal recurso, quando é adotado, utiliza tecnologia com menor exatidão de posicionamento. Os conjuntos formados por trator tracionando uma ou duas carretas de transbordo são longos e articulados, o que torna o desempenho da direção automática questionável.

De acordo com Veiga Filho et al. (2004) e Braunbeck & Magalhães (2006), a declividade do terreno é um fator limitante para a mecanização das áreas, já que declividades superiores a 12% limitam o deslocamento das máquinas agrícolas dentro das áreas de produção de cana. O desempenho dos sistemas de direcionamento automático é associado aos erros transversais à trajetória. Estes podem ser atribuídos a fatores como dinâmica dos veículos, erro de posicionamento, tipo de máquina, ambiente da operação, qualidade do sinal GNSS, etc. (EASTERLY et al., 2010). Sendo assim, o trabalho tem por objetivo quantificar os desvios a que os tratores e carretas de transbordo estão submetidos em percursos retos e com diferentes inclinações, a partir da obtenção dos desvios de cada parte do conjunto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área de produção de uma usina de cana-de-açúcar, localizada no oeste do estado de São Paulo, com latitude de 20°45'20" S e longitude de 50°34'08" W. Escolheu-se duas áreas de primeiro corte, com plantio realizado em linhas simples e espaçamento de 1,50 m, contemplando diferentes declividades e percursos. Estas tinham suas linhas de plantio previamente projetadas a partir do levantamento topográfico e planialtimétrico do terreno. As colhedoras estavam com o sistema de direcionamento automático ativado. Além disso, foram mantidos os operadores para o trator que tracionava os transbordos durante todo o teste.

No primeiro experimento buscou-se avaliar o direcionamento manual em função do relevo e a influência do tipo de percurso (curvo ou retilíneo), em área de 49,89 ha e com produtividade em primeiro corte de 109 Mg ha<sup>-1</sup>, composta por três talhões: com inclinação média de 2% e percurso retilíneo (A1.1); com o mesmo tipo de percurso, porém com inclinação de aproximadamente 9% (A1.2); e com inclinação de 9% e percurso em curvas (A1.3). No segundo experimento, foi avaliado o efeito dos tipos de direcionamento em relevo inclinado e percurso retilíneo, tendo uma área de 23,51 ha e com produtividade em primeiro corte de 109 Mg ha<sup>-1</sup>, composta por três talhões: com inclinação média de 5% (A2.1); com inclinação média de 7% (A2.2); e com inclinação média de 8% (A2.3).

Para coleta de dados utilizou-se um trator modelo 6180J 4x2 TDA (John Deere, Montenegro, Brasil), com potência nominal de 132 kW, que dispunha de um sistema de direcionamento automático modelo AutoPilot (Trimble, Sunnyvale, EUA) com um receptor GNSS (Global Navigation Satellite Systems) AgGPS 262 e um controlador modelo AgGPS NavController II (Trimble, Sunnyvale, EUA), com sistema de correção tipo RTK. O trator foi utilizado para tracionar duas carretas de transbordo de três eixos, modelo TAC 14000 (Civemasa, Matão, Brasil) com capacidade de carga de 14 Mg cada.

Para o registro dos dados da trajetória realizada por cada um dos transbordos, os mesmos foram instrumentados com receptores GNSS com correção de sinal RTK e um computador para registro dos dados, sendo que na primeira carreta foi utilizado um FMX® (Trimble, Sunnyvale, EUA) e na segunda um X30® (Topcon, Tóquio, Japão) na frequência de 0,5 Hz (Figura 1). As antenas foram posicionadas na traseira das carretas e as coordenadas devidamente transferidas para o centro do último rodado. A torre utilizada como base dos sinais se encontrava a um raio de 2 km de distância de cada uma das áreas e todos os coletores de dados utilizaram o sinal derivado desta.

A velocidade média do conjunto (colhedora mais carreta de transbordo) na operação foi de 1,25 m s<sup>-1</sup> (4,5 km h<sup>-1</sup>). Para não prejudicar o rendimento operacional da colheita, o trator instrumentado não ficou vinculado a apenas uma colhedora, permitindo que fossem coletadas linhas ao longo da área, com coleta contínua de dados.



FIGURA 1. Representação da disposição das antenas de GNSS no conjunto.

A exportação dos dados, bem como sua organização e análises foram realizadas nos programas AutoCAD (Autodesk, San Rafael, EUA) e QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, EUA). Os erros entre as passadas foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas, no centro do trator e de cada carreta e a linha referência, utilizando o algoritmo desenvolvido por Spekken et al. (2014), que compara o deslocamento entre duas sequências de segmentos de linha. A distância mínima obtida destes dois pares de distâncias determina o desvio do ponto do percurso realizado para com a referência (MOLIN et al., 2011; SPPEKEN et al., 2014). Os erros foram analisados por estatística descritiva, obtendo-se o erro médio, mediana e o desvio padrão ( $\sigma$ ) e  $2\sigma$ , que indica 95% de probabilidade de ocorrência, para todos os componentes do conjunto (colhedora, trator e terceiro eixo de cada carreta de transbordo). Confrontou-se esses erros com o critério de afastamento de segurança (RIPOLI & RIPOLI, 2009; BELARDO et al., 2015) estabelecido pela usina que é de 0,10 m.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro experimento levou em consideração a utilização apenas do direcionamento manual, tendo como base os relevos plano e inclinado, e percursos retilíneos e em curva. Os erros de alinhamento observados no eixo dianteiro do trator, quando comparados com a trajetória projetada em A1.1, por exemplo, os valores para  $2\sigma$ , estão 0,09 m acima do aceitável (Tabela 1).

TABELA 1. Erros entre passadas para trator e terceiro eixo das carretas de transbordo, em cada área e tipo de direcionamento, referente ao experimento 1.

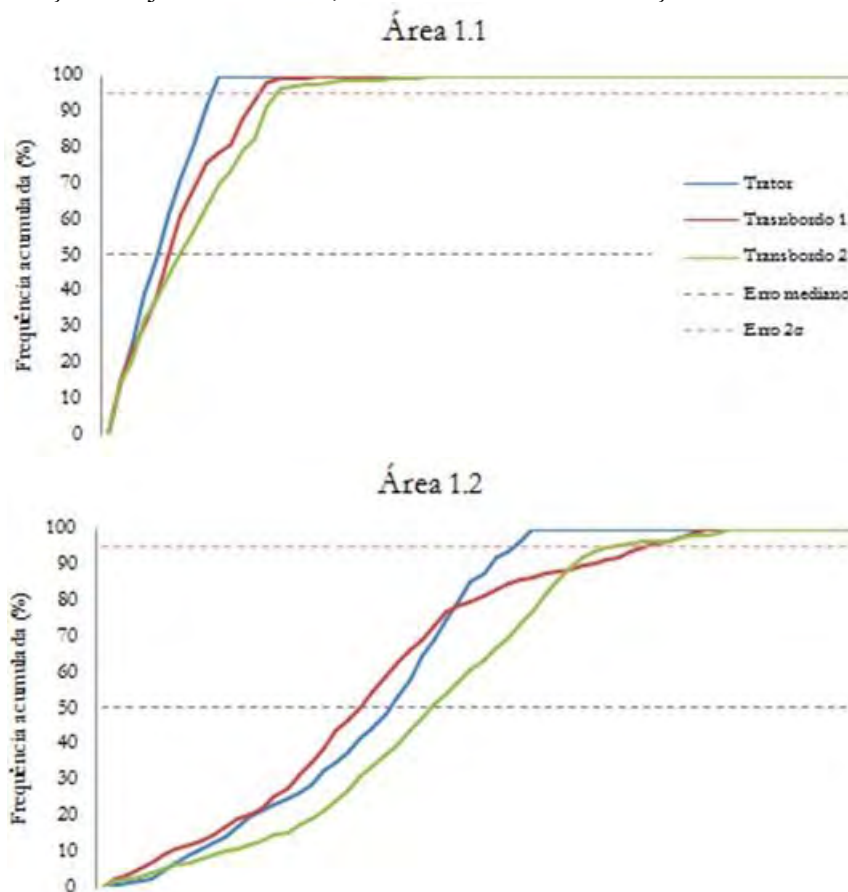
A1.1 (inclinação média 2% e percurso reto)			
	Trator	Transbordo 1	Trasbordo 2
N	817	817	817
Erro mínimo (m)	0,001	0,001	0,001
Erro máximo (m)	0,177	0,484	0,590
Média (m)	0,083	0,109	0,129
CV (%)	114,4	122,0	126,3
$\sigma$ (m)	0,095	0,133	0,163
$2\sigma$ (m)	0,190	0,266	0,326
A1.2 (inclinação média 9% e percurso reto)			
N	1257	1257	1257
Erro mínimo (m)	0,002	0,001	0,002
Erro máximo (m)	0,699	0,997	1,330
Média (m)	0,426	0,473	0,521
CV (%)	90,8	99,5	113,0
$\sigma$ (m)	0,338	0,421	0,454
$2\sigma$ (m)	0,674	0,842	0,908
A1.3 (inclinação média 9% e percurso curvo)			
N	2013	2013	2013
Erro mínimo (m)	0,054	0,001	0,001
Erro máximo (m)	1,49	1,483	1,496
Média (m)	0,447	0,533	0,549
CV (%)	102,6	106,0	114,2
$\sigma$ (m)	0,409	0,525	0,607
$2\sigma$ (m)	0,818	1,050	1,214

N: Número de pontos; CV (%): Coeficiente de variação;  $\sigma$ : Desvio padrão;  $2\sigma$ : 95% de probabilidade de erro

Observa-se que os valores dos erros do trator passam a se acentuar conforme a mudança de relevo (A1.2) e de percurso (A1.3), chegando a aumentos de 6,74 e 8,18 vezes acima do aceitável (0,10 m) para as áreas, respectivamente. Em relação aos erros dos transbordos, em percursos retos, o último eixo do segundo transbordo desalinhou na ordem de 0,326 m com inclinação lateral média de 2%, crescendo para 0,908 m para percurso reto e inclinação de 9% e 1,214 m em percurso curvo. Tais erros estão muito acima do aceitável e observa-se que o rodado do último eixo do segundo transbordo chega, com essa magnitude de erro, está trafegando sobre a linha adjacente da cultura.

Além disso, conforme se altera o tipo de percurso e relevo (Figura 2), observa-se algumas alterações pontuais e mudanças de tendências com relação ao erro de percurso entre os componentes do conjunto, provavelmente relacionadas a mudanças bruscas de declividade lateral ao longo do percurso. Tal fato aponta para a necessidade de dados em área total para que seja possível a modelagem detalhada do efeito da iniciação lateral nos desvios laterais.

Observa-se também que os valores do terceiro eixo na carreta 2 são sempre superiores em relação aos valores encontrados no terceiro eixo da carreta 1. Em terreno inclinado e trajetória curva (A1.3), os valores de erros no terceiro eixo da última carreta de transbordo são da ordem de 1,155 m acima do aceitável, praticamente sobre a linha de cana adjacente. Para a área de relevo plano e percurso reto, esse valor é de 0,226 m, o que leva à dedução de que o relevo realmente afeta a qualidade do alinhamento das carretas tracionadas pelo trator, com ou sem sistema de direção automática. Braunbeck & Oliveira (2006) abordaram esse fato mostrando que os veículos de pneus retratam uma tendência de deslocamento lateral, no sentido da declividade do terreno. De forma semelhante isso também se evidencia nos percursos curvos, corroborando com o estudo realizado por Backman et al. (2010), que mostra que em percursos curvos as carretas tendem a sofrer desvios em relação à trajetória do trator, aumentando com a inclinação do terreno.



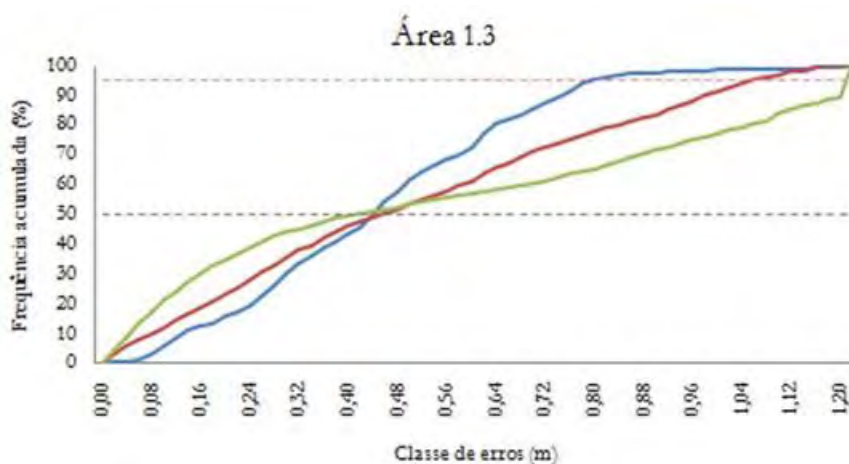


FIGURA 2. Frequência acumulada (probabilidade) dos erros para cada parte do conjunto para terreno plano e percurso reto (A1.1), terreno declivoso e percurso reto (A1.2) e terreno declivoso e percurso curvo (A1.3).

Observa-se que tanto o relevo quanto o tipo de percurso, reto ou curvo, devem ser levados em consideração para a elaboração de percursos pré-programados de direcionamento automático, em controle de tráfego e na logística interna em áreas agrícolas. Em terrenos inclinados, com percursos curvos, um fator adicional é o percurso dos rebocados que tendem a raio de curvatura menor e nessas situações o erro aumenta consideravelmente. Nesse caso o direcionamento automático perde muito sua eficácia, pois não consegue corrigir os erros inerentes ao tipo de percurso do conjunto articulado.

No segundo experimento (Tabela 2) os erros de percurso do trator com o direcionamento manual foram superiores ao direcionamento automático, chegando a 0,36 m de erro, contra 0,08 m com o sistema automático (área A2.3). Aumentando ligeiramente a declividade de 7 para 8% em média (áreas A2.2 e A2.3), por exemplo, os erros aumentaram na ordem de 0,10 m.

TABELA 2. Erros entre passadas para trator e terceiro eixo das carretas de transbordo, em cada área e tipo de direcionamento, referente ao experimento 2.

A2.1 (inclinação média 5%)						
	Direcionamento automático			Direcionamento manual		
	Trator	Transbordo 1	Trasbordo 2	Trator	Transbordo 1	Transbordo 2
N	523	523	523	503	503	503
Erro mínimo (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Erro máximo (m)	0,154	0,249	0,537	0,320	0,899	0,980
Média (m)	0,022	0,058	0,094	0,090	0,113	0,164
CV (%)	140,9	137,9	130,8	140,0	111,2	164,6
$\sigma$ (m)	0,025	0,051	0,077	0,082	0,092	0,188
$2\sigma$ (m)	0,062	0,160	0,246	0,252	0,296	0,540
A2.2 (inclinação média 7%)						
N	456	456	456	436	436	436
Erro mínimo (m)	0,000	0,001	0,000	0,000	0,047	0,000
Erro máximo (m)	0,230	0,269	0,407	0,422	0,867	1,485
Média (m)	0,024	0,097	0,103	0,116	0,168	0,200
CV (%)	133,3	121,6	132,0	118,9	99,4	138,5
$\sigma$ (m)	0,029	0,070	0,085	0,080	0,083	0,178
$2\sigma$ (m)	0,064	0,236	0,272	0,276	0,334	0,555
A2.3 (inclinação média 8%)						
N	1491	1491	1491	1055	1055	1055
Erro mínimo (m)	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
Erro máximo (m)	0,240	0,481	0,575	0,347	1,287	1,460
Média (m)	0,023	0,098	0,147	0,146	0,229	0,243
CV (%)	182,6	131,7	123,8	119,8	100,0	127,1
$\sigma$ (m)	0,030	0,106	0,109	0,109	0,115	0,187
$2\sigma$ (m)	0,084	0,341	0,364	0,358	0,458	0,618

N: Número de pontos; CV (%): Coeficiente de variação;  $\sigma$ : Desvio padrão;  $2\sigma$ : 95% de probabilidade de erro

Verifica-se que os valores dos erros de percurso dos rodados dos transbordos, em todos os terrenos, estão acima do aceitável. Além disso, os valores referentes ao terceiro eixo no segundo transbordo são sempre maiores em relação aos valores encontrados no terceiro eixo do primeiro transbordo, indicando o efeito do desalinhamento lateral causado pela inclinação (Figura 4).

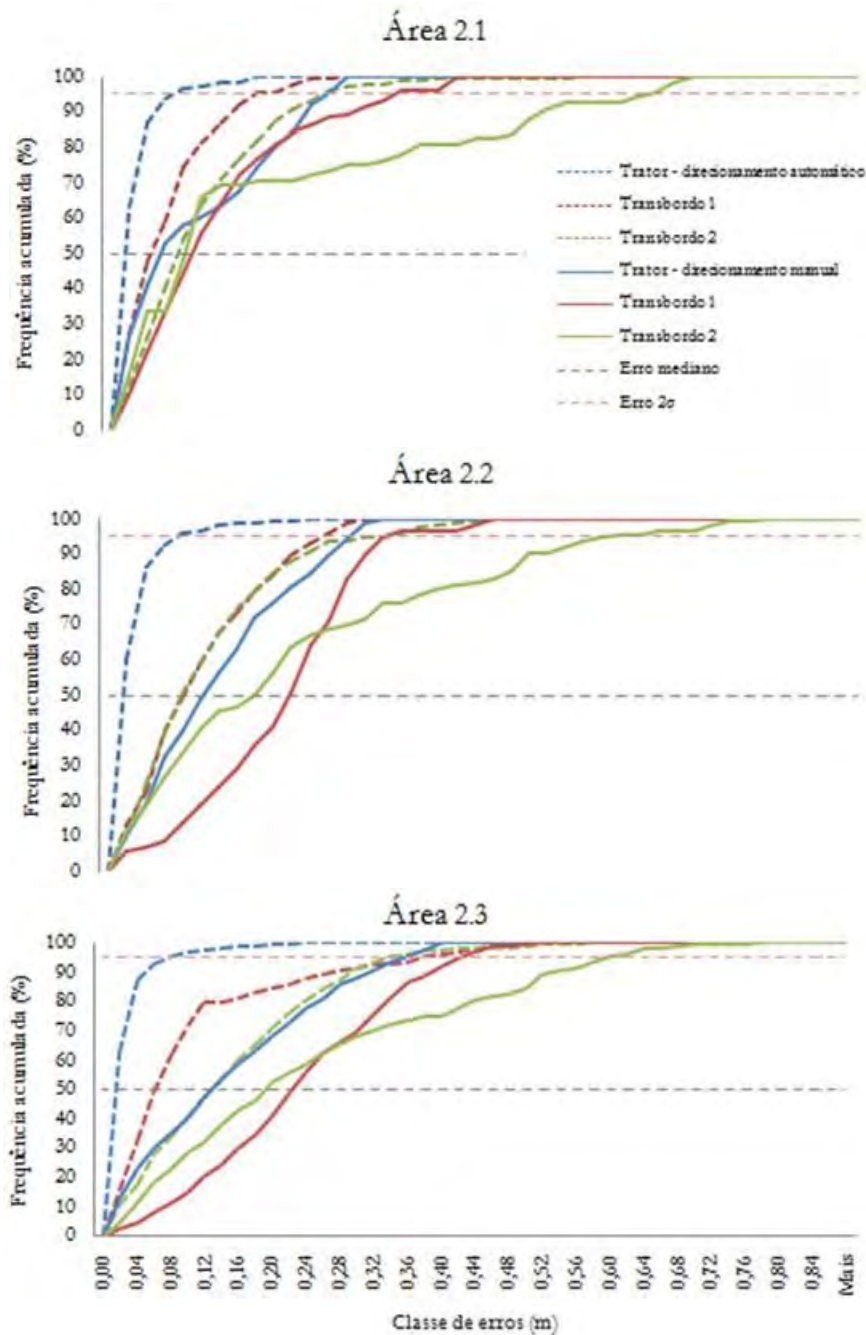


FIGURA 4. Frequência acumulada (probabilidade) dos erros para cada parte do conjunto para cada uma das declividades estudadas (A2.1, A2.2 e A2.3) em ambos os direcionamentos.

Nas menores declividades transversais, o direcionamento automático mostrou-se efetivo, já que conseguiu manter o trator dentro do erro esperado. No entanto, à medida que a inclinação lateral se acentua, mesmo quando o sistema de direcionamento automático está acionado no trator, os valores de erro de percurso do trator ultrapassam o limite aceitável. Evidentemente, os desvios são maiores nos transbordos e nos percursos com inclinação lateral de 8%, onde o direcionamento automático não teve efeito.

Observa-se que, para minimizar os erros sofridos pelo conjunto trator-transbordo, além do uso da orientação automática no veículo de tração, são necessários atuadores nos rodados ou no cabeçalho dos transbordos. Tais soluções têm sido estudadas e propostas, como é o caso de Thanpattranon et al. (2016), que propõe o uso de uma barra de engate deslizante para controlar a posição do veículo rebocado. Os autores

obtiveram resultados satisfatórios para a correção da rota em testes sob condições controladas, porém com o uso de apenas uma carreta.

Vários autores propõem soluções a partir da automatização total do conjunto (ASTOLFI et al., 2004; BACKMAN et al., 2010; KAYACAN et al., 2014), embasado na utilização de percursos pré-programados que definem a rota e os ângulos de esterçamento de todas as partes do conjunto. Porém, a literatura especializada é carente de estudos que testam condições mais complexas, como o caso de duas carretas rebocadas ou mesmo que os fazem ao nível de campo, com efeitos de inclinação lateral. Outras soluções encontradas são a utilização de veículo de transbordo montado no chassi de caminhão, que já são oferecidos pelo mercado.

## CONCLUSÃO

Nas condições desse estudo observou-se que os erros de desalinhamento para o conjunto trator e carretas são fortemente associados à inclinação lateral do terreno e ao tipo de percurso, reto ou curvo. Em ambos os casos os valores de desalinhamento são afetados sensivelmente e crescentes entre os corpos do conjunto. A utilização de direcionamento automático no trator mostrou-se favorável em situações de percurso reto e com declividades de até 7%. Para inclinações laterais maiores, o sistema perde a sua eficácia. Tais erros estão muito acima do aceitável, fazendo com que, em situações críticas, o rodado do último eixo do segundo transbordo chegue a trafegar sobre a linha adjacente da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ASTOLFI, A.; BOLZERN, P.; LOCATELLI, A. Path-tracking of a tractor-trailer vehicle along rectilinear and circular paths: a lyapunov-based approach. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 2004. v. 20, n. 1, p. 154-160.
- BACKMAN, J.; OKSANEN, T.; VISALA, A. Nonlinear model predictive trajectory control in tractor-trailer system for parallel guidance in agricultural field operations. In: **Proceedings of the agricontrol**, Kyoto, Japan, 2010.
- BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** (Impresso), 2011. v. 31, p. 367-375.
- BELARDO, G. C.; ROSA, J. H. M.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar: Evolução da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, São Paulo: SBEA, 2015. v. 1, p. 341-342.
- BRAUNBECK O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, jan./abr. 2006. Disponível em: < [http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/Auxilio\\_Mecanico\\_Colheita\\_Cana.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/Auxilio_Mecanico_Colheita_Cana.pdf) >. Acesso em: 20 fev 2017.
- BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.300-308, jan./abr. 2006.
- CARIOU, C.; LENAIN, R.; THUILOT, B.; MARTINET, P. **Autonomous maneuver of a farm vehicle with a trailed equipment: Motion planner and lateral-longitudinal controllers**. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). INSPEC Accession No. 11430926, 3819–3824, 2010.
- EASTERLY, D. R.; ADAMCHUK, V. I.; KOCHER, M. F.; HOY, R. M. Using a vision sensor system for performance testing of satellite-based tractor auto-guidance. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, 2010. v. 72, p. 107-118.
- KAYACAN, E.; KAYACAN, E.; RAMON, H.; SAYES, W. Distributed nonlinear model predictive control of an autonomous tractor-trailer system. **Mechatronics**, 2014. v. 24, p. 926-933.
- KEICHER, R.; SEUFERT, H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, 2000. v. 25, n. 1-2, p. 169-194.
- MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; PAULA, V. R.; SALVI, J. V. Método de avaliação de equipamentos para

direcionamento de veículos agrícolas e efeito de sinais de GNSS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 121-129, jan./fev. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a12.pdf>>. Acesso em: 20 julho 2015.

PAULA, V. R. de; MOLIN, J. P. Assessing damage caused by accidental vehicle traffic on sugarcane ratoon. **Engineering in Agriculture**, 2013. v. 29, f. 2, p. 161-169.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2009. p. 333.

SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. A method to evaluate paralelism for machine logged positions. In: International Conference on Robotics and Associated High-technologies and Equipament for Agriculture and Forestry (RHEA), 2., 2014, Madri. **Anais...** Madri: 2014. p. 227-237.

THANPATTRANON, P.; AHAMED, T.; TAKIGAWA, T. Navigation of autonomous tractor for orchards and plantations using a laser range finder: Automatic control of trailer position with tractor. **Biosystems Engineering**, 2016, v. 14, p. 90-103.

VEIGA FILHO, A. de A.; SANTOS, Z. A. P. de S.; VEIGA, J. E. R.; OTANI, M. N.; YOSHII, R. J. Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n. 10, out. 2004.



## **ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS DA CULTURA DO CAFÉ POR MEIO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL**

**MAILSON FREIRE DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, ELIZABETH HARUNA KAZAMA<sup>2</sup>, ADÃO FELIPE DOS SANTOS<sup>3</sup>, CRISTIANO ZERBATO<sup>4</sup>, GLAUCO ROLIM<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone: (94) 981186455, mailsonagronomia@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola, Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Dr., Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Dr., Depto. Ciências Exatas, UNESP, Jaboticabal – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O potencial produtivo e o rendimento operacional no campo têm se tornado cada vez mais eficiente devido a introdução de ferramentas computacionais, que proporcionam melhoria considerável na gestão das lavouras. Dessa forma, objetivou-se empregar a Rede Neural Artificial para estimar a clorofila média e o diâmetro de copa da cultura do cafeeiro utilizando-se de variáveis como o índice de vegetação, obtido por meio de sensoriamento remoto. A estimativa das variáveis de saída foi através da Rede Neural Artificial do tipo multicamadas, a qual contém uma entrada, duas camadas ocultas com seis neurônios cada, e uma saída. Utilizou-se o método de aprendizado retropropagação dos erros função de ativação regressão linear. A utilização de todas as variáveis apresentou boa correlação e ajuste ( $R^2$ ) para estimar os parâmetros de saída. Quando se utiliza os índices de vegetação, esses indicaram que é possível prever clorofila e diâmetro de copa do cafeeiro, sendo os melhores ajustes encontrados quando se utilizou somente o índice de vegetação na banda do red-edge no topo e em ambas as faces da copa da planta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aprendizado de máquinas, NDVI, NDRE.

### **ESTIMATION OF MORPHOSIOLOGICAL VARIABLES OF COFFEE CROP BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

**ABSTRACT:** The productive potential and the operational income in the field have become increasingly efficient due to the introduction of computational tools, which provide a considerable improvement in the management of the plantations. Thus, the objective was to use the Artificial Neural Network to estimate the average chlorophyll and crown diameter of the coffee crop using variables such as vegetation index, obtained through remote sensing. The output variables were estimated using the Multi-layer Artificial Neural Network, which contains one input, two hidden layers with six neurons each, and one output. The method of learning backpropagation of the errors and function of activation linear regression was used. The use of all variables showed good correlation and adjustment ( $R^2$ ) to estimate the exit parameters. When using vegetation indexes, these indicated that it is possible to predict chlorophyll and crown diameter of the coffee tree, and the best adjustments were found when using only the vegetation index in the red-edge band at the top and at both sides of the crown of the plant

**KEYWORDS:** Machine learning, NDVI, NDRE

## INTRODUÇÃO

O uso de técnicas de Agricultura de Precisão (AP) tem mostrado resultados promissores na estimativa de produtividade em diversas culturas, utilizando sensores que captam índices de vegetação (IV) por diferença normalizada nas bandas do vermelho (NDVI) e do infravermelho próximo (NDRE), tais como, cana-de-açúcar (Rocha et al, 2017), algodão (Souza et al., 2017) e trigo (Wang et al., 2017). O uso dessa técnica só é possível devido à forte correlação entre o IV e a radiação fotossinteticamente ativa das plantas (Gamon et al., 1995). Além da estimativa de produtividade, com base no IV pode-se estimar a resposta de adubação, principalmente nitrogênio (Rosa et al., 2015) por meio da clorofila das plantas, sendo essa fundamental para gerar e interpretar os índices.

Na cultura do café, apesar da sua importância econômica para o Brasil, são escassos os trabalhos que utilizaram o uso de IV na estimativa de qualquer caractere agrônômico. O emprego de IV na cultura do café aliado ao uso de Rede Neural Artificial (RNA) podem trazer benefícios aos produtores como a estimativa do diâmetro de copa, o qual pode afetar diretamente no momento da colheita, ocasionando maiores perdas na colheita, devido ao modo de ação da colhedora, que se desloca a cavaleiro sobre a linha de café, envolvendo as plantas (Santinato et al., 2015), tão logo, com a estimativa de diâmetro de copa pode-se recomendar a realização da poda das plantas, para possível melhoria na colheita.

O conteúdo de clorofila correlaciona-se com a concentração de N na planta e, também, com a produtividade das culturas (Lima et al., 2001). Dessa forma, estimar a clorofila pode ser um indicativo referente à sanidade da planta e ao grau produtivo em que a mesma se encontra. Vale ressaltar que uma RNA é baseada no funcionamento do cérebro humano, pois possui neurônios artificiais interconectados por meio de sinapses, os quais são capazes de adquirir conhecimento por meio de um processo de aprendizagem (Haykin, 2001).

Uma RNA treinada e com boa acurácia que possa prever o diâmetro da copa e a clorofila média do cafeeiro irá ajudar os produtores a fazer uma colheita mais eficaz, reduzindo a quantidade de frutos caído no chão, assim como prever a produtividade da cultura indiretamente. Dessa forma, objetivou-se estimar o diâmetro de copa e a clorofila média do cafeeiro por meio da rede neural artificial.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Santa Alcina no município de Pedregulho –SP, em uma lavoura de café (*Coffea arabica*) primeira safra, variedade Catuaí Amarelo IAC 62. A área possuiu 43 ha, onde as plantas estão plantadas em espaçamento 3,5 x 0,7 m. Para este trabalho foram amostradas 50 plantas espaçadas em 50 metros cada.

As variáveis analisadas foram: altura, diâmetro da copa, índice de clorofila e NDVI e o NDRE medidos na face direita, esquerda e topo da planta. Para aquisição dos índices foi utilizado um sensor remoto proximal ativo OptRx® (AgLeader, 2202, South River Side Drive Ames, IOWA 50010, USA) a 0,6 m do dossel da planta.

Este sensor emite ondas no espectro do visível (Vermelho, 670 nm) e invisível (Infravermelho próximo, 730 nm e Red-Edge, 780 nm), os quais permitem a geração dos índices de vegetação (Eq. 1 e 2):

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V}$$

(1974) (1)

Rouse et al.

$$NDRE = \frac{RD-V}{RD+V}$$

(2)

Gitelson e Merzlyak (1994)

onde:

NDVI é o índice de Vegetação da Diferença normalizada, NDRE é o índice de Vegetação da diferença normalizada pelo Red-Edge, IVP é o infravermelho próximo, V é a reflectância na banda do vermelho e RD é a reflectância na banda do Red-Edge.

O índice de clorofila médio foi mensurado em uma folha mediana da copa do cafeeiro nas faces direita e esquerda utilizando um clorofilômetro portátil (ClorofiLog, Falker, Brasil) e posterior cálculo da média das duas faces, a altura e diâmetro de planta foram determinados com o auxílio de trena graduada.

As estimativas do índice de clorofila médio e o diâmetro da copa foram obtidas por meio de redes neurais artificiais do tipo multicamadas (Multilayer Perceptron “MLP”), tendo como modelo resultante de rede neural uma camada de entrada, duas camadas ocultas com seis neurônios cada e saída. A camada de entrada constituiu-se das variáveis mensuradas no experimento e a camada de saída as variáveis estimadas pela rede,

sendo: diâmetro da copa e índice de clorofila. O fluxo de trabalho de toda a pesquisa procedeu-se de acordo com a Figura 1.

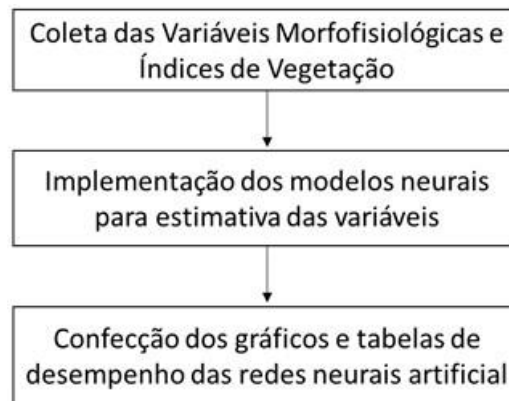


FIGURA 1. Fluxo de trabalho da pesquisa

O método de aprendizagem da rede foi o supervisionado por meio do algoritmo de retro propagação dos erros (*Back Propagation*) com taxa de aprendizado fixada em 0,01 e função de ativação regressão linear para os dados de saída.

A rede neural MLP usada neste estudo teve 2 camadas ocultas com 6 neurônios em cada camada e método de aprendizado supervisionado por meio do algoritmo de retro propagação dos erros (*Back Propagation*). Estas foram interconectadas por forças de conexão representadas por valores que são chamados de pesos sinápticos, os quais são responsáveis pelo armazenamento do conhecimento adquirido. Os valores usados nas camadas de entrada foram normalizados de acordo com a equação 3.

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

onde:

$x_i$  é o valor do vetor de entrada (exemplo: clorofila média),  $x_{\min}$  é o mínimo valor,  $x_{\max}$  é o máximo valor.

O valor de saída de cada neurônio na cama  $k$  é expresso por  $y_k = g(a_k)$  onde  $g$  é a função de ativação de  $a_k$  e  $a_k$  é a função sináptica, a qual é uma combinação linear dos valores de entrada normalizada e os pesos sinápticos como mostrado na equação 4.

$$a_k = \sum_j y_j w_{kj} \quad (4)$$

onde:

$w_{kj}$  são os pesos sinápticos ligando os  $y_j$  valores de entrada com cada  $k$  neurônio.

A transferência ou função de ativação nos neurônios de cada camada oculta foi a função hiperbólica, mostrada na equação 5.

$$g(a_k) = \frac{e^{a_k} - e^{-a_k}}{e^{a_k} + e^{-a_k}} \quad (5)$$

onde  $e$  é o algoritmo Neperiano

A acurácia e precisão do modelo de rede neural MLP proposto, foi avaliado pelo cálculo do erro absoluto percentual (MAPE) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) conforme as equações 6 e 7 respectivamente.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| * 100 \right)}{n} \quad (6)$$

onde:

$n$  é o número de dados,  $Y_{est_i}$  é o valor da variável estimada pela rede e  $Y_{obs_i}$  é o valor da variável observado.

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (7)$$

onde:

SQR é a soma dos quadrados dos resíduos e SQT é a soma dos quadrados totais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estimativa da clorofila e diâmetro da copa foram utilizados dados do índice de NDRE, NDVI e altura da planta. Essas entradas (*input*) foram selecionadas com base na análise de sensibilidade (Tabela 1). Em que o índice de NDRE obteve relevância para determinação da clorofila. Já para o diâmetro da copa do cafeeiro, o principal fator determinante é a altura da planta, por razões fisiológicas de crescimento, no entanto, a altura da planta é uma variável que para ser medida requer trabalho manual e moroso, em contrapartida se a estimativa do porte da lavoura for estimada pelos índices NDVI ou NDRE, por meio de sensores, poderá agilizar o manejo da lavoura com maior precisão e rapidez.

TABELA 1. Ranque de sensibilidade da rede neural artificial utilizada para estimativa de clorofila e diâmetro da copa de cafeeiro.

	Clorofila	Diâmetro da copa
NDRE_Esquerdo	1	7
NDRE_Topo	2	6
NDVI_Direito	3	5
NDRE_Direito	4	2
Diâmetro	5	-
NDVI_Esquerdo	6	8
NDVI_Topo	7	3
Altura	8	1
Clorofila_Média	-	4

Dir: Face direita da planta; Topo: face superior da planta; Alt: Altura da planta; Todos: Todas as variáveis mensuradas; NDRE: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada pelo Red-Edge; NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no Vermelho.

Em função da observação na análise de sensibilidade, foram testadas a combinação de variáveis que seriam necessárias para estimar a clorofila e o diâmetro da copa. Diante das combinações testadas, observa-se que quando se utilizou todas as variáveis, obtém-se os melhores valores de correlação,  $R^2$  com menor erro percentual (Tabela 2). No entanto, alcança-se uma boa estimativa tanto para clorofila quanto para o diâmetro da copa, se for utilizado os dados de NDRE na copa direita, esquerda e topo da planta ( $R^2$  de 0,796 e 0,713, respectivamente e erros de 1,50 e 3,19 % respectivamente). A utilização de apenas uma variável para estimativa de outras variáveis é de interesse, uma vez que é necessário apenas acoplar três sensores (lado direito, esquerdo e topo) e em uma única passada fazer previsões com precisão da clorofila e diâmetro da copa, não sendo necessário se preocupar em medir a altura da planta, sendo que para a coleta dos dados, os sensores podem ser acoplados nas faces da própria colhedora.

Outro processo importante a ser observado é que quando analisado somente os índices de NDRE ou NDVI do topo da planta para predição da clorofila, esses possuem baixa correlação ( $R^2$  de 0,1947 e 0,0593 respectivamente), da mesma forma para diâmetro da copa do cafeeiro ( $R^2$  de 0,2121 e 0,0461). Assim, os sensores proximais apresentam-se como ferramentas importantes para analisarem os índices da copa do lado esquerdo e direito da planta. A obtenção desses dados não é possível quando se faz a coleta e análise de IV por imagens de satélites, principalmente pelo fato da planta de café possuir fenologia em que os ramos produtivos são os plagiotrópicos (ramos laterais), tão logo, deve-se considerar a grande massa vegetal dos ramos laterais igualmente para estimar a clorofila.

Ressalta-se que o índice NDRE apresentou-se mais preciso à estimativa em comparação ao NDVI ( $R^2 = 0,796$  e  $0,456$  para clorofila e  $0,713$  e  $0,605$  para diâmetro da copa, respectivamente), essa observação pode estar relacionada a região espectral do *Red-edge*, que situa-se entre 730-780 nm nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, enquanto o NDVI situa-se entre 670 e 780 nm, isso se deve à maior sensibilidade pela diferença de escala no cálculo do índice. Estudos que comparam as duas bandas espectrais, avaliam que o NDRE é mais eficaz para a predição de produtividade (Kanke et al., 2016). Diversos autores comprovaram que a produtividade está diretamente relacionada com o teor de clorofila e biomassa vegetal da planta (Walsh et al., 2013).

TABELA 2. Coeficientes de determinação e correlação das redes neurais artificiais para estimativa da clorofila e diâmetro da copa de cafeeiro.

	Clorofila			Diâmetro de copa		
	Correlação	R <sup>2</sup>	MAPE	Correlação	R <sup>2</sup>	MAPE
Todas as variáveis	0,953	0,909	0,92	0,934	0,872	2,03
NDRE_Dir+NDVI_Topo+Alt	0,862	0,743	1,89	0,837	0,700	3,33
NDRE_Dir+NDVI_Topo	0,710	0,429	2,39	0,677	0,459	4,75
NDRE_Todos	0,892	0,796	1,50	0,844	0,713	3,19
NDVI_Todos	0,675	0,456	2,35	0,778	0,605	3,74
NDRE_Topo	0,441	0,195	3,01	0,556	0,212	5,62
NDVI_Topo	0,243	0,059	3,17	0,215	0,046	6,36

Dir: Face direita da planta; Topo: face superior da planta; Alt: Altura da planta; Todos: Todas as variáveis mensuradas; NDRE: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada pelo Red-Edge; NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no Vermelho.

A rede neural artificial apresenta a estimativa da clorofila e do diâmetro de copa com R<sup>2</sup> de 0,909 e 0,872 quando analisadas todas as variáveis apresentadas, como altura da planta, diâmetro de copa e clorofila (utilizadas quando não foi a variável estimada), não obstante, apenas com os dados do índice do NDRE nos lados direito, esquerdo e topo da planta, obtém-se uma boa estimativa, de 0,796 e 0,713 respectivamente, (Figura 2). Sendo um procedimento mais prático por considerar a análise por sensoriamento remoto, tornando possível a gestão por unidade, uma vez que poderá afetar o manejo como grau de sanidade e produtividade das plantas e necessidade de poda, por exemplo.

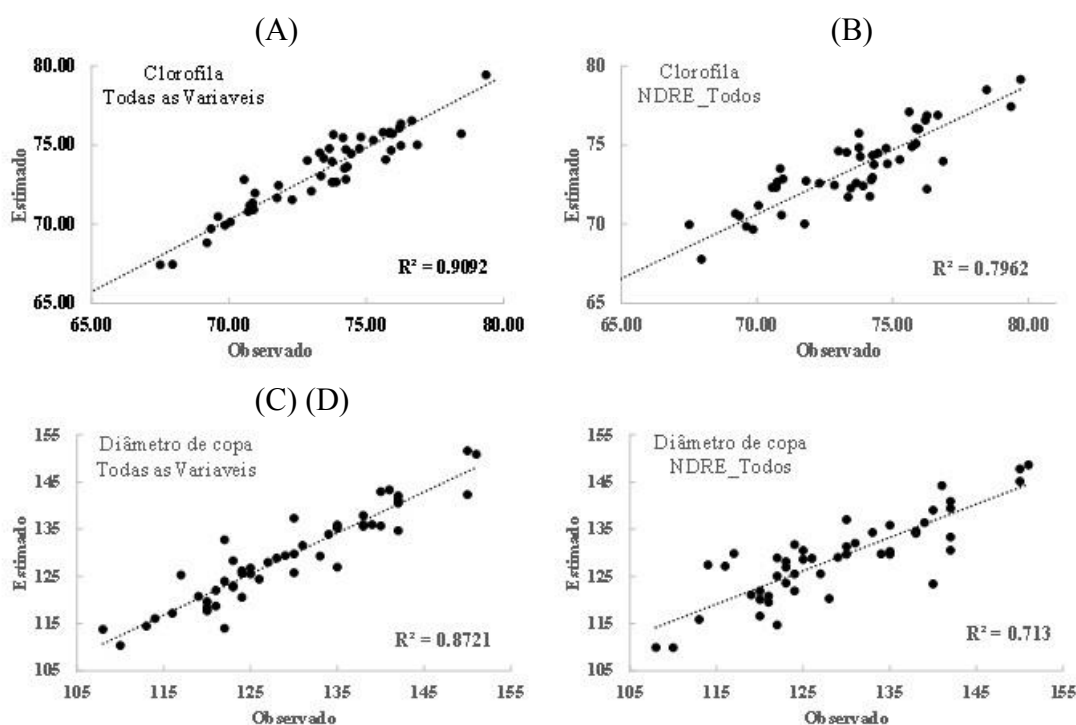


FIGURA 2. Correlação entre valores experimentais (alvo) e estimados (saída da rede neural) a partir de dados de entrada de todas as variáveis (A) para clorofila e (C) para diâmetro de copa e somente com dados do índice NDRE nos lados direito, esquerdo e topo da copa do cafeeiro (B) para clorofila e (D) para diâmetro de copa.

De maneira geral, a utilização de técnicas de aprendizado de máquinas por meio da implementação de modelos neurais para estimativa de variáveis morfofisiológicas na cultura do café se mostrou como ferramenta de grande potencial para aplicação em agricultura de precisão, notadamente para o fim proposto nesta pesquisa, no entanto, se tratando de redes neurais em AP ainda não existe consenso na quantidade de amostras necessárias para a implementação de redes neurais, como o trabalho de Alves et al. (2018) que utilizaram 72 amostras para estimar produtividade de soja, Freitas Leal et al. (2015) e Soares et al. (2015) usaram 261 e 360 amostras para implementação das redes neurais, essa questão da quantidade de amostras a serem utilizadas nas

redes neurais artificiais principalmente em aplicações agrícolas deve ser motivo de novas pesquisas para definição de critérios para implementação de tais técnicas.

## CONCLUSÃO

A rede neural artificial é capaz de estimar com boa precisão e acurácia a clorofila média e o diâmetro da copa do cafeeiro por meio de dados do índice de NDRE nos lados direito, esquerdo e topo da planta. Pesquisas devem ser realizadas quanto ao número mínimo de amostras necessárias para implementação de redes neurais artificiais na estimativa de variáveis morfofisiológicas do cafeeiro.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq pela concessão de bolsa aos autores e a Fazenda Santa Alcina pelo fornecimento da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. R. et al. Estimating soybean yields with artificial neural networks. **Acta Sci., Agron.**, Maringá, v. 40, e35250, 2018.
- FREITAS LEAL, A. J. et al. Redes neurais artificiais na predição da produtividade de milho e definição de sítios de manejo diferenciado por meio de atributos do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 4, 2015.
- GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M. L.; GRIFFIN, K. L.; HARTLEY, A. E.; JOEL, G.; PEÑUELAS, J.; VALENTINI, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**, v.5, p.28-41, 1995.
- GITELSON A, MERZLYAK M. Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. **Journal of plant physiology**, v. 148, p. 494–500, 1996.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 898 p.
- KANKE, Y.; TUBAÑA, B.; DALEN, M.; HARRELL, D. Evaluation of red and red-edge reflectance-based vegetation indices for rice biomass and grain yield prediction models in paddy fields. **Precision Agriculture**, New York, v. 17, n. 5, p. 507-530, 2016.
- LIMA, E. do V. et al. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 125-129, 2001.
- ROCHA, M., AMARAL, L., & DENCOWSKI, C. Early stage sugarcane biomass accumulation prediction by proximal sensing and crop parameters. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, 216-219, 2017. doi:10.1017/S2040470017000176
- ROSA, H.J.A.; AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P.; CANTARELLA, H. Sugarcane response to nitrogen rates, measured by a canopy reflectance sensor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(9), 840-848, 2015.
- SANTINATO, F., RUAS, R. A. A., SILVA, R. P., CARVALHO FILHO, A., SANTINATO, R. Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, v. 10, n.3, 402-411, 2015.
- SOARES, F. C. et al. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1987-1993, 2015.
- SOUZA, HB., BAILO, F.H.R., NEVES, D.C. Using passive and active multispectral sensors on the correlation with the phenological indices of cotton. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering** v. 37, n.4,782-789, 2017.
- ROUSE, J. W; HAAS, R. H; SCHELL, J. A. DEERING, D. W; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type 111, **Final Report**, Greenbelt, MD. 371 p. 1974.
- WALSH OS, KLATT AR, SOLIE JB, GODSEY CB RAUN WR. Use of soilmoisture data for refined GreenSeeker sensor based nitrogen recommendations in winter wheat (*Triticumaestivum* L.) **Precision Agriculture**, v. 14, n. 3:343-356, 2013.

WANG C, FENG M, YANG W, DING G, XIAO L, LI G, et al. Extraction of Sensitive Bands for Monitoring the Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Growth Status and Yields Based on the Spectral Reflectance. **PLoS ONE** v. 12, n.1, 2017.

## **FUSÃO DE DADOS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E IMAGENS SENTINEL 2A PARA CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO**

**TIAGO R. TAVARES<sup>1</sup>, MATEUS T. EITELWEIN<sup>2</sup>, MAURÍCIO MARTELLO<sup>3</sup>, RODRIGO G. TREVISAN<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, tiagosrt@usp.br.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Smart Agri Soluções Tecnológicas, Av. Limeira, 1131, 3<sup>a</sup> sala, 13414-018, Piracicaba -SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Técnicas de sensoriamento do solo permitem a obtenção de dados em alta densidade espacial e podem auxiliar às técnicas tradicionais de mapeamento do solo para uma caracterização fidedigna de seus atributos. Atualmente, dentre as técnicas de sensoriamento, recebem destaque a condutividade elétrica aparente (CEa) e o imageamento utilizando sistemas sensores orbitais. Processos de fusão de dados permitem que essas técnicas sejam utilizadas de maneira complementar para caracterização de alguns atributos do solo. O objetivo deste trabalho é explorar o potencial preditivo de atributos texturais do solo utilizando dados de CEa, imagens orbitais de alta resolução, bem como por modelos de combinação de dados, explorando o sinergismo entre ambos sensores. O trabalho foi executado em duas áreas comerciais de produção de grãos e fibras no estado do Mato Grosso, foram obtidas informações de CEa, imagens do satélite Sentinel 2A, bem como da textura do solo via amostragem e análises laboratoriais. Ambas as técnicas (CEa e sensores orbitais) apresentaram desempenhos satisfatórios para o mapeamento da textura, apresentando resolução espacial da aquisição de dados adequada e boas relações entre a resposta do sensor e os atributos texturais. Além disso, a técnica de fusão de dados utilizada permitiu criar um modelo mais robusto, com menor erro em comparação aos modelos individuais, sugerindo a complementariedade destes sensores para predição da textura do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** sinergismo entre sensores; fertilidade do solo; sensoriamento do solo.

### **DATA FUSION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND SENTINEL 2A IMAGES FOR SOIL TEXTURE CHARACTERIZATION**

**ABSTRACT:** Soil sensing techniques allow obtaining data in high spatial density and can aid the traditional techniques of soil mapping for a reliable characterization of soil attributes. Currently, among the sensing techniques, the apparent electrical conductivity (ECa) and the imaging using orbital sensor systems are highlighted. These techniques can work in a complementary way for soil characterization, in addition data fusion techniques allow to explore the synergism between sensors. The objective of this work is to explore the predictive potential for the soil textural attributes using ECa data, high-resolution orbital images, as well as data fusion models, exploring the synergism between both sensors. The work was carried out in two commercial fields of grains and fibers production in Mato Grosso state. ECa data, Sentinel 2A and PlanetScope images, likewise soil texture information were obtained. Both sensing techniques (ECa and orbital sensors) showed satisfactory performances to predict and map the spatial variability of sand and clay content, with a satisfactory spatial resolution of data acquisition and with good relationship between data and the soil texture. In addition, the data fusion technique allowed to create a more robust model, with less error compared to the individual models, suggesting the complementarity of these sensors to predict soil texture.

**KEYWORDS:** synergism between sensors; soil fertility; soil sensing



## INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento (proximal e remoto) têm recebido grande destaque como alternativa prática e barata para a avaliação da variabilidade de atributos do solo (DEMATTÊ et al., 2015), pois permite a coleta de dados em escalas refinadas (ex.: > 20 amostras ha<sup>-1</sup>), inexecutáveis em métodos tradicionais de mapeamento de solo (VISCARRA ROSSEL e BOUMA, 2016). A obtenção de informações do solo em alta densidade espacial possibilita a execução de estratégias analíticas, tal como o uso de amostragens direcionadas (FORTES et al. 2015) associada a técnicas de cokrigagem (WEBSTER e OLIVER, 2007), que em alguns casos podem permitir o aumento da acurácia do mapeamento de seus atributos com reduzido número de amostras de solos a serem coletadas e enviadas a laboratório (MORAL et al., 2010; SANCHES et al. 2018).

O sensoriamento remoto (SR) permite o diagnóstico da variabilidade espacial e temporal de grandes extensões agrícolas (SEELAN et al., 2003), avaliando a variabilidade de atributos de solos por meio de variações em sua resposta espectral (WARREN e METTERNICHT, 2005). Esta forma de sensoriamento apresenta boas correlações com atributos texturais (DEMATTÊ et al., 2007). Recentemente imagens orbitais têm recebido destaque na agricultura de precisão (AP) devido aos avanços em resolução espacial e temporal de sistemas sensores orbitais, assim como pelo aumento da oferta de imagens orbitais por empresas comerciais (HOUBORG et al., 2016). Dentre as técnicas de sensoriamento proximal do solo, os sensores de condutividade elétrica aparente (CEa) se destacam por sua praticidade de uso e difusão no mercado de AP. Estes sensores avaliam a capacidade do solo conduzir carga elétrica, mensurando esta grandeza em mS m<sup>-1</sup>, a qual reflete alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, tal como textura, umidade e salinidade (ADAMCHUK et al. 2004). Em solos nacionais, a resposta deste sensor está associada principalmente à variabilidade de textura e umidade (MACHADO et al., 2006; MOLIN e RABELO, 2011).

Sensores com princípios de funcionamento distintos - tal como CEa e SR - apresentam potencial para trabalharem de maneira integrada, explorando sua sinergia, o que pode promover incrementos satisfatórios em modelos de predição de atributos do solo (O'ROURKE et al., 2016). Para tal, devem ser empregadas técnicas analíticas de fusão de dados (GRANGER e RAMANATHAN, 1984).

Assim, a motivação para execução deste trabalho se baseou no potencial de utilização de imagens orbitais de alta resolução para avaliação da variabilidade do solo, as quais foram pouco exploradas nacionalmente; assim como a possível sinergia entre estas informações e as de CEa para caracterização da textura em solos tropicais. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram explorar a utilização de imagens do satélite Sentinel 2A para a caracterização da textura do solo, comparando seu potencial com sensores de CEa; bem como avaliar o sinergismo entre sensores orbitais e de CEa para determinação da textura do solo, através de modelos de predição utilizando fusão de dados.

## MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram conduzidas em duas áreas comerciais de produção de grãos e fibras. A primeira área (Área 1) se localiza no município de Campo Novo do Parecis - MT, com coordenadas centrais de 14° 6' 9" S e 57° 45' 46" O, abrangendo um talhão de 138 hectares de solo classificado como Latossolo Vermelho de textura oscilando entre franco argilosa e franco argilo-arenosa. A segunda área (Área 2) se localiza no município de Campo Verde - MT, envolve dois talhões que somam 345 hectares e apresenta coordenadas centrais de 15° 14' 45" S e 54° 58' 9" O. O solo predominante nesta segunda área é o neossolo quartzarênico de textura arenosa. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima na região de ambas as áreas é do tipo Aw: clima tropical com estação úmida e seca, neste caso, a estação seca ocorre durante o inverno.

Na Área 1 os dados de CEa da camada de 0-30 cm foram coletados utilizando a plataforma multisensores Veris MSP® (Veris Technologies, Salina, Kansas, USA). Esta coleta foi realizada no mês de março de 2016, logo após a colheita de soja, e após a estação chuvosa, portanto, com baixo teor de umidade no solo. A frequência de coleta foi de 1 Hz, a uma velocidade média de deslocamento de 5 m s<sup>-1</sup> e distância entre passadas de 20 m, resultando em uma coleta de dados com resolução espacial de 100 m<sup>2</sup> (5 x 20m) e uma densidade de aproximadamente 260 pontos ha<sup>-1</sup>. Na Área 2, os dados de CEa de 0-30 cm foram coletados em janeiro de 2015, também após a colheita de soja, utilizando o equipamento Veris 3100® (Veris Technologies, Salina, Kansas, USA). A distância entre passadas foi de 12 m, a uma velocidade de 4 m s<sup>-1</sup> e taxa de aquisição de 1 Hz, totalizando em 48 m<sup>2</sup> (4 x 12m) de resolução espacial e cerca de 200 pontos ha<sup>-1</sup>. Os dados brutos de CEa foram filtrados para remoção de erros, utilizando o software MapFilter (SPEKKEN et al., 2013) e interpolados por krigagem, usando o software Vesper 1.63 (MINASNY et al., 2005). Buscou-se respeitar a resolução espacial da aquisição de dados para gerar a malha para krigagem, sendo que para a Área 1 o pixel apresentou 10 m e para a Área 2, 7 m.

Após a elaboração dos mapas de CEa, alocou-se os pontos para amostragem de solo (0 a 15 cm de profundidade) em ambas as áreas. Estas amostras foram posteriormente enviadas a laboratório para quantificação da porcentagem de argila e areia, determinada por densímetro em solução dispersante. Na Área

2, foram alocados 20 pontos de modo que representassem toda a variabilidade exibida na CEa, seguindo metodologia de Portz et al. (2012). Já na Área 1, foi selecionada no interior do talhão uma região de 18,26 ha com expressiva variabilidade de CEa para amostragem de solo em alta densidade. Nesta região foram alocados 347 pontos de amostragem (Figura 1), as quais foram coletadas em distância média de 22 m na linha e 20 m entre linhas (~22 amostras ha<sup>-1</sup>); amostras utilizadas para a calibração dos modelos de predição. Também foram coletadas 10 amostras aleatórias ao longo da Área 1 (Figura 1) utilizadas posteriormente para a validação dos modelos de predição gerados.



FIGURA 1. Pontos de amostragem na Área 1. Em branco, os 347 pontos amostrados para calibração dos modelos; em preto, os 10 pontos amostrados para validação dos modelos.

Para caracterização da textura via sensoriamento remoto, foram obtidas imagens do satélite Sentinel-2A. Foram obtidas imagens Sentinel dos dias 25/05/2016 e 15/11/2017 para a Área 1 e 2, respectivamente. Em ambas as imagens as áreas não se encontravam com cultura e para confirmação da presença de solo exposto foi realizada análise da linha do solo para todas as imagens, seguindo metodologia adaptada de Shabou et al. (2015). Pontos discrepantes da linha de solo foram filtrados e o valor dos pixels recalculado utilizando geoestatística.

As imagens Sentinel adquiridas correspondem ao produto “Level-1C”: imagens ortorretificadas na projeção UTM/WGS84, com informação de reflectância do topo da atmosfera. Foi executada a correção atmosférica DOS1 (Dark Object Subtraction) utilizando o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (CONGEDO, 2016) do software QGIS. Foram utilizadas as bandas 2 (azul: 490 nm e 10 m), 3 (verde: 560 nm e 10 m), 4 (vermelho: 665 nm e 10 m), 5 (*red-edge* 1: 705 nm e 20 m), 6 (*red-edge* 2: 740 nm e 20 m), 7 (*red-edge* 3: 783 nm e 20 m) e 8 (NIR: 842 nm e 10 m), 11 (SWIR 1: 1610 nm e 20 m) e 12 (SWIR 2: 2190 nm e 20 m). A resolução espacial de todas as bandas foi padronizada em 20 m, o que representa uma densidade espacial de 25 pixels ha<sup>-1</sup>.

Foi avaliada a estatística descritiva, bem como as correlações entre os dados texturais de laboratório e os obtidos com os métodos de sensoriamento. As análises de correlação foram realizadas com Modelos de regressão foram calibrados para predição do teor de areia e argila utilizando a CEa e as informações espectrais. A calibração dos modelos foi realizada com 70% das amostras - escolhidas aleatoriamente - e a validação com as demais. Para a CEa utilizou-se regressão linear simples. Para os dados espectrais avaliou-se modelos de regressão simples com cada banda individualmente e regressões múltiplas com as bandas que obtiveram correlação significativa com os atributos a serem estimados.

O sinergismo entre sensores foi explorado utilizando o método de fusão de dados de Granger e Ramanathan (GRANGER e RAMANATHAN, 1984). Este método é relativamente simples em comparação às demais abordagens de modelagem conjunta disponíveis na literatura, porém têm apresentado resultados igualmente eficientes (DIKS e VRUGT, 2010, HORTA et al., 2015). Para esta modelagem conjunta são utilizados os valores das predições feitas por cada um dos sensores e o valor real do atributo predito, criando um modelo de regressão linear múltipla com estas informações (Equação 1).

$$Y = W_0 + (W_{CEa} * X_{CEa}) + (W_{imagem} * X_{imagem}) \quad (1)$$

em que: Y é a propriedade de solo a ser estimada; X<sub>CEa</sub> e X<sub>imagem</sub> são as predições realizadas pelos dois modelos previamente calculados; e W<sub>0</sub>, W<sub>CEa</sub> e W<sub>imagem</sub> são os parâmetros da regressão múltipla a serem determinados

pelos métodos dos quadrados mínimos, onde o primeiro parâmetro é o valor do intercepto da reta e, os demais, os pesos dos modelos de predição de ambos os sensores.

As figuras de mérito ( $R^2$  e RMSE) foram calculadas e avaliadas para todos os modelos de predição. A fusão de dados foi realizada com as predições de areia e argila da regressão linear simples de CEa e a regressão do modelo com as imagens orbitais que apresentou maior  $R^2$  e menor RMSE. Por fim, buscando avaliar o desempenho dos modelos calibrados para Área 1, estes foram extrapolados para os dados de sensoriamento (CEa e imagens) de todo o talhão, onde para sua avaliação, comparou-se o valor predito com a análise textural de laboratório com as 10 amostras coletadas para validação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Variabilidade espacial da textura*

Ambas as áreas apresentaram coeficiente de variação de argila acima de 15% (Tabela 2). A Área 1 apresentou amplitude dos teores de argila oscilando entre 175 e 352 g  $dm^{-3}$  e a Área 2 entre 51 e 164 g  $dm^{-3}$ , evidenciando que nas áreas estão presentes solos de diferentes classes texturais. A assimetria dos dados de argila, para ambas as áreas, foi ligeiramente positiva (0,20) - indicando uma menor frequência de valores próximos ao máximo. A amplitude de variação de areia foi semelhante ao de argila para ambas as áreas, marcado pelo desvio padrão próximos.

TABELA 2. Estatística descritiva dos atributos texturais, CEa e bandas dos satélites utilizados para a Área 1 e 2.

	Areia*	Argila*	CEa*	Sentinel 2A*								
				B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B11	B12
----- Área 1 -----												
Mínimo	618	150	0,68	0,037	0,057	0,108	0,109	0,122	0,135	0,132	0,269	0,192
Média	719	256	1,39	0,041	0,065	0,121	0,123	0,137	0,151	0,146	0,291	0,214
Máximo	810	353	2,75	0,048	0,078	0,149	0,154	0,171	0,187	0,178	0,320	0,234
Desvio pad.	40	41	0,38	0,003	0,004	0,007	0,007	0,009	0,009	0,008	0,012	0,009
CV (%)	6	16	27	6	7	6	6	6	6	6	4	4
Assimetria	-0,21	0,19	0,54	0,35	0,48	0,79	0,71	0,76	0,71	0,64	0,15	-0,02
----- Área 2 -----												
Mínimo	733	51	0,29	0,043	0,059	0,106	0,115	0,124	0,145	0,142	0,277	0,256
Média	849	100	1,39	0,055	0,076	0,132	0,142	0,157	0,181	0,184	0,398	0,335
Máximo	912	164	5,27	0,092	0,119	0,190	0,200	0,224	0,261	0,260	0,505	0,439
Desvio pad.	45	30	0,45	0,005	0,007	0,013	0,013	0,016	0,018	0,017	0,024	0,027
CV (%)	5	30	32	9	9	9	9	10	10	9	6	8
Assimetria	-1,00	0,25	0,91	1,46	1,21	1,13	1,08	0,94	0,94	0,95	1,02	1,13

\* Teores de argila e areia expressos em g  $dm^{-3}$ , CEa expressa em  $mS\ m^{-1}$ , valores das bandas do satélite Sentinel expressos em fator de reflectância; e CV corresponde ao coeficiente de variação, também em porcentagem.

### *Avaliação de solo exposto nas imagens orbitais*

O conceito de linha de solo é amplamente utilizado para a avaliação de solo exposto em imagens orbitais (BARET et al., 1993) e foi utilizada neste trabalho como estratégia analítica para confirmar a presença de solo exposto nas imagens adquiridas. Este conceito se baseia na relação linear entre a reflectância do vermelho e do infravermelho próximo (NIR) que o solo apresenta, sendo que a dispersão de pontos no gráfico deve encontrar-se numa faixa ao longo de  $45^\circ$  do eixo x (coeficiente angular da reta igual a 1,0) e com valores de  $R^2$  também próximos a 1,0 (NANNI e DEMATTÊ, 2006). O gráfico de dispersão com os valores das bandas do vermelho e do NIR das imagens utilizadas estão plotados na Figura 2A e B. A dispersão destes pontos obedeceu o comportamento espectral esperado de solo exposto, com coeficiente angular da reta oscilando entre 0,91 e 1,09 e  $R^2$  entre 0,81 e 0,95.

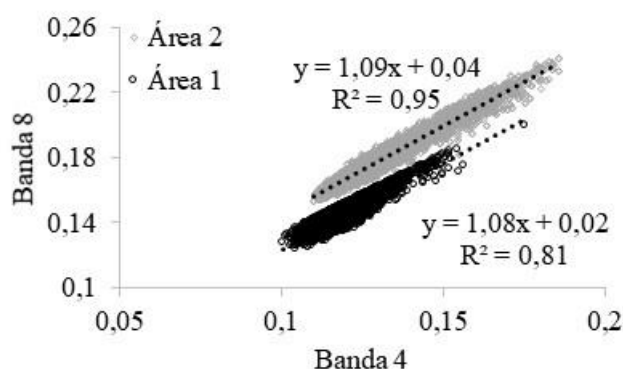


FIGURA 2. Linhas de solo obtidas com as imagens Sentinel para as Áreas 1 e 2. Eixo x referente ao comportamento espectral dos pixels da banda do vermelho e o eixo y da banda do infravermelho próximo.

#### Relação entre textura e técnicas de sensoriamento

A correlação dos atributos texturais com a CEa foi significativa em ambas as áreas, com uma correlação moderada na Área 1 (-0,52 para areia e 0,51 para argila) e forte na Área 2 (-0,94 para areia e 0,76 para argila) (Tabela 3). A diferença de desempenho da CEa nas duas áreas pode estar relacionada ao gradiente de umidade presente no solo no momento em que ambas foram sensoriadas, uma vez que a Área 1 foi avaliada no início do período de estiagem, com baixa umidade e a segunda área foi sensoriada em janeiro, período ainda chuvoso. A CEa aumenta sua sensibilidade à textura em solos que apresentam umidade, pois maiores valores de água estão presentes em texturas mais argilosas e, conseqüentemente, uma maior CEa. Esta inferência também é evidenciada pela amplitude de variação da CEa em ambas as áreas (Tabela 2), a qual foi maior para a Área 2, mesmo esta apresentando textura mais arenosa, o que presumiria uma menor CEa em relação a Área 1, caso o efeito da água fosse proporcional.

TABELA 3. Correlação entre atributos texturais, CEa e imagens orbitais para a Área 1 e 2.

	Areia	Argila	CEa	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B11	B12
----- Área 1 -----												
Areia	1,00	<b>-0,98</b>	<b>-0,52</b>	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	<b>0,79</b>
Argila		1,00	<b>0,51</b>	<b>-0,69</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,78</b>
CEa			1,00	<b>-0,34</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,45</b>
----- Área 2 -----												
Areia	1,00	<b>-0,83</b>	<b>-0,94</b>	<b>0,46</b>	0,40	0,29	0,11	0,11	0,14	0,25	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>
Argila		1,00	<b>0,87</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,57</b>	-0,41	-0,43	<b>-0,63</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,74</b>
CEa			1,00	-0,43	-0,35	-0,23	-0,04	-0,04	-0,07	-0,20	<b>-0,62</b>	<b>-0,57</b>

Valores em negrito indicam coeficiente de correlação significativo ( $P < 0,01$ ).

Na Área 1 todas imagens do satélite Sentinel 2A apresentaram correlação significativa com os atributos texturais, sendo que as bandas 2, 11 e 12 (azul, SWIR 1 e SWIR 2, respectivamente) apresentaram correlação alta ( $\geq 0,70$ ) (Tabela 3). Já na Área 2, algumas bandas não apresentaram correlação significativa com a textura e apenas as bandas 11 e 12 apresentaram correlação alta com o teor de argila. Estes resultados sugerem que embora bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) apresentem maior sensibilidade para a predição de atributos texturais - conforme observado por Franceschini et al. (2013) e também pelo presente trabalho - bandas na região do visível podem apresentar boas relações com atributos texturais uma vez que diferenças granulométricas do solo promovem alterações espectrais de albedo em toda curva espectral Vis-NIR-SWIR (LACERDA et al. 2016).

TABELA 4. Desempenho das regressões para predição de areia e argila utilizando o sensor de CEa, imagens orbitais, bem como da fusão de dados entre CEa e imagens orbitais.

	Área 1				Área 2				
	Areia		Argila		Areia		Argila		
	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	
CEa <sup>1</sup>	0,27	34,3	0,26	35,2	CEa <sup>1</sup>	0,89	14,5	0,77	14,0
B2 <sup>1</sup>	0,50	28,4	0,47	29,6	B2 <sup>1</sup>	0,22	39,1	0,42	22,0
B3 <sup>1</sup>	0,47	29,3	0,45	30,4	B3 <sup>1</sup>	-	-	0,36	50,3
B4 <sup>1</sup>	0,35	32,3	0,34	33,3	B4 <sup>1</sup>	-	-	0,34	50,1
B5 <sup>1</sup>	0,35	32,2	0,34	33,2	B7 <sup>1</sup>	-	-	0,41	50,6
B6 <sup>1</sup>	0,34	32,4	0,34	33,3	B8 <sup>1</sup>	-	-	0,35	50,2
B7 <sup>1</sup>	0,35	32,4	0,34	33,3	B11 <sup>1</sup>	0,48	32,0	0,51	51,5
B8 <sup>1</sup>	0,33	32,7	0,33	33,6	B12 <sup>1</sup>	0,45	32,9	0,56	51,9
B11 <sup>1</sup>	0,50	28,3	0,49	29,3	RM <sup>2</sup>	0,52	30,5	0,75	14,3
B12 <sup>1</sup>	0,63	24,4	0,61	25,7	Fusão <sup>3</sup>	0,92	12,9	0,86	10,9
RM <sup>2</sup>	0,65	23,7	0,63	25,0					
Fusão <sup>3</sup>	0,71	21,5	0,69	22,7					

<sup>1</sup> Regressão linear simples entre a resposta do sensor e o atributo do solo; <sup>2</sup> Regressão linear múltipla entre as bandas com correlação significativa e o atributo do solo; <sup>3</sup> Fusão de dados utilizando metodologia de Granger e Ramanathan (1984) aplicada à regressão simples com a CEa e a regressão com as imagens orbitais que obteve melhores figuras de mérito.

Para Área 1 os três modelos mais promissores (com maior R<sup>2</sup> e menor RMSE) para a predição tanto de areia, quanto de argila, foram: utilizando fusão de dados, regressão múltipla e a regressão linear simples com a banda 12 (SWIR 2) (Tabela 4). Já para a Área 2 os mais promissores foram: fusão de dados, regressão linear simples com a CEa e regressão múltipla (Tabela 4). Assim, em ambas as áreas o melhor modelo de predição foi obtido utilizando o modelo de Granger e Ramanathan para fusão de dados de CEa e das imagens orbitais. Por sua vez, o modelo que apresentou segundo melhor desempenho não foi unânime para ambas as áreas, sendo obtido com os dados de CEa em uma das áreas e com com imagens orbitais na outra, mostrando que ambas as técnicas tem potencial para predição textural, porém cuidados devem ser tomados para a interpretação destas informações uma vez que sua relação entre causa e efeito da resposta do sensor com a textura do solo é dependente de outros fatores, tais como: (i) umidade do solo no caso da CEa e (ii) solo exposto no caso das imagens orbitais. Assim, mesmo com cuidados na aquisição destas informações com os sistemas sensores, validações de campo são primordiais para garantirmos modelos de predição confiáveis.

#### *Validação dos modelos de predição de argila para Área 1*

Para avaliar a replicação dos modelos de predição de argila com os dados de CEa, imagens orbitais e fusão de dados em área total, comparou-se o resultado de sua predição com os teores de argila e areia obtidos de laboratório em 10 pontos amostrados ao longo do talhão (Figura 1). O desempenho da replicação apontou novamente o modelo gerado com a fusão de dados como o mais promissor, apresentando o menor RMSE (Figura 3), reduzindo o erro de predição em pelo menos 10 g dm<sup>-3</sup> ao ser comparado com o RMSE dos demais modelos. Estes resultados sugerem que a fusão de dados, explorando o sinergismo entre sensores, permite gerar modelos mais robustos para a predição de atributos de solo. Segundo O'Rourke et al. (2016), a combinação de predições realizada por equipamentos distintos permite a obtenção de resultados que sejam pelo menos tão bom quanto, ou melhor que qualquer um dos resultados individuais. Embora os resultados sejam promissores, novas investigações devem ser conduzidas para um melhor entendimento do ganho de desempenho ao explorarmos o sinergismo entre sensores. Comenta-se também que embora o modelo de fusão de dados aplicado neste trabalho seja relativamente simples de execução, sendo uma estratégia analítica a ser considerada quando os dados de mais de um sistema sensor estão disponíveis, a redução do erro observada foi relativamente pequena (~10 g dm<sup>-3</sup>) e deve ser levada em consideração.

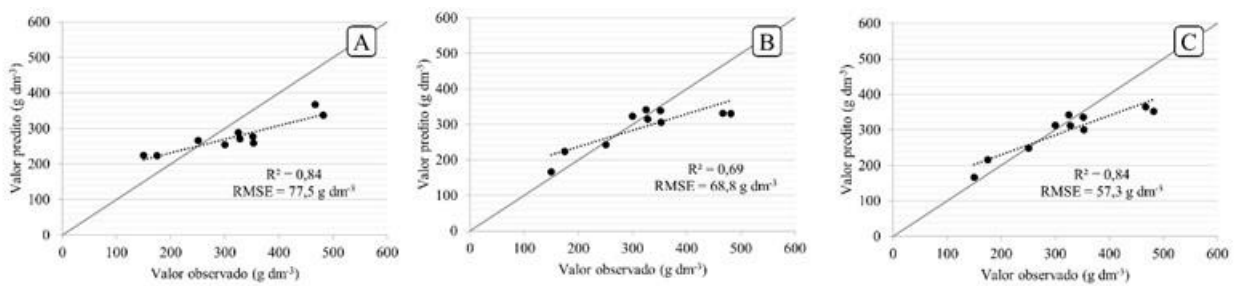


FIGURA 3. Validação da predição do teor de argila utilizando 10 pontos amostrados na Área 1. Modelo linear simples com a CEa (A); o modelo de regressão linear múltipla utilizando todas as bandas do satélite Sentinel (B) e o modelo com fusão de dados envolvendo ambas as predições já citadas e a metodologia de Granger e Ramanathan (1984) (C).

A CEa é uma ferramenta conhecida pela comunidade de AP para caracterização da variabilidade do solo. Ela permite mensurações on-the-go de maneira prática com a obtenção de informações em alta resolução espacial, as quais têm apresentado bons coeficientes de determinação com os atributos texturais;  $R^2$  entre 0,78 e 0,95 (MACHADO et al., 2006; MOLIN e RABELLO, 2011; EITELWEIN, 2017). Por outro lado, a caracterização do solo via imagens orbitais do solo exposto ainda é pouco explorada pela comunidade de AP no Brasil. Pesquisas nacionais, explorando os satélites Landsat e ASTER, já apontaram o potencial desta ferramenta para determinação de atributos texturais em solos tropicais (DEMATTÊ et al., 2007; SOUSA JUNIOR et al., 2011). Neste sentido, a evolução dos sistemas sensores orbitais em resolução espacial, temporal e espectral, a qual temos visto nos últimos anos e que vem tornando ainda mais acessíveis seus dados (HOUBORG e Mc CABE, 2016; ONOJEGHUO et al., 2018), deve incentivar a comunidade de usuários e pesquisadores a buscarem e avaliarem estratégias analíticas de aplicação de imagens orbitais de alta resolução em abordagens de AP. Os dados apresentados neste trabalho mostram o potencial de ambas estas ferramentas de sensoriamento, bem como a possibilidade do uso de ambas como técnicas complementares.

Por último, vale ressaltar que embora trabalhos nacionais relatem que sensores ópticos e de CEa têm relações mais concisas com atributos texturais, em nível local podem ser observadas correlações consideráveis com outros atributos do solo, tal como relatado para pH (SANCHES et al., 2018), P (MOUAZEN et al., 2007), K, Ca e Mg (TAVARES et al., 2016). Assim, em alguns casos, determinações indiretas de nutrientes podem ser observadas utilizando técnicas de sensoriamento do solo, o que abre precedentes para a utilização destas ferramentas como técnicas auxiliares ao método tradicional de diagnóstico da fertilidade do solo - tal como explorado por Sanches et al., 2018 - que sempre será limitado em densidade espacial de dados devido aos custos das análises laboratoriais e por sua dificuldade operacional (Mc BRATNEY et al. 2003).

## CONCLUSÃO

Informações obtidas pelo satélite Sentinel 2A, bem como a CEa, se mostraram promissoras para o mapeamento da textura do solo, sendo coerentes tanto em resolução espacial, quanto na relação entre resposta do sensor e atributo a ser mapeado. A utilização da técnica de fusão de dados de CEa e imagens orbitais permite a obtenção de modelos mais robustos, com menores erros de predição da textura, mostrando a complementariedade de ambas as técnicas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por fornecer a bolsa de estudos do primeiro e segundo autor (Processos nº 2017/21969-0 e 2014/10737-3, respectivamente), à empresa Terra Santa Agro S.A. e ao Grupo Bom Futuro por cederem as áreas de teste.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I. et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, v. 44, n. 1, p. 71-91, 2004.
- BARET, F.; JACQUEMOUD, S.; HANOCQ, J. F. The soil line concept in remote sensing. **Remote Sensing Reviews**, v. 7, n. 1, p. 65-82, 1993.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin documentation. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n. 2, p.168-177, 2015.

DEMATTE, J. A. M. et al. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/landsat-7 data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 17, p. 3813-3829, 2007.

DEMATTE, J. A. M.; ALVES, M. R.; GALLO, B. C.; FONGARO, C. T.; SOUZA, A. B.; ROMERO, D. J.; SATO, M. V. Hyperspectral remote sensing as an alternative to estimate soil attributes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 223–232, 2015.

DIKS, C.G.H., VRUGT, J.A. Comparison of point forecast accuracy of model averaging methods in hydrologic applications. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 24, p. 809–820, 2010.

EITELWEIN, M. T. Sensoriamento proximal de solo para a quantificação de atributos químicos e físicos (Tese de doutorado, Universidade de São Paulo), 2017.

FRANCESCHINI, M. H. D.; DEMATTE, J. A. M.; SATO, M. V.; VICENTE, L. E.; GREGO, C. R. Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1569-1582, 2013.

FORTES, R. et al. A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. **Precision agriculture**, v. 16, n. 4, p. 441-454, 2015.

GRANGER, C.W.J.; RAMANATHAN, R. Improved methods of combining forecasts. **Journal of Forecasting**, v. 3, p. 197–204, 1984.

HORTA, A.; MALONE, B.; STOCKMANN, U.; MINASNY, B.; BISHOP, T. F. A.; MCBRATNEY, A. B.; PALLASSER, R.; POZZA, L. Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review. **Geoderma**, v. 241-242, p. 180–209, 2015.

HOUBORG, R.; Mc CABE, M. F. High-resolution NDVI from Planet’s constellation of earth observing nano-satellites: a new data source for precision agriculture. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 768, 2016.

LACERDA, M. P. C et al. Tropical texture determination by proximal sensing using a regional spectral library and its relationship with soil classification. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 701, 2016.

Mc BRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, n. 1-2, p. 3-52, 2003.

MACHADO, P, D, A et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, 2006.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B., WHELAN, B.M. Vesper 1.62 Spatial prediction software for precision agriculture. Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney, McMillan Building A05, NSW 2006, 2005.

MOUAZEN, A. M. et al. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS–NIR sensor. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 13-27, 2007.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo, **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

NANNI, M. R.; DEMATTE, J. A. M. Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 30, n. 6, 2006.

NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTE, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 386-392, 2011.

ONOJEGHUO, A. O. et al. Applications of satellite ‘hyper-sensing’ in Chinese agriculture: Challenges and opportunities. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 64, p. 62-86, 2018.

O’ROURKE, S. M.; STOCKMANN, U.; HOLDEN, N. M.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B. An assessment of model averaging to improve predictive power of portable vis-NIR and XRF for the determination of agronomic soil properties. **Geoderma**, v. 279, p. 31–44, 2016.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 33-44, 2012.

SOUSA, D. D.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004.

SOUSA JUNIOR, J. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, v. 70, n. 3, 2011.

SEELAN, Santhosh K. et al. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 88, n. 1-2, p. 157-169, 2003.

SHABOU, Marouen et al. Soil clay content mapping using a time series of Landsat TM data in semi-arid lands. **Remote Sensing**, v. 7, n. 5, p. 6059-6078, 2015.

SPEKKEN, M.; ANSELMINI, A. A.; MOLIN, J. P. A simple method for filtering spatial data. In: European Conference of Precision Agriculture, 2013, Lleida, Espanha. Precision agriculture '13. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013. p. 259-266.

TAVARES, T. R.; SOUZA, A. B.; MARTELLO, M.; EITELWEIN, M. T.; DEMATTÊ, J. A. M. Espectroscopia de reflectância Vis-NIR: uma alternativa às análises químicas tradicionais de solo, In Proceedings of the Brazilian Conference on Precision Agriculture, Goiânia, Brazil, 2016.

ROSSEL, R. A. V.; BOUMA, J. Soil sensing: A new paradigm for agriculture. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 71-74, 2016.

WARREN, G.; METTERNICHT, G. Agricultural applications of high-resolution digital multispectral imagery: Evaluating within-field spatial variability of canola (*Brassica napus*) in Western Australia. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 71, p. 595-602, 2005.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists**. John Wiley & Sons, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470517277>.



## **IMPACTO DA DENSIDADE E DA MALHA AMOSTRAL NA QUALIDADE DE MAPAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO**

**HENRIQUE OLDONI<sup>1</sup>, ROMERO C. ROCHA JÚNIOR<sup>2</sup>; BRUNO R. SILVA COSTA<sup>3</sup>, LADISLAU M. RABELLO<sup>4</sup>, LUÍS H. BASSO<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP, henriqueoldoni@gmail.com.

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, UFV, Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) destaca-se como importante atributo para a prática da agricultura de precisão. A utilização de equipamentos portáteis de medida de CEa, operados manualmente, demanda tempo e mão-de-obra. A redução da densidade amostral permite minimizar essa desvantagem, mas pode acarretar em aumento da incerteza dos mapas de distribuição espacial. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da redução da densidade de medidas de CEa na qualidade dos mapas de distribuição espacial gerados em pomar de 1,5 ha de videira de vinho irrigada, em Espírito Santo do Pinhal – SP. Os valores de CEa foram obtidos manualmente por meio de um medidor portátil em uma malha amostral (referencial) de 6 x 5 m (511 pontos georreferenciados), de onde o número de pontos foi reduzido para outras 15 malhas. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística para interpolação dos dados por meio da krigagem ordinária e geração de mapas de distribuição espacial. Os coeficientes de desvio relativo e de concordância Kappa foram utilizados para avaliar a qualidade dos mapas gerados em relação ao de referência. A redução da densidade amostral interferiu na qualidade dos mapas de CEa, podendo ser adotadas as malhas de 18 x 15 m (menor demanda de mão de obra e tempo) ou 18 x 10 m (maior confiabilidade na estimativa), com qualidade moderada.

**PALAVRAS-CHAVE:** variabilidade espacial, geoestatística, instrumentação agrícola.

### **IMPACT OF DENSITY AND SAMPLE GRID ON THE QUALITY OF SOIL APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY MAPS**

**ABSTRACT:** Soil apparent electrical conductivity (ECa) is as an important attribute for precision agriculture practice. Manual ECa measurement with portable equipment is often laborious and time consuming. The reduction of the ECa measurement density should minimize these disadvantages but it could increase the uncertainty about the spatial distribution of maps. This work aimed to evaluate the effect of reduction of ECa measurement density in the quality of the spatial distribution maps generated in an irrigated vineyard (1.5 ha) in Espírito Santo do Pinhal, state of São Paulo, Brazil. ECa measurements were obtained by a portable equipment employed in an sampling grid of 6 x 5 m spacing (511 georeferenced points), considered as reference and then the number of sampling points was reduced in order to obtain 15 different grids. Data were submitted to descriptive statistical analysis and geostatistics for spatial dependence evaluation followed by interpolation by ordinary kriging for maps elaboration. Relative deviation and Kappa concordance coefficients were used to evaluate the quality of the generated maps in comparison to the reference. Reduction of sampling grid interfered with the quality of ECa map, and grid as 18 x 15 m (less time and labor requirements) or 18 x 10 m (greater reliability in the estimation) should be used with moderate quality.

**KEYWORDS:** spatial variability, geostatistics, agricultural instrumentation.

## INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) engloba a utilização de equipamentos para a coleta direta de informações representativas à variabilidade do solo. A medida da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) destaca-se neste contexto, visto que pode correlacionar-se com diversos atributos do solo (CORWIN et al., 2006; MORARI et al., 2009; STADLER et al., 2015).

Dentre os equipamentos voltados à realização de medidas de CEa, existem os conduzidos por veículo tracionado, os quais geralmente são operados em transectos paralelos no decorrer da área, possibilitando medidas de elevada densidade amostral. Por outro lado, existem equipamentos conduzidos de maneira manual que possibilitam medidas de CEa pontualmente e não necessariamente em transectos. Esses são adotados especificamente para áreas de difícil acesso ou que, devido ao tipo de cultivo, impeçam a utilização de veículos para esse fim, como é o caso dos vinhedos cultivados em sistema de espaladeira, em que as leituras de CEa devem ser preferencialmente realizadas nas fileiras de plantas (ambiente onde o sistema radicular da cultura encontra-se nas maiores proporções), na qual a passagem com veículos é impossibilitada. Também a aplicação de água pelo sistema de irrigação por gotejamento justifica a medida da CEa no volume de solo formado pelo bulbo molhado, próximo à linha de plantas.

No entanto, esses equipamentos (operados manualmente) em relação aos demais, apresentam geralmente como desvantagens o maior uso de mão-de-obra e uma menor velocidade nas medições, o que caracteriza em aumento de custos por medida realizada, acarretando em limitação na adoção de práticas de AP por parte dos agricultores. Uma das alternativas para redução de tempo e custo com mão-de-obra com esses equipamentos é a redução da densidade amostral. Em contrapartida, essa alternativa pode resultar em aumento da incerteza dos mapas de distribuição espacial de CEa gerados (FARAHANI; FLYNN, 2007), podendo levar à decisões equivocadas durante o manejo da área, com aplicação excessiva e/ou deficiente de insumos (ANDRENELLI et al., 2013).

Diante disso, trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de avaliar o impacto da redução da densidade amostral na qualidade de mapas de diferentes atributos do solo e da planta (FARAHANI; FLYNN, 2007; BAZZI et al., 2008; COELHO et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2014). Assim, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da redução da densidade amostral de medidas de CEa, adquiridas por meio de equipamentos conduzidos manualmente, estabelecida por diferentes malhas amostrais, na qualidade dos mapas de distribuição espacial gerados em pomar de videira de vinho irrigado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um pomar de videira de vinho cv. Cabernet Franc/Pausen 1103, com área de 1,5 ha, localizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, nas coordenadas 22° 10' 41,1" Sul e 46° 42' 11,8" Oeste, e altitude média de 1.183 m. As videiras eram cultivadas em sistema de condução em espaladeira (poda em cordão Royat unilateral), com fileiras e plantas espaçadas, respectivamente, em 3 e 1 m. O pomar possuía sistema de irrigação por gotejamento, com uma linha lateral por fileira de plantas e dois gotejadores por planta. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo, textura argilo-arenosa (SANTOS et al., 2014).

Foi utilizado um medidor portátil de CEa (Figura 1), operado manualmente, com hastes metálicas para indução de corrente elétrica e medida de diferença de potencial em uma determinada camada de solo (RABELLO et al., 2011), acoplado a um receptor GPS (*Global Position System*; HiPer® GGD, TOPCON) com sinal corrigido pelo mecanismo RTK (*Real Time Kinematic*) para o georreferenciamento dos pontos amostrados. As medidas de CEa foram obtidas ao longo de fileiras de plantas intercaladas e a cada 5 plantas, na faixa contínua de molhamento pelo sistema de irrigação, e na camada de solo de 0,0 a 0,4 m de profundidade. Foi obtida assim uma malha amostral de 6 x 5 m, durante o período de um dia, no mês de dezembro de 2017.

Para testar a redução da densidade amostral em diferentes malhas de amostragem, o número de pontos foi reduzido com base na malha inicial (6 x 5 m), adotada como de referência, para outras 15 diferentes malhas (Tabela 1).



FIGURA 1. (A) Medidor portátil de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) [Fonte: Nascimento, (2013)]; e (B) medida de CEa nas fileiras de plantas de videira de vinho durante o experimento, utilizando o medidor portátil acoplado ao receptor GPS (*rover*).

TABELA 1. Malhas amostrais utilizadas para medidas de condutividade elétrica aparente do solo e respectivo número de pontos medidos.

Malha amostral (m)	Número de pontos
6 x 5 (referência)	511
12 x 5	263
12 x 10	132
18 x 5	190
18 x 10	95
18 x 15	71
24 x 5	143
24 x 10	72
24 x 15	53
24 x 20	42
30 x 5	119
30 x 10	60
30 x 15	44
30 x 20	35
30 x 25	30
30 x 30	25

A análise estatística descritiva foi aplicada ao conjunto de dados de CEa de todas as malhas amostrais utilizadas. A variação dos dados em torno da média foi classificada com base nos valores do coeficiente de variação (CV), sendo considerada baixa ( $CV \leq 15\%$ ), moderada ( $15 < CV \leq 35\%$ ) ou alta ( $CV > 35\%$ ), de acordo com Wilding (1985). Também foi aplicado o teste de normalidade não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 5% de significância para o conjunto de dados de cada grade amostral testada. A análise estatística descritiva e o teste de normalidade foram realizados utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017). Em seguida, a análise geoestatística foi aplicada a cada um dos conjuntos de dados para caracterizar e avaliar a existência da dependência espacial dos dados medidos nas diferentes malhas amostrais. Para isso, semivariogramas experimentais foram calculados por meio do estimador de Matheron (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978), utilizando pares de pontos amostrais separados por distâncias de até 50% da maior distância entre os mesmos. Foi verificada a existência de anisotropia e o seu tipo para posterior correção da mesma com base em método apresentado por Yamamoto e Landim (2013). Segundo os mesmos autores, o objetivo dessa correção é para a obtenção de um semivariograma isotrópico, permitindo o ajuste de um único modelo de correlação espacial. Modelos esférico, exponencial e gaussiano foram ajustados aos semivariogramas experimentais isotrópicos e selecionados com base no menor valor da raiz quadrada do erro médio (RMSE) da validação cruzada. Em seguida, foram obtidos os parâmetros de ajuste (efeito pepita:  $C_0$ , patamar:  $C_0+C$  e alcance da dependência espacial:  $A$ ) do modelo selecionado. O grau de dependência espacial [ $GDE (\%) = (C_0/(C+C_0) \times 100)$ ] também foi determinado, segundo Cambardella et al. (1994) e classificado como de forte ( $GDE < 25\%$ ), moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ) e fraca dependência espacial ( $GDE \geq 75\%$ ).

Os dados que apresentaram dependência espacial foram então interpolados por meio da krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007) e mapas de distribuição espacial da CEa foram gerados com três classes de valores (alto, moderado e baixo) determinadas pelo método de Otimização de Jenks (JENKS, 1963), o qual minimiza as diferenças entre valores interpolados intraclasses e maximiza as diferenças entre as classes. A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa GS<sup>+</sup> 7.0 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004) e os mapas de isolinhas foram confeccionados utilizando o programa QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015).

Para avaliar a qualidade dos mapas de CEa gerados por meio das diferentes densidades de pontos e malhas amostrais em relação ao mapa de referência adotado (malha de 6 x 5 m), o coeficiente de concordância Kappa (COHEN, 1960) foi aplicado. Esse coeficiente é calculado utilizando uma matriz de confusão, sendo que quanto maior seu valor calculado, maior é a concordância entre o mapa comparado e o mapa de referência. Cada classe delimitada dos mapas de CEa gerados foi considerada como uma categoria para o cálculo da matriz de confusão. O grau de concordância, segundo o coeficiente de concordância Kappa, foi classificado de acordo com Landis e Koch (1977) (Tabela 2). O coeficiente de desvio relativo (CDR) (COELHO et al., 2009) também foi utilizado para a comparação entre mapas, de modo a classificar de forma ordenada da melhor para a pior malha amostral, sendo melhor quanto menor for seu valor.

TABELA 2. Classificação do grau de concordância segundo o coeficiente de concordância Kappa.

Coeficiente de concordância Kappa	Grau de concordância
<0,00	Pobre
0,00-0,20	Leve
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Substantial
0,81-1,00	Quase perfeita

Fonte: Modificado de Landis e Koch (1977).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de posição, dispersão e distribuição dos dados de CEa permaneceram relativamente estáveis entre as diferentes malhas amostrais avaliadas (Tabela 3). A variação dos dados em torno da média foi classificada como moderada ( $15 < CV \leq 35\%$ ; WILDING, 1985) para todos os conjuntos de dados. Foi constatada a não normalidade dos dados de CEa medidos apenas na maior densidade amostral (malha de 6 x 5 m), segundo o teste K-S ao nível de 5% de significância, o que, em alguns casos, tornaria necessária a transformação do conjunto de dados para posterior análise geoestatística. No entanto, o valor do coeficiente de assimetria foi próximo de zero, garantindo a simetria dos dados, a qual é realmente exigida para o uso de semivariogramas na estimativa por krigagem (LANDIM, 2006).

Foi verificada existência de anisotropia do tipo geométrica para os dados de CEa medido nas malhas amostrais de 6 x 5 m, 12 x 5 m, 12 x 10 m, 18 x 5 m, 30 x 15 m e 30 x 20 m, com maiores valores de alcance na direção das fileiras de plantas (45°), sugerindo maior continuidade nesta direção, exceto para a malha de 30 x 20 m, na qual apresentou maior continuidade na direção de 90°. Visto que as fileiras de plantas encontram-se, de forma geral, na direção das curvas de nível do vinhedo, a anisotropia pode estar atribuída aos fatores intrínsecos do solo condicionados pela topografia do terreno.

Apenas as malhas amostrais que estabeleceram um espaçamento entre pontos igual ou acima de 25 m nas duas direções (30 x 25 m e 30 x 30 m) não garantiram a dependência espacial entre os dados de CEa amostrados no pomar (semivariogramas experimentais com efeito pepita puro – EPP, Tabela 4). Isso mostra que o espaçamento entre pontos deve ser limitado a distâncias inferiores a 25 m quando utilizadas em ambas as direções no pomar (entre fileiras e entre plantas). As demais malhas garantiram aos dados uma dependência espacial forte ( $GDE < 25\%$ ) e moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ), segundo classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais variaram entre esférico e exponencial dentre os diferentes tipos de malha amostral. O alcance da dependência espacial manteve-se entre 22,8 e 47,6 m para todas as malhas amostrais testadas que apresentaram dependência espacial. Portanto, o alcance mínimo de 22,8 m observado garante, de antemão, a existência de dependência espacial entre pontos amostrados até essa distância.

TABELA 3. Estatística descritiva e teste de normalidade dos dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m<sup>-1</sup>) medidos por diferentes malhas amostrais.

Malha amostral (m)	n <sup>(a)</sup>	Parâmetros estatísticos <sup>(b)</sup>								D <sub>K-S</sub> <sup>(c)</sup>
		Média	Med	Mín	Máx	s	CV (%)	Cur	Ass	
6 x 5	511	5,2	5,2	2,8	8,8	0,93	18,0	0,17	0,07	0,06 <sup>NN</sup>
12 x 5	263	5,3	5,3	3,0	8,8	0,93	17,6	0,27	0,00	0,06 <sup>N</sup>
12 x 10	132	5,2	5,3	3,2	7,4	0,93	17,9	-0,47	-0,05	0,07 <sup>N</sup>
18 x 5	190	5,3	5,4	3,1	8,8	0,96	18,1	0,25	0,05	0,09 <sup>N</sup>
18 x 10	95	5,3	5,3	3,2	7,3	0,96	18,3	-0,43	-0,10	0,09 <sup>N</sup>
18 x 15	71	5,4	5,4	3,2	8,8	1,09	20,2	0,22	0,10	0,12 <sup>N</sup>
24 x 5	143	5,3	5,3	3,1	7,4	0,97	18,4	-0,50	-0,18	0,07 <sup>N</sup>
24 x 10	72	5,2	5,3	3,2	7,4	1,01	19,3	-0,73	-0,15	0,10 <sup>N</sup>
24 x 15	53	5,3	5,4	3,2	7,2	1,07	20,1	-0,62	-0,29	0,08 <sup>N</sup>
24 x 20	42	5,2	5,3	3,2	7,1	1,07	20,6	-0,82	-0,11	0,10 <sup>N</sup>
30 x 5	119	5,2	5,3	3,2	7,2	0,86	16,5	-0,29	-0,31	0,10 <sup>N</sup>
30 x 10	60	5,2	5,4	3,2	7,2	0,93	17,7	-0,41	-0,40	0,12 <sup>N</sup>
30 x 15	44	5,2	5,3	3,2	7,2	0,96	18,5	-0,16	-0,20	0,14 <sup>N</sup>
30 x 20	35	5,1	5,4	3,2	7,1	0,97	19,2	-0,68	-0,29	0,14 <sup>N</sup>
30 x 25	30	5,1	5,4	3,2	7,1	1,03	20,2	-0,74	-0,31	0,14 <sup>N</sup>
30 x 30	25	5,2	5,2	3,2	7,2	1,13	21,9	-0,73	0,03	0,09 <sup>N</sup>

<sup>a</sup> n: número de pontos amostrados. <sup>b</sup> Med: mediana; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cur: coeficiente de curtose; Ass: coeficiente de assimetria. <sup>c</sup> D<sub>K-S</sub>: valor do teste de normalidade da distribuição de Kolmogorov–Smirnov (K–S); N e NN: segue e não segue uma distribuição não normal, respectivamente, com base no valor crítico calculado.

TABELA 4. Modelos e parâmetros de ajuste aos semivariogramas experimentais dos dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m<sup>-1</sup>) para as diferentes malhas amostrais.

Malha amostral (m)	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE <sup>(b)</sup> (%)	Validação Cruzada <sup>(c)</sup>		
						CR	r <sup>2</sup>	RMSE
6 x 5	Exponencial	0,40	0,90	36,3	44,2 <sup>M</sup>	1,044	0,346	0,755
12 x 5	Exponencial	0,15	0,87	39,6	17,1 <sup>F</sup>	0,901	0,318	0,766
12 x 10	Exponencial	0,12	0,89	38,7	13,6 <sup>F</sup>	0,749	0,185	0,851
18 x 5	Esférico	0,23	0,92	35,9	24,8 <sup>F</sup>	0,925	0,378	0,791
18 x 10	Esférico	0,41	0,89	39,6	46,8 <sup>M</sup>	0,903	0,168	0,874
18 x 15	Esférico	0,32	1,11	40,2	28,9 <sup>M</sup>	0,925	0,233	0,949
24 x 5	Esférico	0,26	0,94	22,8	27,5 <sup>M</sup>	0,924	0,298	0,810
24 x 10	Exponencial	0,24	1,00	29,4	24,1 <sup>F</sup>	0,625	0,048	0,985
24 x 15	Esférico	0,42	1,08	31,4	38,5 <sup>M</sup>	0,491	0,031	1,065
24 x 20	Esférico	0,39	1,04	39,1	37,5 <sup>M</sup>	0,516	0,022	1,046
30 x 5	Exponencial	0,15	0,68	25,3	21,6 <sup>F</sup>	0,985	0,299	0,715
30 x 10	Esférico	0,51	0,79	39,5	64,1 <sup>M</sup>	0,470	0,021	0,922
30 x 15	Esférico	0,24	0,83	47,6	29,3 <sup>M</sup>	0,350	0,033	0,990
30 x 20	Esférico	0,13	0,85	31,9	14,8 <sup>F</sup>	-0,299	0,011	1,049
30 x 25	EPP <sup>(a)</sup>							
30 x 30	EPP							

<sup>a</sup> EPP: efeito pepita puro. <sup>b</sup> GDE: grau de dependência espacial; F e M: dependência espacial forte e moderada, respectivamente, segundo Cambardella et al. (1994). <sup>c</sup> CR, r<sup>2</sup> e RMSE: coeficiente de regressão, coeficiente de determinação e raiz quadrada do erro médio, respectivamente, da validação cruzada para o modelo adotado.

Os resultados da validação cruzada (Tabela 4) indicaram, de maneira geral, que a redução do número de pontos amostrais diminuiu gradativamente a confiabilidade da estimativa pela krigagem. As mudanças da malha de 24 x 5 m para 24 x 10 m e de 30 x 5 m para 30 x 10 m ocasionaram uma diminuição mais acentuada dos valores do coeficiente de regressão (CR) e de determinação (r<sup>2</sup>) e um aumento acentuado dos valores de RMSE. Isso sugere que quando distâncias entre pontos a partir de 24 m e até 30 m forem adotadas

em uma das direções da malha de amostragem, as distâncias entre pontos da direção perpendicular deve ser limitada a 5 m para assegurar melhor confiabilidade na estimativa da CEa por krigagem nessa área.

Uma redução do detalhamento da distribuição espacial dos dados de CEa foi evidenciada com o aumento do espaçamento entre pontos amostrais e consequente redução da densidade de pontos (Figura 2).

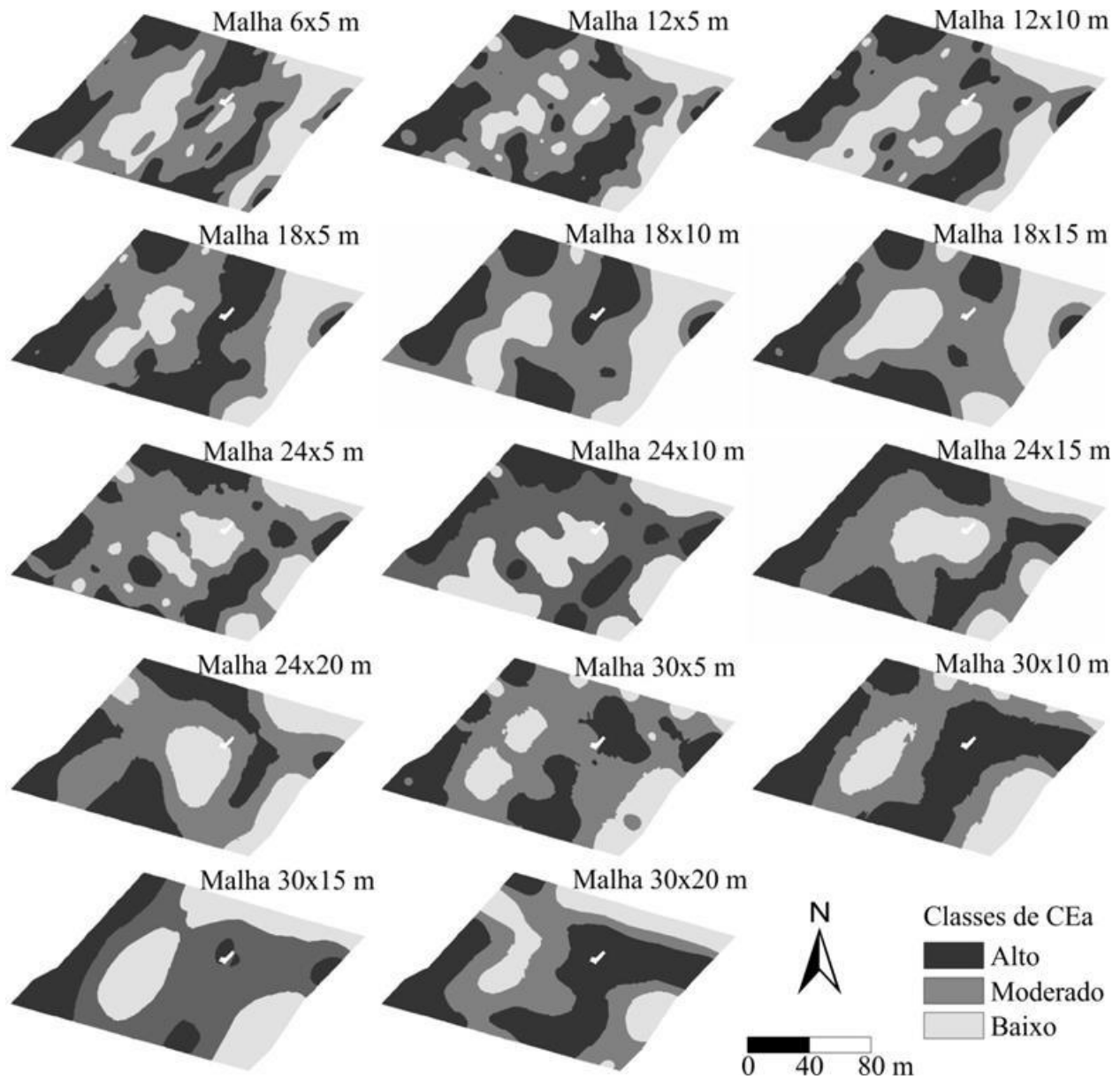


FIGURA 2. Mapas de distribuição espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) gerados com base em medidas realizadas por diferentes malhas amostrais.

A partir dos valores do CDR calculados (Tabela 5), foi possível classificar da melhor para a pior malha amostral dentre as testadas, utilizando como referência o mapa gerado com dados de CEa medidos em malha de 6 x 5 m (511 pontos amostrais). As melhores malhas amostrais utilizadas foram a de 18 x 10 e de 12 x 5 m, identificada com base no menor valor de CDR (5,65 e 5,77%, respectivamente), no entanto, apresentaram valores muito próximos às malhas de 12 x 10 m e 18 x 5 m, o que garante semelhança na qualidade dos mapas gerados utilizando estas malhas amostrais. A pior malha amostral utilizada foi a de 24 x 20 m (CDR = 8,80%), com 42 pontos. Resultados apresentados em outros trabalhos mostram que o número de pontos amostrais reduz a qualidade dos mapas gerados (BAZZI et al., 2008; COELHO et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2014). Neste trabalho, mesmo que uma tendência do aumento dos valores de CDR com a redução da densidade amostral tenha sido observada, a pior malha amostral identificada (24 x 20 m) não coincidiu com menor número de pontos amostrais utilizados. Além disso, algumas malhas de menor densidade amostral foram mais bem sucedidas em comparação a outras de maior densidade amostral, como, por exemplo, entre as malhas amostrais de 18 x 10 m e 24 x 5 m. Mesmo que esta última contemple maior

quantidade de pontos amostrais (143 pontos), a malha de 18 x 10 m (95 pontos) é considerada como melhor (menor CDR e maior coeficiente Kappa). Nesse sentido, o aumento do espaçamento entre amostras na direção do declive do vinhedo (espaçamento entre fileira de plantas) pode ter interferido com maior intensidade na qualidade dos mapas quando comparado ao aumento na direção em nível (espaçamento entre plantas), visto que a variabilidade de diversos atributos do solo tende a ser maior no sentido da declividade. Portanto, neste caso, a redução da qualidade dos mapas associou-se não somente à redução da densidade amostral, mas também a malha amostral utilizada.

TABELA 5. Coeficiente de desvio relativo (CDR) e coeficiente de concordância Kappa (Kappa) para os mapas de condutividade elétrica aparente do solo gerados com base em medidas realizadas por diferentes malhas amostrais.

Malha amostral (m)	n <sup>(a)</sup>	CDR (%)	Kappa	Classificação <sup>(b)</sup>
12 x 5	263	5,77	0,53	Moderada
12 x 10	132	5,92	0,47	Moderada
18 x 5	190	5,82	0,51	Moderada
18 x 10	95	5,65	0,44	Moderada
18 x 15	71	7,28	0,46	Moderada
24 x 5	143	7,25	0,34	Razoável
24 x 10	72	6,99	0,28	Razoável
24 x 15	53	7,71	0,33	Razoável
24 x 20	42	8,80	0,24	Razoável
30 x 5	119	6,95	0,28	Razoável
30 x 10	60	7,07	0,27	Razoável
30 x 15	44	7,11	0,29	Razoável
30 x 20	35	8,09	0,24	Razoável

<sup>a</sup> n: número de pontos amostrados. <sup>b</sup> Classificação da concordância com o mapa de referência, com base no coeficiente de concordância Kappa segundo Landis e Koch (1977).

Com base nos valores do coeficiente Kappa (Tabela 5), a concordância entre os mapas gerados com o mapa de referência foi classificada como moderada (LANDIS; KOCH, 1977) para as malhas amostrais com até 18 m de distância entre pontos direcionados em uma das laterais da malha. Todas as demais malhas amostrais, de 24 x 5 m até 30 x 20 m, apresentaram uma concordância classificada como razoável. Assim sendo, as malhas 18 x 10 m e 18 x 15 m podem ser consideradas como as que oferecem o maior custo-benefício, visto que garantem a menor densidade amostral possível, até 18,6 e 13,9%, respectivamente, do total de pontos utilizados (511 pontos), mantendo uma concordância moderada ao mapa com maior número de pontos amostrados. Sob outra perspectiva, quando verificado os valores de CDR (Tabela 5) e RMSE (Tabela 4), entre as duas malhas citadas anteriormente, a de 18 x 10 m apresenta menor desvio relativo ao mapa de referência e maior confiabilidade na estimativa por krigagem.

## CONCLUSÃO

A redução da densidade amostral interferiu na qualidade dos mapas de condutividade elétrica aparente do solo. Medidas realizadas com distâncias de 18 m entre fileiras de plantas e 10 m (maior confiabilidade na estimativa) ou 15 m (menor demanda de mão de obra e tempo) entre plantas de uma mesma fileira geraram mapas de mesma categoria de qualidade (moderada) de acordo com o índice Kappa, em relação à malha de referência (6 x 5 m). Pode-se, portanto, reduzir o tempo e a mão-de-obra utilizados na amostragem desse atributo na área em estudo.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo e apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pelo suporte ao trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANDRENELLI, M.C.; MAGINI, S.; PELLEGRINI, S.; PERRIA, R.; VIGNOZZI, N.; COSTANTINI, E.A.C. The use of the ARP© system to reduce the costs of soil survey for precision viticulture. **Journal of Applied Geophysics**, v.99, p.24–34, 2013.

- BAZZI, C.L.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; NÓBREGA, L.H.P.; PINHEIRO NETO, R. Influência da distância entre passadas de colhedora equipada com monitor de colheita na precisão dos mapas de produtividade na cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.355-363, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOCAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.
- COELHO, E.C.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n.1, p.165-174, 2009.
- COHEN, J. A Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement**, v.20, n.1, p. 37-46, 1960.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M.; OSTER, J.D.; KAFFKA, S.R. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. **Geoderma**, v.131, p.369-387, 2006.
- FARAHANI, H. J.; FLYNN, R. L.; Map quality and zone delineation as affected by width of parallel swaths of mobile agricultural sensors. **Biosystems Engineering**, v.96, n.2, p.151-159, 2007.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences**. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.
- JENKS, G.F. Generalization in statistical mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v.53, n.1 p.15-26, 1963.
- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, J.C.H. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.
- LANDIM, P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, v.2, n.1, p.19-33, 2006.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.
- MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.68, p.97-107, 2009.
- NASCIMENTO, E.F. **Zonas homogêneas de manejo em viticultura irrigada**. 2013, 124f. Tese (Doutorado em Agronomia), – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013.
- NASCIMENTO, E.F.; BASSOI, L.H.; RABELLO, L.M. Definição da malha de amostragem da condutividade elétrica do solo para obtenção de zonas de manejo em pomar de videira. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; DE RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. ed. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014, p. 413-420.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project**. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y.; BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; MOLIN, J.P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C ed. **Agricultura de precisão: Um Novo Olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p.41-45.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2014.
- STADLER, A.; RUDOLPH, S.; KUPISCH, M.; LANGENSIEPEN, M.; VAN DER KRUK, J.; EWERT, F. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements. **European Journal of Agronomy**, v.64, p.8-20, 2015.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2. ed. Chichester: Wiley and



Sons. 2007.

WILDING, L. P. **Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys**. In NIELSEN, D.R.; BOUMA, J. (Ed.), Soil Spatial Variability. Wageningen: Pudoc. p.166–194, 1985.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos. 2013.

## **IMPACTO DO COMPRIMENTO DE FILEIRAS NO PROCESSO DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**JOSÉ VITOR SALVI<sup>1</sup> LEONARDO COELHO RIBEIRO<sup>2</sup>; MAGALI BERTINI<sup>2</sup>; MATHEUS DE OLIVEIRA ROCHA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Eng° Agrônomo, Prof., Fatec “Shunji Nishimura”, Pompeia – SP, Fone: (14) 3452-1294; josevitorsalvi@gmail.com

<sup>2</sup> Tecnólogos em Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec “Shunji Nishimura”, Pompeia – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A sistematização de um canavial, apto à colheita mecanizada, deve prezar pela boa arquitetura de fileiras de plantio e curvas de nível, já que estas interferem diretamente no bom condicionamento fitossanitário e operacional da lavoura, influenciando diretamente os custos das operações e em especial, da colheita. O objetivo desse trabalho é analisar, por meio de um estudo de caso, o impacto dos tempos e movimentos na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar em relação ao desempenho econômico. Para isso foram analisados três glebas (419,22 ha) de uma empresa situada no interior de São Paulo. Para a análise foram utilizadas equações matemáticas para calcular os custos do processo, além da utilização de um SIG para análise criteriosa das glebas e determinação de suas áreas. Os resultados da análise demonstraram que áreas com predomínio de fileiras com comprimento maior, possuíam maior capacidade de produção ( $t\ h^{-1}$ ), devido ao menor número de manobras e consequente melhoria da eficiência operacional. Desta forma, para as condições de estudo, verificou-se que as duas glebas em que as fileiras maiores que 800 m representavam mais de 60% do total de comprimento, possuíam um custo operacional médio inferior em relação à gleba onde essa classe de comprimento de fileiras representam 13,6% da área total. A gleba com o menor comprimento de fileiras apresenta maior variação no custo operacional em relação à variação do tempo de manobras

**PALAVRAS-CHAVE:** Custo, Sistematização, Sistema de direção automática

### **IMPACT OF THE ROW LENGTH IN THE SUGAR CANE HARVEST PROCESS**

**ABSTRACT:** The systematization of a cane field, suitable for mechanized harvesting, should value the good architecture of lines and contour lines, since these directly interfere in the good phytosanitary and operational conditioning of the crop, directly influencing the costs of the harvesting process. The objective of this work is to analyze, through a case study, the impact of the times and movements in the mechanized harvesting operation of sugarcane in relation to the economic performance. For this, 3 fields (419,22 ha) of company, located in São Paulo state. For the analysis, mathematical equations were used to calculate the costs of the process, besides the use of GIS software for the careful analysis of the plots and determination of their areas. The results of the analysis showed that areas with predominant lines with greater length had higher production capacity ( $t\ h^{-1}$ ), due to the smaller number of maneuvers and consequent improvement of the operational efficiency. Thus, for the study conditions, it was verified that the two plots in which lines greater than 800 m represented more than 60% of the total length, had an average lower operating cost in relation to the field where this class of row length represented 13,6% of the total area.

**KEYWORDS:** Cost, Systematization, Automatic steering system

### **INTRODUÇÃO**

As profundas alterações na administração da lavoura de cana-de-açúcar foram uma demanda da mudança no sistema de colheita da cana, promovendo novos modelos de sistematização das áreas de produção para se adaptar ao intenso uso de máquinas (TORQUATO, 2015).

Uma definição para sistematização agrícola canavieira seria a união de práticas com o propósito de deixar a área de produção na melhor forma de trabalho para o plantio, manutenção e colheita da cultura, estabelecendo tráfego de caminhões e máquinas, limites de cada área, conservação de solo e otimização de

operações (BRANQUINHO, 2015). Segundo Lionço et al. (2010), possuir máquinas para colheita de cana-de-açúcar, não é o suficiente. O processo de colheita é dependente de um conjunto de sistematização bem feito na área onde será realizado o plantio, como tamanho de glebas, nivelamento de terreno, posição de carregadores e estradas, remoção de pedras e tocos, planejamento da sulcação e sistema conservacionista.

De acordo com Spekken e Bruin (2013), o tamanho e formato das glebas interferem diretamente na eficiência das operações em campo. Sendo assim o bom planejamento das fileiras de plantio na área, tem um impacto positivo, auxiliando no aumento de eficiência das máquinas agrícolas, passadas ou caminhos no campo podendo aprimorar custos e tempo.

Segundo Benedini e Conde (2008), a boa arquitetura de sulcação diminui os custos desde a instalação da cana-de-açúcar, até o último corte do canavial, devido ao aumento da capacidade de campo operacional. Com a colheita mecanizada, áreas não planejadas em média colhem 350 toneladas por dia por máquina, enquanto fazendas com traçado planejado, na média colhem 600 toneladas por dia por máquina, reduzindo a necessidade total de colhedoras quase pela metade.

Com relação à colheita mecanizada de cana-de-açúcar, a capacidade de campo operacional possui associação direta com os custos produtivos, pois a colheita representa uma parcela considerável do custo agrícola, existindo ações de gestão para melhorar as eficiências globais como por exemplo a sistematização das áreas (BELARDO et al., 2015).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é analisar, por meio de um estudo de caso, o impacto dos tempos e movimentos na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar em relação ao desempenho econômico.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da análise operacional dos trajetos da colhedora de cana-de-açúcar, foram utilizados dados referentes a processos de colheita de uma empresa agrícola situadas no interior do estado de São Paulo, em três glebas com áreas de 36,4 (1), 206,4 (2) e 176,5 (3) ha.

Os parâmetros das áreas de estudo utilizados foram o espaçamento entre fileiras, largura efetiva das máquinas, tempo unitário de manobra da colhedora e tempo unitário de manobra do conjunto trator-transbordo. Os valores adotados para o cálculo de tempo gasto com manobra foram de 90 segundos, tanto para a colhedora quanto para o conjunto trator e transbordo (Tabela 1), de forma igualitária em todas as glebas.

Tabela 1. Parâmetros operacionais das áreas de estudo.

Variáveis	Valores
Espaçamento entre fileiras (m)	2,4
Largura efetiva das máquinas (m)	2,4
Tempo unitário manobra colhedora (h)	0,025
Tempo unitário de manobra conjunto trator-transbordo (h)	0,025

Fonte: Autores, de acordo com o levantado pela empresa agrícola

Para se avaliar o impacto médio dos custos, foram realizados o levantamento dos dados de produtividade do canavial e velocidade de trabalho. Esses valores referem-se à média dos cinco cortes (um ciclo de plantio), além de ser teórico, tendo em vista que os mesmos valores serão usados para todas as glebas, já que nesse caso são cinco cortes e há uma variação na capacidade de campo efetiva no decorrer dos cortes, devido às mudanças de produtividade (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de capacidade de campo e de produção efetivas.

Variáveis	Valores
Produtividade média canavial no ciclo ( $t\ ha^{-1}$ )	84
Velocidade média de trabalho ( $km\ h^{-1}$ )	3,64
Capacidade de campo efetiva ( $ha\ h^{-1}$ )	0,87
Capacidade de produção efetiva ( $t\ h^{-1}$ )	73,08

Fonte: Autores, de acordo com o levantado pela empresa agrícola

As variáveis consideradas para o desenvolvimento dos custos operacionais (Tabela 3), foram formadas a partir de informações reais obtidas da empresa agrícola considerando uma colhedora e dois conjuntos trator + transbordo. A metodologia de cálculo utilizada para chegar nos resultados de eficiência e

capacidade de produção operacional, além dos custos horários (R\$ h<sup>-1</sup>) e dos custos operacionais (R\$ t<sup>-1</sup>), foram definidas por Milan e Rosa (2015).

Tabela 3. Variáveis utilizadas para o cálculo dos custos.

Variáveis	Colhedora	Trator + Transbordo
Valor de Aquisição – VI (R\$)	1.000.000,00	600.000,00
Valor residual (% de VI)	35	25
Vida útil (anos)	5	10
Vida útil (horas)	12.000	12.000
Horas trabalhadas anuais	2.400	1.200
Juros (%)	8,75	8,75
Alojamento, Seguro e Taxas – AST (% de VI)	1	2
Fator de reparos e manutenção (% de VI)	85	90
Consumo de combustível (L h <sup>-1</sup> )	40	12
Valor combustível (R\$ L <sup>-1</sup> )	3	3
Salário mensal operador (R\$)	2.500,00	2.500,00
Encargos do salário (%)	45	45

Fonte: Autores, de acordo com o levantado pela empresa agrícola

Para análise dos dados utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, EUA) avaliando o comprimento das fileiras, quantidade de manobras e as demais informações necessárias.

A análise gráfica da correlação entre o comprimento médio das fileiras e o custo em R\$ t<sup>-1</sup> foi feita utilizando planilha Excel, e a análise estatística envolvendo os dois parâmetros foi realizada no software R (R Development Core Team, 2017), utilizando o comando “corr”, que analisa a correlação entre dois parâmetros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 é possível visualizar os custos individuais do conjunto de máquinas utilizadas na colheita que formam o valor final do custo horário (R\$ h<sup>-1</sup>) da colhedora e do conjunto trator-transbordo..

Tabela 4. Custo horário da colhedora de cana-de-açúcar e do conjunto trator-transbordo

Variáveis	Colhedora	Conjunto Trator-Transbordo	Total Geral (Colhedora+ Trator-transbordo)	
<b>Custo Horário Fixo</b>	Custo Fixo Anual (% ao ano)	19,08	10,63	
	Custo Fixo Horário (R\$ h <sup>-1</sup> )	79,50	106,30	
	Custo Mão-de-Obra (R\$ h <sup>-1</sup> )	16,48	32,95	
	<b>Total (R\$ h<sup>-1</sup>) (A)</b>	<b>95,98</b>	<b>139,25</b>	<b>235,23</b>
<b>Custo Horário Variável</b>	Custo Combustível (R\$ h <sup>-1</sup> )	120,00	72,00	
	Custo Reparos e Manutenção (R\$ h <sup>-1</sup> )	70,83	90,00	
	<b>Total (R\$ h<sup>-1</sup>) (B)</b>	<b>190,83</b>	<b>162,00</b>	<b>352,83</b>
<b>Custo Horário Total</b>	<b>Total Geral (R\$ h<sup>-1</sup>) (A)+(B)</b>	<b>286,81</b>	<b>301,25</b>	<b>588,06</b>

Após a definição do custo horário das máquinas, as fileiras de referência utilizadas pela colhedora de cana-de-açúcar nos glebas em estudo foram classificadas pelo comprimento das fileiras, gerando cinco classes com intervalos de 200 m, conforme demonstrado na Figura 1.

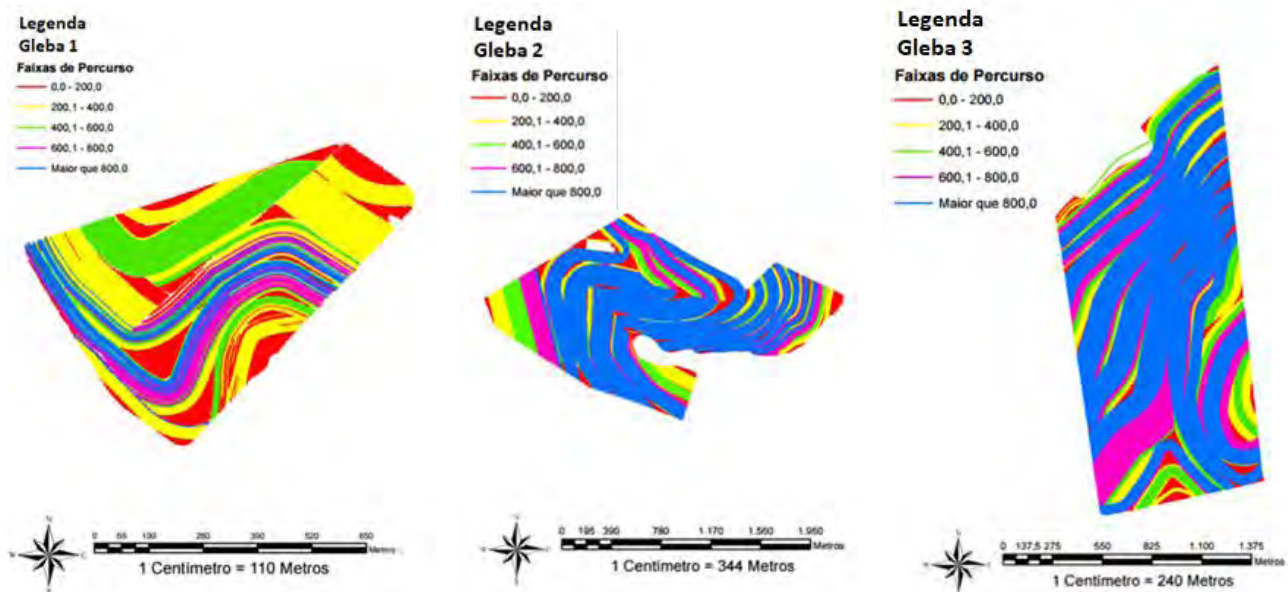


Figura 1 Glebas em estudo com a classificação pelo comprimento das fileiras de cana-de-açúcar

Como pode-se observar na Figura 1 existe uma diversidade no comprimento das fileiras de uma mesma gleba. Isso interfere diretamente no custo final, inferior conforme os comprimentos das fileiras aumentam (Tabela 5).

As menores faixas de percurso representam custos mais elevados do que setores onde as faixas de percurso são maiores. As médias mostram que nas glebas 2 e 3 mais de 60% das fileiras encontram-se nas maiores faixas de percurso, o que resulta em um custo total menor na gleba, diferente da gleba 1, onde 82,6% das fileiras são inferiores a 600 m, tornando o custo operacional superior.

Tabela 5. Parâmetros por setor das faixas de percurso para as glebas em estudo.

<b>Gleba 1</b>							
<b>Faixas de Percurso</b>	<b>Quantidade de Fileiras</b>	<b>%</b>	<b>Média Linear (m)</b>	<b>Total Linear</b>	<b>%</b>	<b>Custo R\$ t<sup>-1</sup></b>	<b>Média Linear Ponderada (m)</b>
<b>0,0 a 200,0</b>	279	48,5	87,99	24.549,71	17,2	16,27	15,17
<b>201,0 a 400,0</b>	196	34,1	270,78	53.073,14	37,3	10,69	100,96
<b>401,0 a 600,0</b>	59	10,3	534,05	31.509,11	22,1	9,36	118,21
<b>601,0 a 800,0</b>	21	3,7	662,52	13.913,09	9,8	9,06	64,75
<b>Maior que 800,0</b>	20	3,5	965,21	19.304,30	13,6	8,73	130,89
<b>Quadro Geral</b>	<b>575</b>	<b>100,0</b>	<b>247,56</b>	<b>142.349,35</b>	<b>100,0</b>	<b>10,95</b>	<b>429,99</b>
<b>Gleba 2</b>							
<b>Faixas de Percurso</b>	<b>Quantidade de Fileiras</b>	<b>%</b>	<b>Média Linear (m)</b>	<b>Total Linear</b>	<b>%</b>	<b>Custo R\$ t<sup>-1</sup></b>	<b>Média Linear Ponderada (m)</b>
<b>0,0 a 200,0</b>	549	34,2	90,63	49.759,00	6,0	16,04	5,42
<b>201,0 a 400,0</b>	266	16,6	289,16	76.915,70	9,2	10,53	26,71
<b>401,0 a 600,0</b>	175	10,9	490,55	85.846,90	10,3	9,49	50,58
<b>601,0 a 800,0</b>	153	9,5	711,85	108.912,50	13,1	9,03	93,11
<b>Maior que 800,0</b>	463	28,8	1104,10	511.197,60	61,4	8,67	677,87
<b>Quadro Geral</b>	<b>1606</b>	<b>100,0</b>	<b>518,45</b>	<b>832.631,70</b>	<b>100,0</b>	<b>9,42</b>	<b>853,69</b>
<b>Gleba 3</b>							
<b>Faixas de Percurso</b>	<b>Quantidade de Fileiras</b>	<b>%</b>	<b>Média Linear (m)</b>	<b>Total Linear</b>	<b>%</b>	<b>Custo R\$ t<sup>-1</sup></b>	<b>Média Linear Ponderada (m)</b>
<b>0,0 a 200,0</b>	360	29,6	82,57	29.725,00	4,1	16,82	3,37
<b>201,0 a 400,0</b>	192	15,8	302,47	58.074,80	8,0	10,41	24,12
<b>401,0 a 600,0</b>	143	11,7	482,88	69.052,60	9,5	9,51	45,78
<b>601,0 a 800,0</b>	177	14,5	675,23	119.516,40	16,4	9,09	110,79
<b>Maior que 800,0</b>	346	28,4	1306,43	452.024,50	62,1	8,57	810,74
<b>Quadro Geral</b>	<b>1218</b>	<b>100,0</b>	<b>598,02</b>	<b>728.393,50</b>	<b>100,0</b>	<b>9,23</b>	<b>994,80</b>

A Figura 2 demonstra que na gleba3, mais de 60% das fileiras de percurso, estão na maior faixa (maior que 800 m), com o menor custo médio, cerca de 8,57 R\$ t<sup>-1</sup>, trazendo a média ponderada do comprimento das fileiras para 994,80 m, índice alto se comparado com a média linear que ficou apenas com 598,02 m, fazendo com que a gleba apresente menor custo total. Isso ocorre também com a gleba 2 como mostra a Figura 3.



Figura 2. Custo operacional e percentual do total linear das faixas de percurso na Gleba 3



Figura 3. Custo operacional e percentual do total linear das faixas de percurso na Gleba 2.

A situação se altera quando as fileiras de plantio não são bem planejadas e a média do comprimento das fileiras fica menor. Isso se evidencia na gleba 1, onde 13% das fileiras estão no grupo de maior comprimento, o que faz com que a média do custo operacional fique próxima de 11 R\$ t<sup>-1</sup>. Isso representa fileiras menores que resultam em maior número de manobras, que reduz a eficiência e aumenta o custo operacional (R\$ t<sup>-1</sup>) (Figura 4).



Figura 4. Custo operacional e percentual do total linear das faixas de percurso na Gleba 1.

Isso demonstra, que mesmo para as glebas onde são necessários alguns arremates e fileiras de baixo comprimento, é possível praticar um custo operacional menor no processo de colheita, desde que a representatividade das fileiras mais longas no quesito comprimento seja alta, elevando a sua média, fazendo com que o custo operacional diminua.

A Figura 5 mostra o custo operacional (R\$ t<sup>-1</sup>) da colheita das três glebas do estudo de caso em relação à média ponderada dos metros lineares de percurso de cada área. Observa-se que existe correlação negativa entre o comprimento médio das fileiras e o custo operacional, já que a redução do número de manobras por unidade de área e o aumento da eficiência operacional em função da sistematização e implantação de fileiras de percurso mais longas, resulta em redução no custo final.

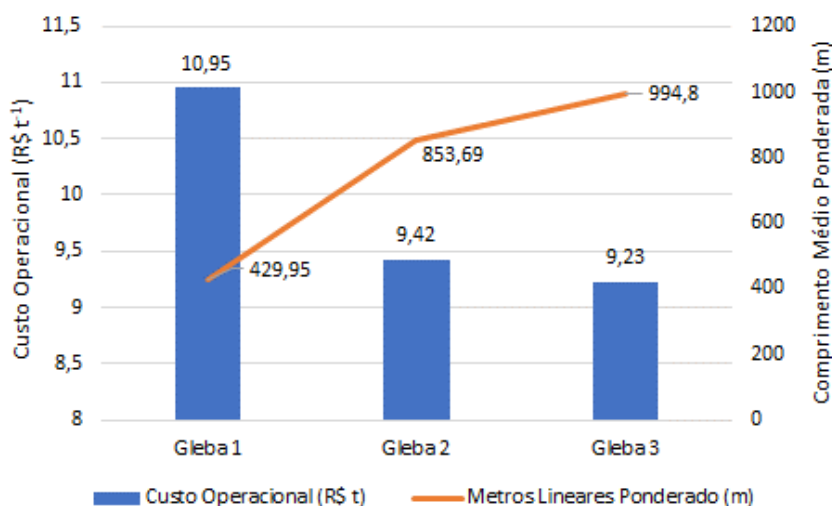


Figura 5. Relação do custo operacional da colheita de cana-de-açúcar (R\$ t<sup>-1</sup>) em função da média ponderada dos metros lineares de percurso das glebas

Elaborou-se na Figura 6 o impacto no custo operacional em relação à variação de 10% do tempo unitário de manobras da colhedora (90s), tanto superior (99s) quanto inferior (81s), para as glebas em estudo.



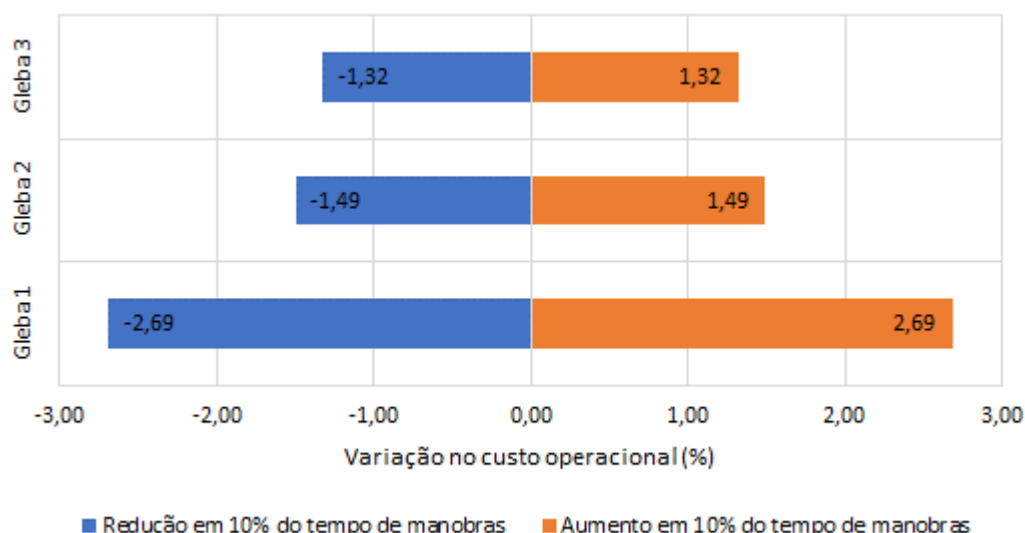


Figura 6. Variação, em percentual, do custo operacional em função da variação do tempo unitário de manobras para as glebas em estudo

Verifica-se na Figura 6 que na gleba 1, que possui o menor comprimento médio de fileiras, apresenta o maior impacto no custo operacional em relação à variação do tempo unitário das manobras, em que uma oscilação de 10% do tempo de manobras acarreta em uma variação de 2,69% do custo operacional da gleba. De acordo com os resultados obtidos e seguindo os resultados mostrados por Branquinho (2015) e Elgelmann (2016), a sistematização do canavial é imprescindível para otimizar o uso das máquinas no processo de colheita, refletindo diretamente nos custos operacionais.

## CONCLUSÃO

Para as condições do estudo, verificou-se que existe correlação negativa entre o comprimento médio das fileiras e o custo operacional. As glebas em que as fileiras maiores que 800 m representavam mais de 60% do comprimento total, resultaram em custo operacional médio inferior em relação à gleba onde essa classe de comprimento de fileiras representava 13,6% da área total. A gleba que possui menor comprimento de fileiras apresentou maior impacto no custo operacional quando ocorre a variação no tempo de manobras.

## REFERÊNCIAS

- BELARDO, G. C.; ROSA, J. H. M.; MAGALHÃES, P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na Cultura da Cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**, SBEA, 1ª ed, p. 340, 2015.
- BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. Sistematização de área para colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, v. 5, n. 53, p. 23-25, 2008.
- BRANQUINHO, A. Manejo dos Solos na Cana-de-Açúcar como Subsídio à Mecanização. In: BELARDO, G. C. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**, SBEA, 1ª ed, p. 105, 2015.
- ELGELMANN, G. **Análise operacional dos trajetos de plantio de cana de açúcar**. Pompeia, 2016. Faculdade de Tecnologia “Fatec Pompeia”. p.1-18.
- LIONÇO, E; BRESSAN, J; SILVA, C. M. Sistematização da área para implantação da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Campo Digital**, v. 5, n. 1, p. 20-25, 2010.
- MILAN, M; ROSA, J.H.M. Aspectos Relevantes e Uso de Modelagem para o CTT. In: BELARDO, G. C. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**, SBEA, 1ª ed, p. 415, 2015.
- MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p.409-436.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017.
- SPEKKEN, M.; BRUIN, S. Optimized routing on agricultural fields by minimizing maneuvering and servicing time. **Precision Agriculture** 14, New York, Springer, 2013. p. 224–244.

TORQUATO, S. A.; JESUS, K. R. E.; ZORZO, C. R. B. Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do Protocolo Agroambiental para a região de Piracicaba, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v. 45, n. 2, mar./abr. 2015.

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM ALGODÃO

**EDER EUJACIO DA SILVA<sup>1</sup>, DANILO C. NEVES<sup>2</sup>, RENATO S. JUNIOR<sup>3</sup>, PAULO E. TEODORO<sup>4</sup>,  
FÁBIO H. R. BAIO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 996424588, e.eujacio@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal, AI-Agricultura Inteligente, Chapadão do Céu – GO

<sup>3</sup> Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O sensoriamento remoto é uma ferramenta que pode auxiliar na estimativa de produção do algodoeiro quando utilizamos índices de vegetação para acompanhar o desenvolvimento da cultura. O campo experimental foi conduzido em uma lavoura de algodoeiro no município de Chapadão do Céu – GO, com a cultivar FM 975WS, semeada em segunda safra no mês de janeiro. Para obtenção do índice de vegetação, foi utilizado o sensor N-sensor®, posicionado sobre um pulverizador autopropelido 4730, com distância entre passadas de 30 m. Foram alocados 30 pontos aleatórios para obtenção das variáveis fenológicas: altura de plantas, número de botões florais e capulhos assim como os valores de índice de vegetação IV lnRed-edge e a produtividade. Para interpretação dos resultados, foi confeccionada rede de correlações mostrando a interferência do IV lnRed-edge e das variáveis fenológicas sobre a produtividade e uma árvore de decisão para a estimativa da produtividade a partir das variáveis mais significativas. As principais variáveis que podem ser utilizadas para prever a produtividade de algodão em caroço são o número de botões florais aos 107 dias após a emergência e o índice de vegetação lnRed-edge mensurado aos 53 e 91 dias após a emergência. Para estimar as maiores produtividades de algodão em caroço é necessário valores de índice de vegetação lnRed-edge superior a 39 aos 53 dias após a emergência e no mínimo 14 botões florais aos 107 dias após a emergência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede de correlações, árvore de decisão, *Gossypium hirsutum*.

### VEGETATION RATES IN THE COTTON PRODUCTIVITY ESTIMATE

**ABSTRACT:** Remote sensing is a tool that can help in the estimation of cotton production when we use vegetation indices to follow the development of the crop. The experimental field was conducted in a cotton crop in the municipality of Chapadão do Céu - GO, with the cultivar FM 975WS, sown in the second crop in January. To obtain the vegetation index, the N-sensor® sensor was used, positioned on a self-propelled spray 4730, with distance between passes of 30 m. 30 random points were allocated to obtain the phenological variables: plant height, number of flower buds and cotton bolls as well as values of lnRed-edge vegetation index and yield. For the interpretation of the results, a network of correlations was made showing the interference of lnRed-edge VI and phenological variables on productivity and a decision tree for estimating productivity from the most significant variables. The main variables that can be used to predict cotton seed yield are the number of flower buds at 107 days after emergence and the lnRed-edge vegetation index measured at 53 and 91 days after emergence. In order to estimate the highest yields of cotton seed, lnRed-edge vegetation index values higher than 39 at 53 days after emergence and at least 14 flower buds at 107 days after emergence.

**KEYWORDS:** Network of correlations, decision tree, *Gossypium hirsutum*.

### INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch.) produz uma das mais importantes fibras têxteis do mundo, sendo uma das principais culturas de importância econômica no Brasil (CARVALHO et al., 2015). O cultivo do algodão no cerrado brasileiro segundo o IMEA (2018), possui alto custo de produção. Por isso, para uma produção economicamente viável, deve-se empregar técnicas que visem minimizar custos

e maximizar o monitoramento contínuo da lavoura como é o caso da agricultura de precisão (AP), que auxilia no conhecimento da variabilidade dos diferentes fatores que influenciam diretamente na produção (SANA et al., 2014).

O monitoramento da dinâmica da vegetação de superfície terrestre utilizando técnicas de sensoriamento remoto, pode ter grande importância para as atividades agrícolas. Atualmente, as culturas são estudadas principalmente por meio da análise de seus dados biofísicos para os parâmetros agrônômicos (SOUZA et al., 2017). Técnicas de sensoriamento remoto, bem como o uso de índices de vegetação (VI) de sensores ópticos multiespectrais, correlacionam-se adequadamente com vários atributos de crescimento das plantas, como biomassa vegetal e nitrogênio foliar (PORTZ et al., 2012; AMARAL et al., 2015). Isso permite a sua aplicação racionalizada e melhora a eficiência dos insumos agroquímicos, diminui custos e aumenta a produtividade das culturas (SALVADOR & ANTUNIASSI, 2011; AMARAL et al., 2015).

Esse trabalho foi conduzido com objetivo de investigar a contribuição de variáveis fenológicas em função do IV InRed-edge por meio da rede de correlações sobre a produtividade de algodão em caroço e gerar um modelo via árvores de decisão que auxilie na predição da produtividade de algodão em caroço.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um talhão de 92 ha na Fazenda Amambaí em Chapadão do Céu-GO, no ano agrícola 2014/15. As coordenadas geográficas aproximadas correspondentes são: 52°37'17.79"O e 18°21'21.40"S. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa 2013). A precipitação anual média é de 2.196 mm e temperatura média de 22,5°C, respectivamente. O clima da região é caracterizado de acordo com a classificação Köppen, como clima tropical com estação seca no inverno. Sua altitude média é de 815 m, com relevo predominantemente suave.

A semeadura foi realizada no dia 10 de janeiro de 2015 em segundo cultivo. O cultivar utilizado foi FM 975WS com espaçamento entre linha de 0,80 m e uma população de cem mil plantas por hectare. A adubação realizada foi de 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, 81 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura, 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado a lanço e 22 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Os pontos amostrais foram distribuídos aleatoriamente sobre o talhão de algodoeiro aos 23 DAE (dias após emergência), correspondente ao estágio fenológico V5. A navegação até os pontos amostrais foi possível com a utilização do GNSS Trimble Nomad (Sunnyvale, EUA), utilizando o programa de amostragem a campo Farm Works Mobile da mesma empresa. Em cada ponto amostral foram mensurados os índices fenológicos de cinco plantas demarcadas com fita de forma a representar a variabilidade local pela sua média: altura de plantas (AP) aos 26, 39, 51, 68, 82, 107, 128 e 185 DAE, número de botões florais aos 68, 81, 107, 128 e 185 DAE, número de capulhos aos 185 DAE, índice de vegetação InRed-edge (IV RE) expresso pela Equação 1, aos 23, 35, 53, 91 e 168 DAE e produtividade de algodão em caroço. A AP de cada ponto foi medida no caule principal entre a superfície do solo até o ponto de inserção da última folha totalmente expandida.

$$IV RE = (\ln\rho760 - \ln\rho730) * 100 \quad (1)$$

em que:  $\ln\rho760$ ,  $\ln$  de 760nm e  $\ln\rho730$ ,  $\ln$  de 730nm (BAIO et al., 2018).

O sensor multiespectral ativo utilizado para a coleta de dados do IV foi o N-Sensor® ALS (Yara International ASA, Duermen, Alemanha). O N-Sensor foi montado no topo da cabine de um pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730 (Catalão, Brasil), a altura de 3,10 m do solo. As passadas ocorreram em uma largura de 30 m.

A colheita foi realizada pela colhedora de algodão modelo John Deere 7760 (DesMoines, EUA), sendo determinada a variabilidade da produtividade na área por meio de um sistema de monitoramento de colheita GreenStar Harvest Doc da mesma empresa. Os dados brutos das produtividades pontuais foram filtrados com base em sua variância, sendo determinados os limites de corte superior e inferior de acordo com metodologia sugerida por Tukey (1977). Após a interpolação pela metodologia da krigagem ordinária, a informação da produtividade pontual correlacionada com os outros componentes foi obtida pela média dos pontos obtidos em um raio de 10 m do ponto amostral de controle.

Devido ao grande número de variáveis em cada classe, foi utilizada a rede de correlações para expressar graficamente os resultados, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das bordas foi controlada pela estimativa das correlações, onde correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho. Essa análise foi realizada com programa livre RBio (BHERING 2017). Por fim, variáveis foram utilizadas para gerar um algoritmo de árvore de decisão considerando a variável PROD como dependente. Nesse processo, 80% dos dados foram utilizados para treinamento do algoritmo e 20% para validação. A precisão do modelo foi avaliada pela correlação entre os valores estimados e observados em cada etapa. Essas análises foram realizadas com software Genes (CRUZ, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações lineares entre as variáveis fenológicas do algodoeiro com a produtividade (PROD) estão representadas na Figura 1, onde as maiores correlações positivas apresentam traços verdes mais espessos e as correlações negativas apresentam traço em vermelho. A variável fenológica das plantas de algodoeiro que apresentou maior correlação com a produtividade foi botões florais aos 107 DAE, com  $r$  de 0,45.

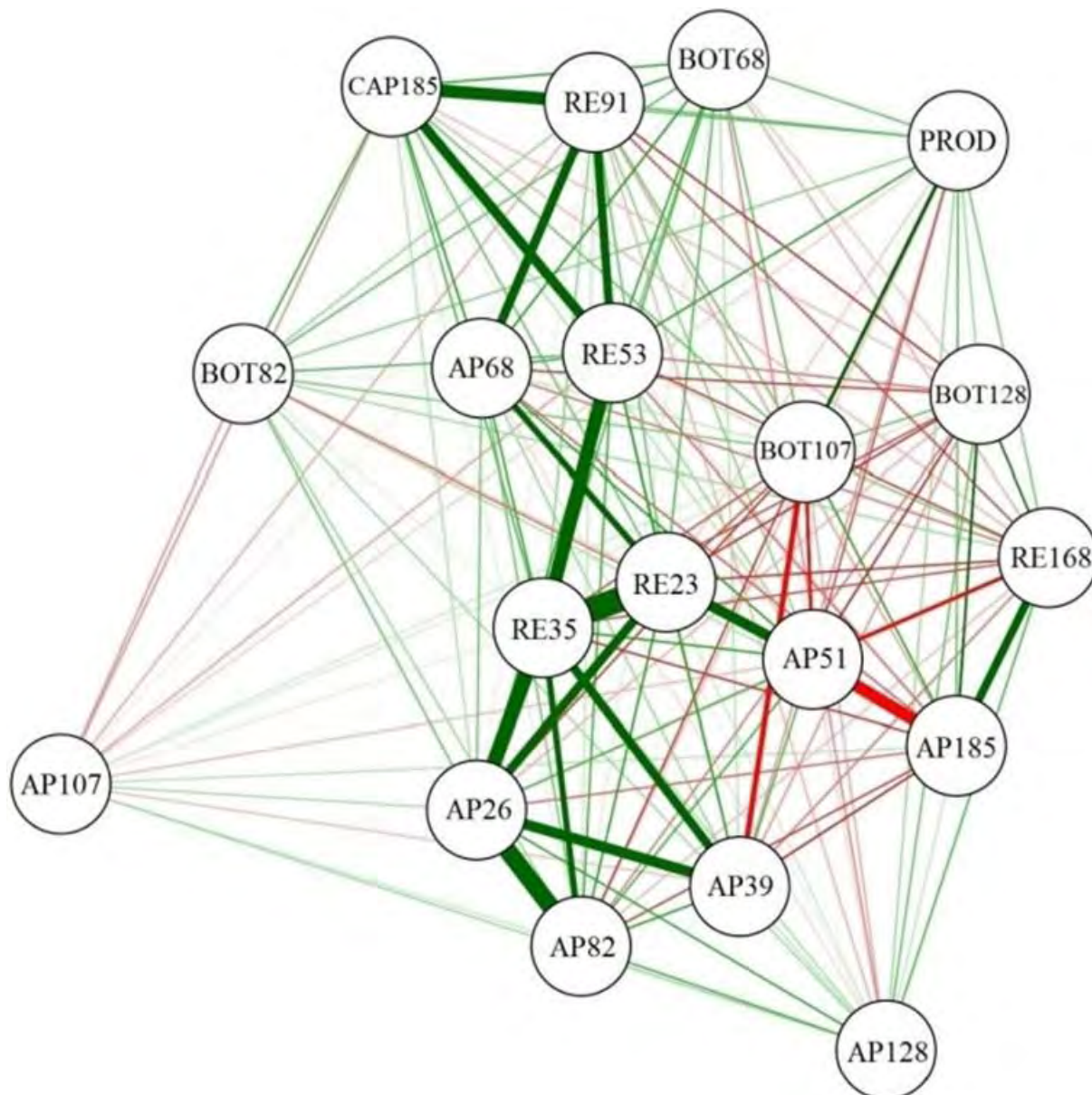


FIGURA 1. Rede de correlações de Pearson entre as variáveis fenológicas e a produtividade (PROD).

\*\*PROD: produtividade; AP\_AAA: altura das plantas aos AAADAE; BOT\_BBB: número de botões florais aos BBBDAE; CAP185: número de capulho aos 185DAE; RE\_DDD: índice de vegetação aos DDDDAE.

De forma geral, o índice de vegetação mensurado em diferentes estádios fenológicos do algodoeiro esteve inter-correlacionado com a altura de planta nos estádios iniciais. Isso ocorre, pois, o crescimento vegetativo da cultura produz muita massa vegetal proveniente do incremento de ramos e folhas, cobrindo o solo e apresentando valores de IV crescentes. Souza et al. (2017) avaliaram a correlação de IV com índices fenológicos em algodão e observaram valores acima de 80% de similaridade para altura de plantas e acima de 70% para o número de ramos por planta. Motomiya et al. (2014) observaram o comportamento da interação de doses de regulador de crescimento, adubação nitrogenada de cobertura e IV, onde apresentam valores de IV crescentes nos estágios iniciais da cultura do algodoeiro até os 67 DAE, após essa avaliação os valores de IV observados se mantiveram estáveis devido a saturação do IV.

Também é importante destacar a facilidade com que as correlações lineares podem ser interpretadas com a utilização da técnica gráfica de rede de correlações. A eficiência desta técnica inovadora já foi comprovada em outras pesquisas que avaliaram um grande número de variáveis (URSEM et al., 2008; DILEO et al., 2011; SILVA et al., 2016). Assim, apesar de importante, o coeficiente de correlação de Pearson pode produzir equívocos a respeito da relação que há entre duas variáveis, podendo não ser uma medida real de causa e efeito. Um alto ou baixo coeficiente de correlação entre duas variáveis pode ser o resultado do efeito que uma terceira variável ou um grupo de variáveis têm sobre o par, não dando a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (CRUZ et al., 2012). Portanto, as principais variáveis que podem ser utilizadas para prever a PROD foram BOT107, lnRE53 e lnRE91, pois possuem efeito direto alto e no mesmo sentido de sua correlação com a variável dependente principal.

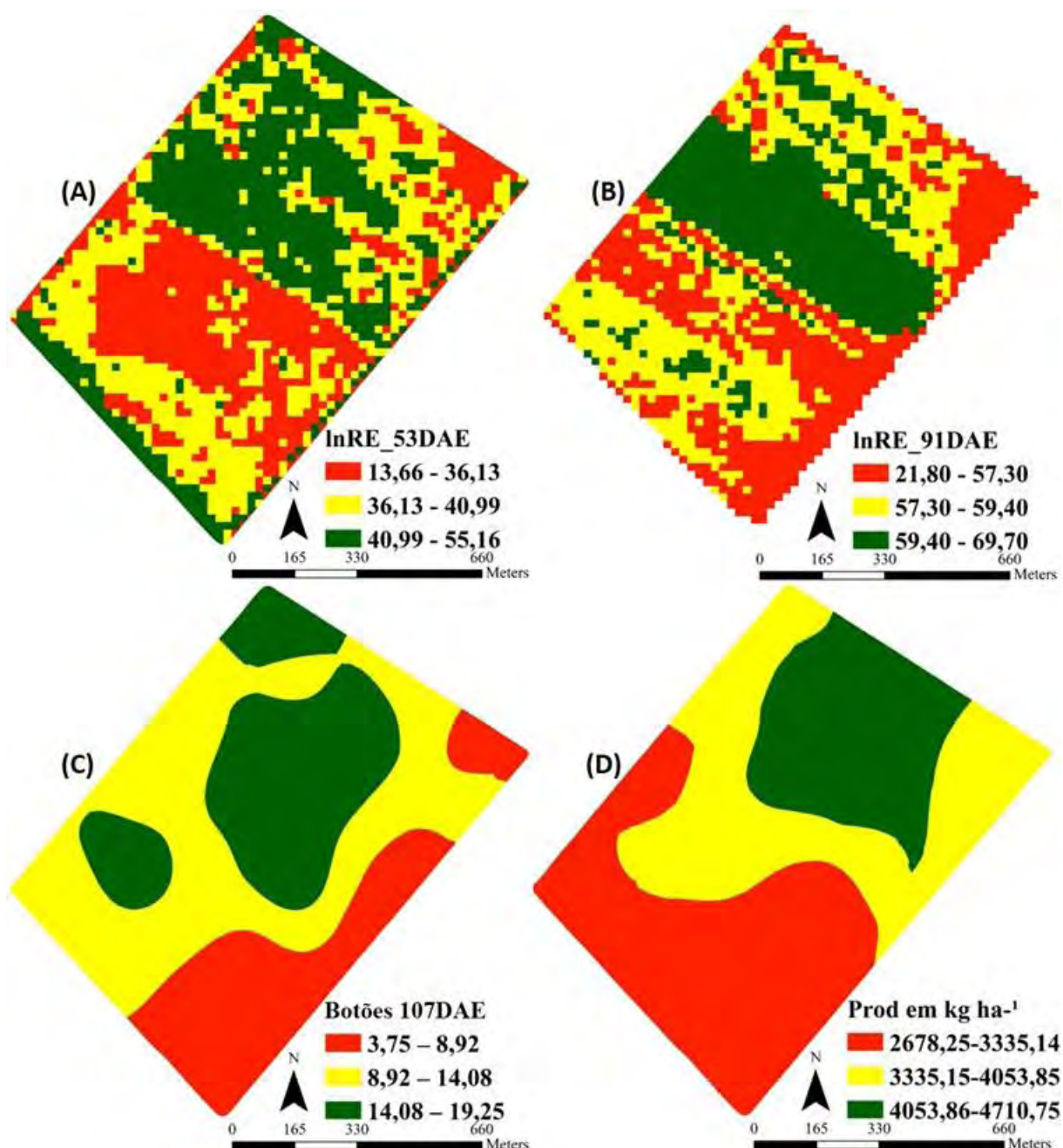


FIGURA 2. Mapas de lnRE aos 53DAE (A), lnRE aos 91DAE (B), Botões Florais aos 107DAE (C) e Produtividade (D).

A representatividade dos IV's pode ser explicada pela relação entre a máxima produção de folhas e ramos além da alta atividade fotossintética para a produção de frutos no lnRE53 e pela máxima carga reprodutiva no lnRE91, onde a cultura apresentou o seu máximo potencial produtivo antes de iniciar a maturação dos frutos. Quando se leva em conta os BOT107, tem-se que esses botões florais já não mais serão

abortados. Sendo assim, a produção da planta estará garantida pelo número de botões presentes aos 107 DAE para essa cultivar nas condições em que o experimento foi conduzido.

Os mapas apresentados mostram as variáveis que mais influenciaram na produtividade do algodoeiro. É possível observar que as áreas com a cor verde tanto nos mapas de IV (Figura 2A e B) assim como no mapa de botões florais aos 107 DAE (Figura 2C), apresentaram os maiores valores durante as avaliações, isso resultou em altas produtividades, apresentadas na Figura 2D. Essa observação ajuda na explicação da interação dessas variáveis com a predição da produtividade do campo experimental, como descrito pela árvore de decisão na Figura 3.

Após a seleção das variáveis que possuem relação de causa e efeito (BOT107, lnRE53 e lnRE91) sobre a PROD, foi construída uma árvore de regressão considerando a PROD como variável dependente principal (Figura 3). Essa técnica permite reconhecer padrões complexos para estimar uma variável dependente principal com distribuição contínua (PROD neste estudo). O uso dessa técnica para prever a produtividade de algodão em caroço até o presente momento é inédito.

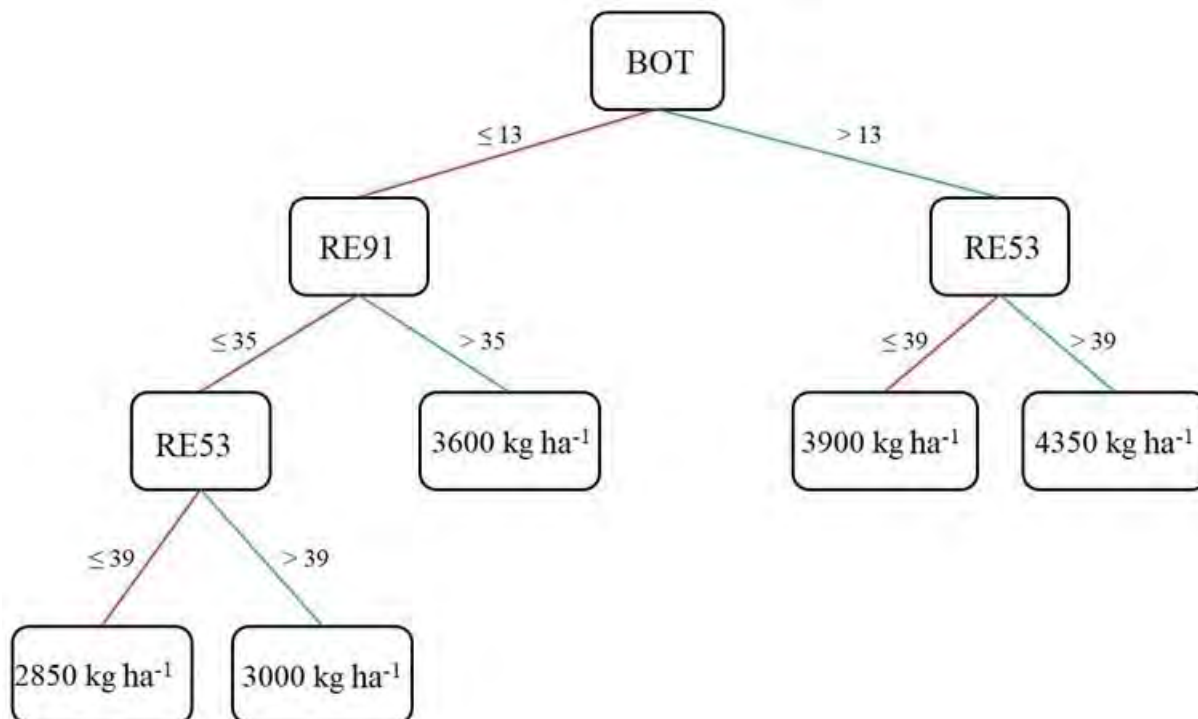


FIGURA 3. Árvore de decisão gerada com as variáveis BOT, lnRE53 e lnRE91.

Nesse estudo, o número de nós utilizados foi igual a quatro e proporcionou uma correlação entre os valores estimados e os observados para a variável PROD de 0,72 na etapa de treinamento (80% dos dados) e 0,73 na etapa de validação (20% dos dados). É possível verificar na Figura 3 que, para obter as maiores produtividades, o número de botões florais (BOT) aos 107 DAE precisa ser superior a 13 e o índice de vegetação lnRE aos 53 DAE deve ser superior a 39. Caso a estimativa desse índice seja inferior a 39, o cotonicultor precisa garantir um alto número de BOT para alcançar a 3900 kg ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, o índice de vegetação lnRE53 apresenta-se como um limiar para guiar as estimativas de produtividade na lavoura.

## CONCLUSÃO

As principais variáveis que podem ser utilizadas para prever a produtividade de algodão em caroço são o número de botões florais aos 107 dias após a emergência e o índice de vegetação lnRed-edge mensurado aos 53 e 91 dias após a emergência. Para obter as maiores produtividades de algodão em caroço é necessário índice de vegetação lnRed-edge superior a 39 aos 53 dias após a emergência e no mínimo 14 botões florais aos 107 dias após a emergência.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R., MOLIN, J. P., PORTZ, G., FINAZZI, F. B., CORTINOVE, L. Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 15-28, 2015.
- BAIO, F. H. R., SILVA, E. E., VRECH, M. A., SOUZA, F. H. Q., ZANIN, A. R., TEODORO, P. E. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 1-6, 2018.
- BHERING, L. L. R. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, 187-190, 2017.
- CARVALHO, L. P.; FARIAS, F. J. C.; MORELLO, C. L.; RODRIGUES, J. I. S.; TEODORO, P. E. Agronomic and technical fibers traits in elite genotypes of cotton herbaceous. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 4882-4887, 2015.
- CRUZ CD; REGAZZI AJ. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. 2012. 480 p.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, p.271-276, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251/pdf>>.
- DILEO, M.V.; STRAHAN, G.D., BAKKER, M. den; HOEKENGA, O.A. Weighted correlation network analysis (WGCNA) applied to the tomato fruit metabolome. **PLoS ONE**, v.6, e26683, 2011.
- IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária, **Custo de Produção de Algodão 2017/2018**, Disponível em <<http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/20012017125427.pdf>>. Acesso em: 02 de abril de 2018.
- MOTOMIYA, A. V. A; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina – PR, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014.
- PORTZ, G., MOLIN, J. P., JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 33-44, 2012.
- SALVADOR, A, ANTUNIASSI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 01-19, 2011.
- SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 994-1002, 2014.
- SILVA, A. R.; RÊGO, E. R.; PESSOA, A. M. S.; RÊGO, M. M. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.4, p.372-377, 2016.
- SOUZA, H. B., BAIO, F. H. R., NEVES, D. C. Using passive and active multispectral sensors on the correlation with the phenological indices of cotton. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 782-789, 2017.
- Tukey, J.W. **Exploratory data analysis**. 1.ed. Addison-Wesley: Massachusetts. 1977.
- URSEM, R.; TIKUNOV, Y.; BOVY, A.; BERLOO, R. van; EEUWIJK, F. van. A correlation network approach to metabolic data analysis for tomato fruits. **Euphytica**, v.161, p.181-193, 2008.



## **ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM TRIGO**

**CHRISTIAN BREDEMEIER<sup>1</sup>, ANDRÉ L. VIAN<sup>1</sup>, JOÃO L. F. PIRES<sup>2</sup>, CAROLINA TRENTIN<sup>3</sup>, MAICON A. DRUM<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Plantas de Lavoura, UFRGS, Porto Alegre – RS, Fone: (55) 999002542, [cbredemeier@gmail.com](mailto:cbredemeier@gmail.com); [andre.vian@ufrgs.br](mailto:andre.vian@ufrgs.br)

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo – RS.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Mestranda do PPG-Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre – RS.

<sup>4</sup> Acadêmico do curso de agronomia, UFRGS, Porto Alegre – RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** As quantidades de biomassa e de nitrogênio (N) acumulado na parte aérea da cultura do trigo podem auxiliar na quantificação da dose de N necessária em cobertura e em tempo real. Assim, objetivou-se validar modelos matemáticos para utilizar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na estimativa da demanda nutricional e avaliar o uso do NDVI na determinação da dose de N a ser aplicada em cobertura e em tempo real. O experimento foi conduzido em campo e os tratamentos constaram de doses de N aplicadas na base (emergência) e em cobertura. Foram avaliados o NDVI, a biomassa e a quantidade de N acumulada no estágio de seis folhas expandidas e o rendimento de grãos, sendo determinada a dose de máxima eficiência técnica de N em cobertura (DMET). O NDVI apresenta associação significativa com a biomassa e quantidade de N acumulada, sendo validados modelos para as relações entre estas variáveis. A DMET relacionou-se negativamente com o valor de NDVI avaliado no momento da aplicação de nitrogênio em cobertura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor de vegetação, taxa variável, Greenseeker.

### **NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) AS TOOL TO NITROGEN FERTILIZATION MANAGEMENT IN WHEAT**

**ABSTRACT:** The amounts of biomass and nitrogen (N) accumulated in the aerial part in wheat crop can in the quantification of the required N rate in topdressing and real time. The objective of this study was to validate mathematical models to use the Normalized difference vegetation index (NDVI) to estimating demand and to evaluate the use of NDVI for determining in topdressing N rates in real time. Field experiments were carried out in two years and treatments consisted of different N rates applied at plant emergence and topdressing. NDVI, biomass and amount of N accumulated in 6th-leaf stage and grain yield were evaluated, being determined the topdressing N rate of maximum technical efficiency (MTER). NDVI was positively correlated to biomass and N uptake. The NDVI has a significant association with the biomass and N uptake were validated models for the relationships between these variables. The MTER was negatively correlated with NDVI values measured at the moment of N topdressing.

**KEYWORDS:** Vegetation sensor, variable rate, Greenseeker.

### **INTRODUÇÃO**

A adequada disponibilidade de nitrogênio (N) em trigo é essencial para obtenção de elevado potencial produtivo, pois influencia o número de afilhos emitidos e sobreviventes, o número de grãos por espiga e o peso e teor de proteína dos grãos (Mantai et al., 2016). Bredemeier et al. (2016) definiram o estágio de seis folhas completamente expandidas do colmo principal como o momento ideal para aplicação de N em cobertura em trigo, sendo a definição da dose baseada no teor de matéria orgânica do solo, cultura antecessora e expectativa de rendimento de grãos (Reunião, 2017). A utilização destes parâmetros é simples, porém incompleta, já que o N é um elemento dinâmico no solo e sofre diversos processos que modificam sua forma, como mineralização,

imobilização e desnitrificação. Além disso, a absorção de N pela cultura é variável entre anos e entre locais dentro de uma mesma lavoura (Chavarria et al., 2015). Por isso, a aplicação de dose uniforme de N na lavoura, sem levar em consideração as diferenças espaciais no suprimento deste nutriente pelo solo, resulta em menor eficiência de uso de N (Inman et al., 2005). Os agricultores tendem a aplicar nitrogênio em quantidade suficiente, a taxas uniformes, para atender às necessidades da cultura nas áreas mais exigentes no campo, resultando em maior risco de perda de N nas áreas que necessitam menores quantidades deste nutriente (Basso et al., 2011).

O emprego de outras variáveis na recomendação da adubação nitrogenada, como a produção de biomassa e a quantidade de N acumulada na parte aérea, é limitado, em função da demora no procedimento de avaliação e por exigirem análise laboratorial, apesar de estas variáveis serem indicadoras eficientes da resposta ao N em cobertura (Bredemeier et al., 2016). Em contraste, a avaliação da reflectância do dossel pode estimar o estado nutricional das plantas em relação ao N, avaliando sua variabilidade espacial em uma lavoura (Singh et al., 2017). Os sensores ópticos de reflectância montados em máquinas agrícolas, tais como Greenseeker<sup>®</sup>, N-Sensor<sup>®</sup> e Crop Circle<sup>®</sup>, permitem a realização de leituras de reflectância em tempo real e com elevada resolução espacial, permitindo a adubação nitrogenada em taxa variável (Mahajan et al., 2014). Raun et al. (2002) mostraram que a utilização do sensor Greenseeker<sup>®</sup> na recomendação de adubação nitrogenada em trigo resultou em 15% de aumento na eficiência de uso do N. Entretanto, o emprego destes sensores como ferramenta no manejo de N passa pelo desenvolvimento de algoritmos que estimem a dose de N a ser aplicada em taxa variável.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelo para estimativa da quantidade de biomassa e nitrogênio acumulado na parte aérea e definir a dose de máxima eficiência técnica de N (DMET) em cobertura na cultura do trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas, utilizando o NDVI medido por sensor ativo de vegetação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo na safra de 2014 na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Eldorado do Sul, RS), em Argissolo vermelho distrófico típico com as seguintes características físico-químicas: argila=250mg g<sup>-1</sup>; pH<sub>água</sub>=5,2; P=42mg dm<sup>-3</sup>; K=202mg dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica=18mg g<sup>-1</sup>. O clima da região é classificado como Cfa (subtropical, de verão úmido e quente).

Os tratamentos consistiram de diferentes doses de N aplicadas na emergência das plantas (base) (0, 20, 40 e 60 kg ha<sup>-1</sup>) e em cobertura (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de ureia, no estágio de seis folhas expandidas do colmo principal. Para o desenvolvimento do experimento à campo foram utilizadas duas cultivares de trigo de duas empresas obtentoras, sendo as cultivares Quartzo (uma cultivar mais antiga de mercado e amplamente cultivada no RS) e TBIO Sintonia (uma cultivar mais nova), sendo ambas recomendadas para cultivo na região homogênea de adaptação de cultivares 2. A semeadura sobre resteva de milho foi realizada em 10 de julho de 2014, na densidade de 330 sementes aptas m<sup>-2</sup>. O experimento foi conduzido no delineamento experimental em parcelas subdivididas, com quatro repetições, em que os fatores dose de N na base (emergência) e em cobertura foram locados, respectivamente, na parcela principal e na subparcela. Cada parcela foi composta de 10 linhas de 3,5m de comprimento, espaçadas em 0,18 m, perfazendo 6,3 m<sup>2</sup>. A adubação na semeadura foi de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme recomendação da pesquisa para o trigo (Reunião, 2017).

No estágio de seis folhas expandidas, foi avaliado o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), dado pela relação:  $\rho_{IVP} - \rho_V / \rho_{IVP} + \rho_V$ , onde  $\rho_{IVP}$  e  $\rho_V$  são as reflectâncias no infravermelho próximo (780 nm) e no vermelho (670 nm), respectivamente, utilizando o sensor Greenseeker<sup>®</sup> (Comercializado pela Trimble). O equipamento foi posicionado a 1,0 m acima do dossel, sendo as leituras realizadas em toda extensão da parcela, totalizando cerca de 50 valores de NDVI em cada unidade experimental. Após, foi realizada amostragem de plantas em área de 0,27 m<sup>2</sup>, sendo quantificada a biomassa da parte aérea, após secagem das amostras a 65°C até peso constante. A quantidade de N acumulada na parte aérea foi obtida pela multiplicação da biomassa da parte aérea pela concentração de N no tecido foliar, a qual foi determinada pelo método semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995), sendo expressa em “kg ha<sup>-1</sup>”. Imediatamente após estas determinações, foi realizada aplicação de N em cobertura, nas doses previamente determinadas para cada subparcela.

Os valores de NDVI foram correlacionados com a biomassa e a quantidade de N acumulada para cada cultivar utilizada. Os critérios utilizados para escolher o melhor ajuste da curva de regressão (linear e quadrática), quando a significância pelo teste F (P=0,05), o maior coeficiente de determinação e a menor soma

de quadrado dos resíduos. Para a comparação entre as regressões ajustadas para cada cultivar, foi determinado o intervalo de confiança ( $P=0,05$ ) de cada regressão (sendo testados os modelos linear e quadrático).

O rendimento de grãos foi avaliado pela colheita de  $4,05 \text{ m}^2$  em cada parcela e pesagem dos grãos, na umidade de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ . A partir do ajuste de curvas de resposta do rendimento de grãos às doses de N em cobertura, para cada dose de N na base, foi calculada a dose de máxima eficiência técnica (DMET) de N em cobertura, a qual é definida como a dose que resulta em máximo rendimento de grãos. No caso de ajuste linear ( $y=a+bx$ ), a DMET foi considerada como sendo a dose máxima aplicada em cobertura ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), enquanto que, no caso de modelo quadrático ( $y=c+bx+ax^2$ ), esta foi calculada pela relação  $= -b/2a$  (Tiesdale et al., 1993).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de doses de N na emergência foi eficiente em criar variabilidade de produção de biomassa (Figura 1.A) e da quantidade de N na parte aérea (Figura 1.B) no estágio de seis folhas expandidas. Nas duas cultivares, verificou-se elevados coeficientes de determinação ( $r^2=0,94$ ,  $p=0,01$ ) entre NDVI e biomassa, sendo que o aumento na produção de biomassa se refletiu em incrementos lineares no valor de NDVI (Figura 1.A).

O aumento de NDVI em função do maior acúmulo de biomassa na parte aérea é devido a uma relação entre a maior disponibilidade de N, resultando no aumento da quantidade de moléculas de clorofila nas folhas e um maior índice de área foliar. Quanto maior o acúmulo de biomassa fotossinteticamente ativa, maior é a reflectância da radiação no infravermelho próximo e menor é a reflectância no vermelho, ocorrendo aumento no NDVI (Smith et al., 2017). Assim, o NDVI medido por sensor de vegetação foi preciso para diferenciar, no estágio de seis folhas expandidas, diferentes condições de desenvolvimento da cultura proporcionadas pela variação na disponibilidade de N na emergência das plantas. Valores de coeficiente de determinação superiores a 0,83 entre o NDVI e a produção de biomassa da parte aérea de trigo foram reportados por Povh et al. (2008).

A cv. Quartzo apresentou valores de NDVI inferiores à cv. TBIO Sintonia, considerando a média de todos os tratamentos ( $\text{NDVI}_{\text{Quartzo}}=0,42$  e  $\text{NDVI}_{\text{Sintonia}}=0,48$ , Figura 1.A), devido à sua menor capacidade de afilamento e folhas mais eretas. A cv. TBIO Sintonia, por outro lado, apresenta maior capacidade de afilamento e folhas mais decumbentes, resultando em maior cobertura do solo. Isso promove incremento no NDVI, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento, quando a biomassa da parte aérea é pequena e a cobertura do solo pela cultura ainda é baixa. Entretanto, as diferentes características morfológicas das cultivares não foram suficientes para ocasionar diferenças na relação entre NDVI e biomassa da parte aérea no estágio de seis folhas expandidas (Figura 1.A).

Também se observou aumento significativo do NDVI em função do aumento da quantidade de N acumulada na parte aérea, com elevados coeficientes de determinação (acima de  $r^2=0,94$ ,  $p=0,01$ ) para os modelos ajustados (Figura 1.B). Essa relação entre os teores de nitrogênio no tecido vegetal com o NDVI avaliado, é explicado pelo aumento da quantidade de biomassa por área e a consequentemente a quantidade de clorofila por área, que apresenta variação em função da disponibilidade de N.

O aumento na concentração de N produz alterações de reflectância espectral que podem ser detectadas por sensores remotos (Singh et al., 2017). Folhas com baixo acúmulo de N e, em consequência, menor teor de clorofila, têm maior reflectância na região visível do espectro eletromagnético (400-700 nm) e baixa reflectância no infravermelho próximo, o que causa diminuição no NDVI. O aumento na quantidade de N acumulada promove maior quantidade de clorofila e, consequentemente, maior absorção e menor reflectância do espectro vermelho.

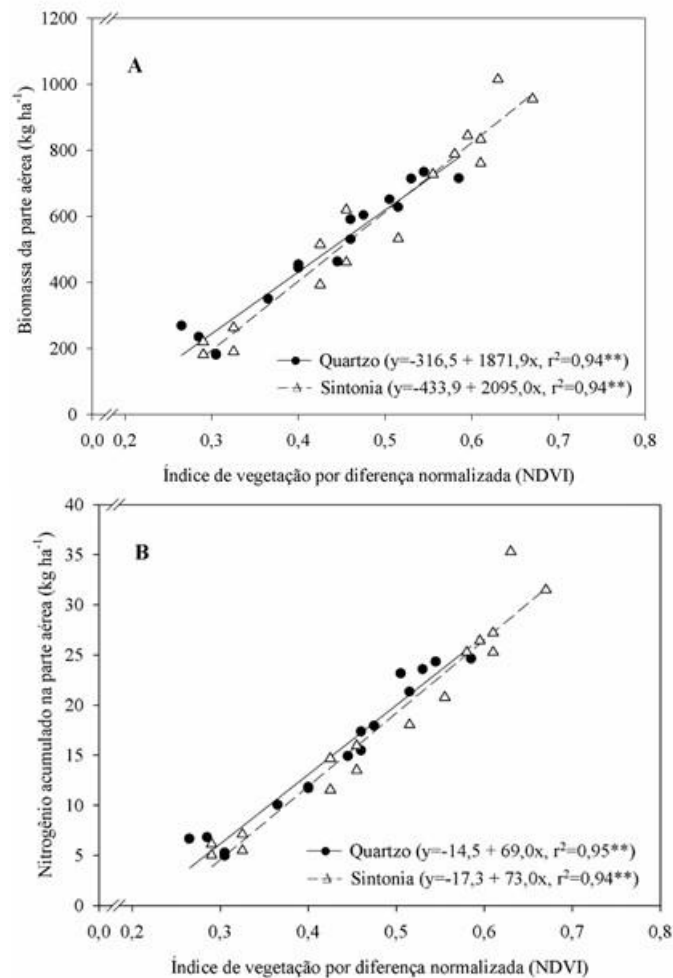


FIGURA 1. Relação entre o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e as quantidades de biomassa (A) e nitrogênio acumulado na parte aérea de duas cultivares de trigo, no estágio de seis folhas completamente expandidas. \*\*Significativo a 1% de probabilidade.

Nas cvs. Quartzo e TBIO Sintonia, o rendimento de grãos mostrou resposta quadrática ao incremento de doses de N em cobertura, quando foram aplicados 20, 40 ou 60 kg ha<sup>-1</sup> na base (Figura 2.A e 2.B). Já quando não foi aplicado N na base, a resposta do rendimento de grãos ao N em cobertura foi linear na cv. Quartzo (Figura 2.A), enquanto que esta resposta foi quadrática para a cv. TBIO Sintonia (Figura 2.B). Os modelos ajustados apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,48 e 0,91, respectivamente (Figura 2.A e 2.B).

Por outro lado, quanto mais elevado for o NDVI no momento de aplicação de N em cobertura, o que indica maior acúmulo de N na parte aérea, menor será a resposta à aplicação de N em cobertura e menores devem ser as doses de N aplicadas, devido a sua demanda nutricional ser menor. Por outro lado, se elevadas quantidades de N forem absorvidas até o final do afilamento (próximo ao estágio de 6-7 folhas expandidas), as plantas pouco responderão à aplicação de N em cobertura. Welsh et al. (2003) concluíram que as estratégias mais eficientes de aplicação de N em taxa variável para cevada e trigo de inverno foram relacionadas à aplicação de maiores doses de N em áreas de baixa densidade de colmos, ou seja, corroborando com as áreas ou zonas de manejo, onde o desenvolvimento inicial da cultura sofreram maior influência, apresentando baixo desenvolvimento.

Desta maneira, torna-se fundamental avaliar a variabilidade da biomassa e da quantidade de N acumulada, para aperfeiçoar a aplicação de N em cobertura em taxa variável, com doses condizentes com a real necessidade das plantas em diferentes áreas de uma lavoura. As relações mostradas na Figura 2.C, entretanto, foram específicas para cada cultivar, apesar de apresentarem a mesma tendência para a relação entre NDVI e DMET. Neste caso, o modelo da Figura 2.C, apresenta o modelo de DMET para as duas diferentes cultivares com resposta diferente ao N. Assim os valores de DMET (Figura 2.C) podem ser utilizados para definir a dose de N a ser aplicado em cobertura do trigo por meio do NDVI, pois esse modelo é o que apresenta a melhor resposta econômica à aplicação em cobertura.

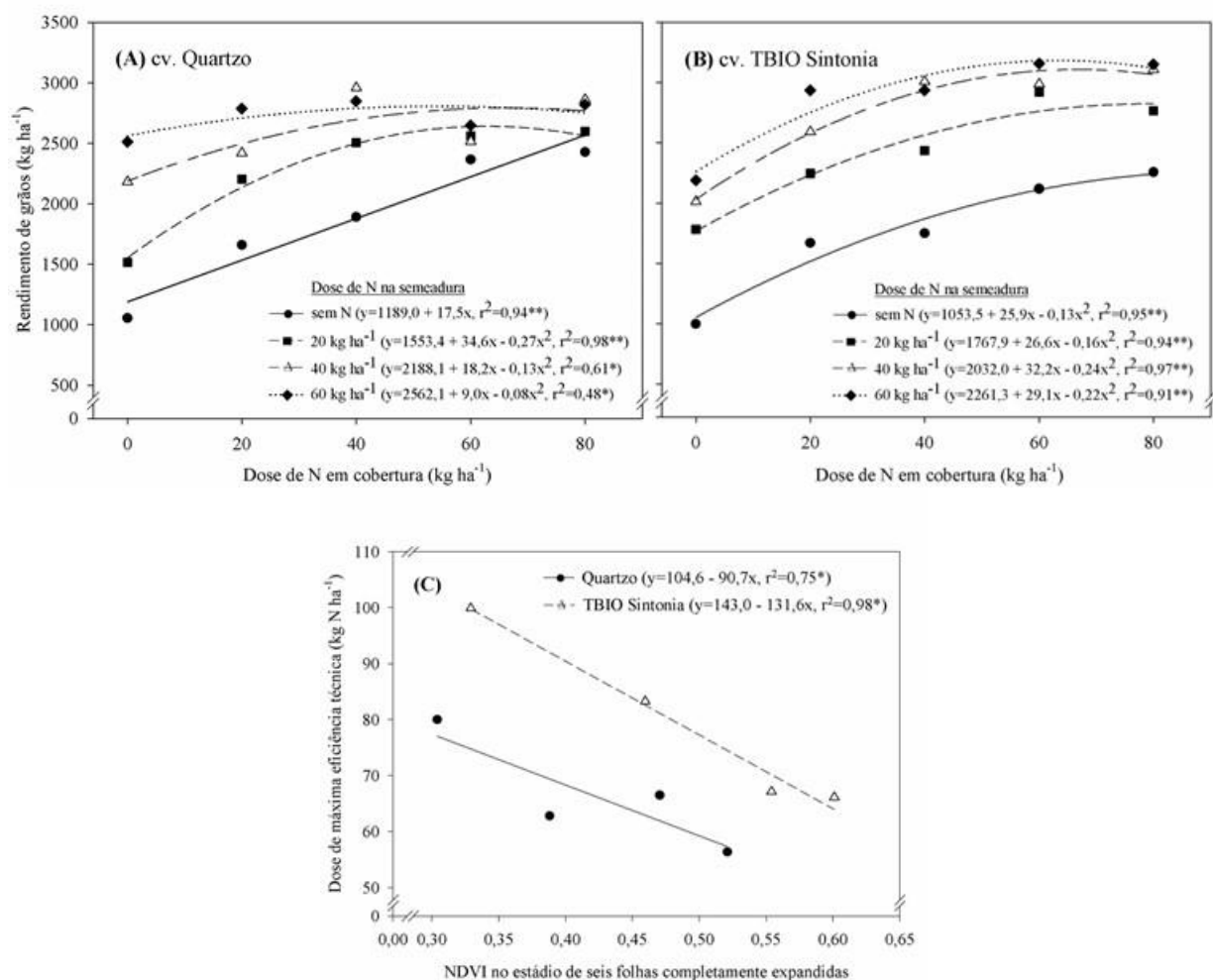


FIGURA 2. Resposta do rendimento de grãos à aplicação de doses de N em cobertura nas cvs. Quartzo (A) e TBIO Sintonia (B) e relação entre a dose de máxima eficiência técnica (DMET) e o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no estágio de seis folhas expandidas (C). \*,\*\* Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

## CONCLUSÃO

O NDVI apresenta associação significativa com a biomassa e a quantidade de nitrogênio acumulada no estágio de seis folhas completamente expandidas, sendo possível a estimativa destas variáveis pelo NDVI utilizando os modelos propostos que contemplam as cultivares de trigo utilizadas no presente estudo.

A DMET do N em cobertura apresenta relação linear com os valores de NDVI no momento de aplicação. A partir desta informação pode-se definir a adubação nitrogenada em taxa variável, permitindo o ajuste da dose de N que apresenta a melhor eficiência agrônômica em áreas da lavoura.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa durante o doutorado, permitindo dedicação integral às atividades acadêmicas. À Fundação de Pesquisa Agrisus, por financiar parte do projeto de pesquisa desenvolvido, por meio do Projeto 2222/17 intitulado “Algoritmo para a adubação nitrogenada sustentável em sistema plantio direto”.

## REFERÊNCIAS

- ADDISCOTT, T. M.; WHITMORE, A. P. Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring. **The Journal of Agricultural Science**, v.109, p.141-157, 1987.
- BASSO, B. et al. A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. **European Journal of Agronomy**, v.35, p.215-222, 2011.

- BONFANTE, A. et al. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy. **Agricultural Water Management**, v.97, p. 1051–1062, 2010.
- BREDEMEIER, C. et al. Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos e aplicações. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: CESPOL, 2016, Cap.7, p.138-158.
- CHAVARRIA G. et al. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade de grãos. **Revista Ceres**. v.62, p.583-588, 2015.
- INMAN, D. et al. Nitrogen uptake across site specific management zones in irrigated maize production systems. **Agronomy Journal**, v.97, p.169-176, 2005.
- MAHAJAN, G. R. et al. Using hyperspectral remote sensing techniques to monitor nitrogen, phosphorus, sulphur and potassium in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Precision Agriculture**, v.15, p.499-522, 2014.
- MANTAI R. D. et al. The dynamics of relation oat panicle with grain yield by nitrogen. **American Journal of Plant Sciences**, v.7, p.17-27, 2016.
- POVH, F. P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1075-1083, 2008.
- RAUN, W. R. et al. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v.94, p.815-820, 2002.
- REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. Informações técnicas para trigo e triticales – Safra 2016. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2017. 228p.
- SINGH, S. K. et al. Assessment of growth, leaf N concentration and chlorophyll content of sweet sorghum using canopy reflectance. **Field Crops Research**. v.209, p.47–57, 2017.
- SMITH, H. L. et al. Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes, **Journal of Experimental Botany**, v.68, p.2099-2110.
- TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 176p. 2.ed.
- TIESDALE, S. L. et al. Soil Fertility and fertilizers. New York: Macmillan, 1993.643p. 5.ed.
- WELSH, J. P. et al. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals, Part I: Winter barley. **Biosystems Engineering**, v.84, p.481-494, 2003.
- WILLMOTT, C. J. et al. refined index of model performance. **International Journal of Climatology**, v.32, p.2088–2094, 2012.

## **MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**MARCOS NASCIMBEM FERRAZ<sup>1</sup>, LUCAS DE PAULA CORRÊDO<sup>2</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>3</sup>**

1 Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Consultor, SmartAgri, Av. Limeira, 1131, Areião, Piracicaba – SP, Fone: (19) 99913-1580, marcosnferraz@hotmail.com

2 Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

3 Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Para algumas culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, a avaliação da variabilidade espacial de atributos qualitativos pode apresentar-se como uma excelente estratégia para traçar formas de intervenção que resultem em melhor rentabilidade da lavoura. Partindo do pressuposto de existência de variabilidade espacial de atributos qualitativos da cana de açúcar, e de uniformidade na distribuição destes ao longo do colmo de diferentes variedades, os objetivos deste trabalho foram avaliar a distribuição de parâmetros qualitativos no colmo de diferentes variedades de cana-de-açúcar, e avaliar a variabilidade espacial destes atributos em um talhão comercial. Foram coletadas amostras de nove variedades para análise de qualidade em laboratório e de Brix com um refratômetro digital. Os mapas foram feitos utilizando os resultados laboratoriais de 91 amostras obtidas em um talhão de 16,6 ha cultivado com uma única variedade (RB855453). Foram encontradas diferenças significativas na qualidade entre diferentes segmentos de uma mesma planta e variabilidade espacial entre as amostras para os atributos avaliados ( $CV > 5\%$ ). Os resultados permitem concluir que a melhor forma de expressar o potencial qualitativo da planta é por meio da análise de amostras obtidas em diferentes partes do colmo. Além disso, justifica-se o gerenciamento localizado da cultura, sendo duas amostras por ha suficientes para mapear os atributos qualitativos no talhão.

**PALAVRAS-CHAVE:** sacarose; qualidade tecnológica; geoestatística.

### **SPATIAL VARIABILITY MAPPING OF SUGARCANE QUALITATIVE ATTRIBUTES**

**ABSTRACT:** Spatial variability evaluation of qualitative attributes can be used as an excellent strategy to design forms of intervention that result in better crop profitability for some agricultural crops, for example, sugarcane. Based on the assumption that qualitative attributes of sugarcane present spatial variability and the distribution along the stems are uniform from different varieties, this work goals were to evaluate the qualitative parameters distribution of different sugarcane varieties and the spatial variability of these attributes in a commercial field. Samples of nine varieties were collected for laboratory quality analysis and Brix parameter was analyzed by a digital refractometer. The maps were generated using 91 results from the laboratory analysis of the 16.6 ha field. There were found significant differences of cane quality between different segments on the same plant and spatial variability between the samples for the evaluated attributes ( $CV > 5\%$ ). The results allow to conclude that the best way to express the qualitative potential of the plant is through the analysis of samples obtained in different parts of the stem. In addition, it is justified to apply crop localized management with two samples per ha which is sufficient to map the qualitative attributes in the field.

**KEYWORDS:** saccharose; technological quality; geostatistic.

### **INTRODUÇÃO**

Os recentes esforços para a obtenção de mapas de produtividade em cana-de-açúcar ainda necessitam avançar para a obtenção de mapas da qualidade, que é o principal parâmetro de valor da cultura, o que representa uma grande limitação ao avanço da Agricultura de Precisão nesse setor da agroindústria (BRAMLEY, 2009).

Bramley e Whelan (2012) mostraram diversas aplicações de mapeamento da qualidade para diversas culturas agrícolas, destacando o setor de cana, uma vez que a remuneração deste produto é definida com base em aspectos qualitativos. A qualidade da cana é expressa pelo Açúcar Total Recuperável (ATR) no processo industrial. Essa concentração é a razão entre massa de açúcares por massa total de cana, sendo que o valor pago pela tonelada de cana é obtido pela multiplicação do ATR e um valor fixado pelo mercado. Com a introdução de técnicas de gestão localizada nas regiões do campo onde os parâmetros de qualidade estejam abaixo do desejado, pode-se obter maior produtividade de produtos com características superiores e, com isso, aumentar o retorno econômico da atividade (MEDEMA e VAN BERJEIJK, 2000).

Pesquisas direcionadas ao mapeamento de atributos de qualidade de produtos agrícolas no campo ainda são escassas. Scarpari e Beauclair (2008) avaliaram a variação espaço-temporal do teor de sólidos solúveis em cultivo de cana com o uso de um refratômetro de campo e observaram a existência de dependência espacial dos dados. Varella et al. (2012) propuseram uma metodologia para o mapeamento do Brix em cana e observaram que com 2,04 avaliações por hectare foi possível validar a interpolação por krigagem. Com 29,7 amostras por hectare, Bramley et al. (2012) observaram um baixo coeficiente de variação em relação ao teor de açúcar, apresentando baixa variabilidade espacial deste fator ao longo do talhão.

Portanto, são necessários mais estudos que indiquem a melhor forma de amostragem e a densidade mínima de pontos para confecção de mapas de variabilidade qualitativa da cultura, partindo da hipótese de existência de variabilidade espacial para os atributos qualitativos da cultura e que exista uniformidade destes ao longo do colmo de plantas de diferentes variedades. A obtenção de dados qualitativos da cana-de-açúcar durante o processo de colheita, associados a dados quantitativos, pode fornecer à agricultura de precisão uma ferramenta inestimável quanto à gestão da variabilidade espacial existente para estes parâmetros, além da otimização de processos industriais e planejamento econômico do setor. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição de parâmetros qualitativos no colmo de diferentes variedades de cana-de-açúcar, a fim de identificar os melhores pontos para amostragem, além de identificar a existência de variabilidade espacial em um talhão comercial dos atributos utilizados no cálculo de pagamento a fornecedores no Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram coletadas 27 touceiras (P) com quatro colmos (perfilhos) cada uma (Figura 1). As coletas foram realizadas na região de Piracicaba, SP, em três datas distintas: 09/09/2014 (Coleta 1), 25/09/2014 (Coleta 2) e 09/10/2014 (Coleta 3), sendo coletadas nove touceiras de variedades (V) diferentes (três canas por talhão), provenientes de um talhão em cada data. Além disso, foram registradas informações de número do corte, ambiente de produção, utilização ou não de vinhaça na área, a data do último corte e a idade da cana amostrada (Tabela 1).

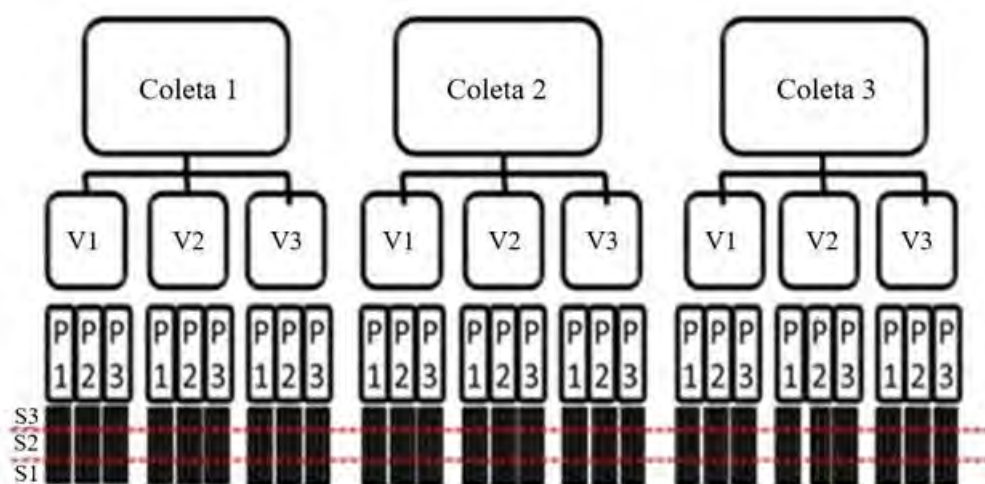


FIGURA 1. Esquema das coletas e obtenção de amostras seccionadas para leituras de Brix e análises laboratoriais de qualidade. V – variedades, P – touceiras, S – secções de corte.

Os colmos foram então cortados em seções baixa (S1), média (S2) e alta (S3), obtendo-se 108 seções em cada uma das três coletas. Foi obtido o Brix de cada seção, utilizando-se um refratômetro digital de bolso (Atago Co., Ltd, Tóquio, Japão). Após as medições de Brix realizadas em cada tolete, todos os segmentos pertencentes à mesma altura, da mesma planta, foram processados simultaneamente, a fim de obter um volume de caldo suficiente para realização das análises laboratoriais. Assim, foram obtidas 27 amostras para análises



laboratoriais em cada coleta (81 no total) (Figura 2). As análises laboratoriais das amostras foram realizadas de acordo com o Manual de Instruções CONSECANA – SP (2006), de forma a avaliar os parâmetros: Brix, Pol da Cana (PC), Pureza do caldo (Qpur), açúcares redutores da cana (ARC), teor de fibras (F) e açúcar total recuperável (ATR).

TABELA 1. Características das amostras coletadas.

Data da Coleta	Amostra	Variedade	Estágio	Ambiente	Vinhaça	Corte Anterior	Idade
09/09/2014	1	SP80-3280 A	3º Corte	B	S	20/11/2013	10 m e 20 d
09/09/2014	2	RB867515 A	5º Corte	C	S	05/11/2013	11 m e 04 d
09/09/2014	3	SP81-3250	2º Corte	E	S	17/12/2013	9 m e 23 d
25/09/2014	1	RB855536	2º Corte	A	N	11/12/2013	10 m e 14 d
25/09/2014	2	SP80-3280 B	4º Corte	C	N	22/11/2013	11 m e 3 d
25/09/2014	3	RB867515 B	3º Corte	E	N	28/11/2013	10 m e 28 d
09/10/2014	1	SP83-2847	1º Corte (Inv)	A	S	08/07/2013	16 m e 1 d
09/10/2014	2	IACSP95-5000	4º Corte	B	S	25/09/2013	13 m e 15 d
09/10/2014	3	CTC 15	3º Corte	D	N	12/09/2013	13 m e 28 d

(Inv): Plantio de Inverno

Foram realizados testes de Tukey para analisar as diferenças de Brix entre as secções de uma mesma planta, entre touceiras em um mesmo talhão e diferença geral entre as variedades. Em laboratório foram analisadas as diferenças entre as secções de uma mesma variedade (neste caso as plantas de um mesmo talhão foram consideradas repetições); entre mesmas secções em variedades diferentes, e a diferença geral entre as variedades.

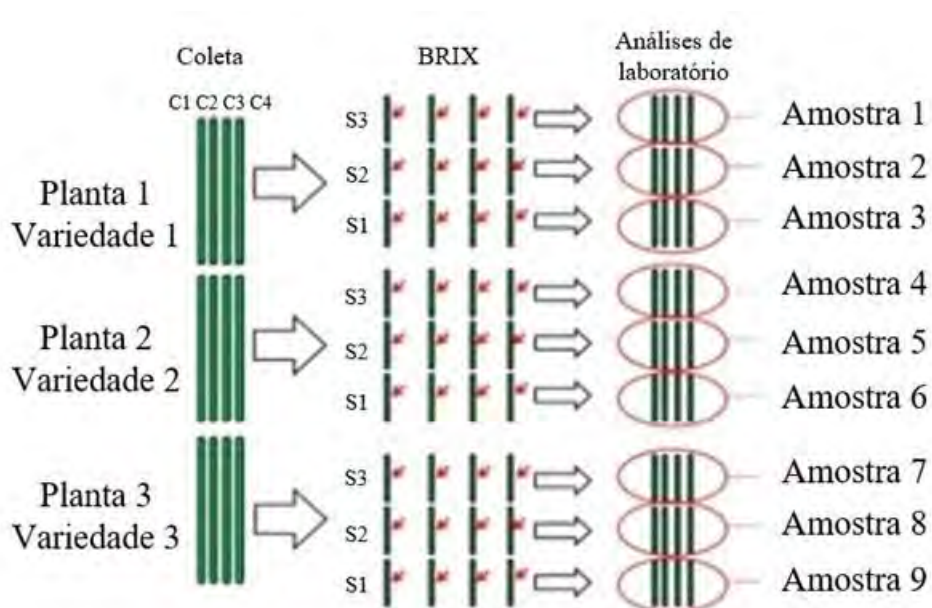


FIGURA 2. Esquema da obtenção de amostras para análises laboratoriais de Brix por talhão em cada data de coleta.

Posteriormente foram obtidas amostras georreferenciadas em um talhão comercial, durante a operação de colheita. O talhão situava-se em ambiente de produção “A” com a variedade RB855453, considerada propícia a esse tipo de ambiente, com velocidade de crescimento média e época ideal de colheita entre maio e junho. A colheita foi realizada no dia 27/06/2014, estando as plantas em seu terceiro corte. Foram coletadas 91 amostras no talhão de 16,6 ha (aproximadamente 5,4 pontos ha<sup>-1</sup>) com distâncias aleatórias entre os pontos de amostragem, a fim de aprimorar as análises geoestatísticas (Figura 3). Em cada ponto foram coletados quatro colmos cortados rente ao solo e conduzidos ao laboratório.

Os resultados laboratoriais dos dados georreferenciados obtidos na área experimental foram então interpolados pelo método de krigagem para a geração de mapas, utilizando-se o programa Vesper (WHELAN et al., 2002). Para cada atributo foi confeccionado o semivariograma, utilizando-se o mesmo software para o cálculo dos valores de Patamar, Alcance e Efeito Pepita. A relação entre os atributos também foi analisada. Ao

fim das análises, os resultados obtidos para cada atributo avaliado foram comparados aos dados obtidos pelas análises realizadas pela usina onde foi conduzido o experimento.

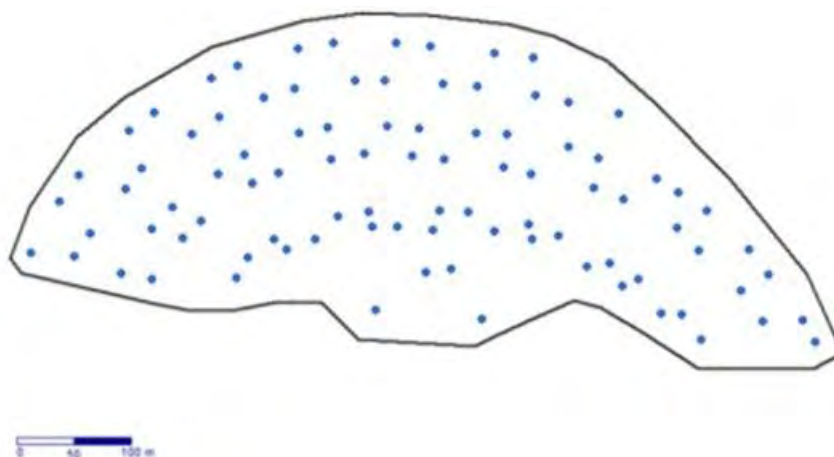


FIGURA 3. Esquema da distribuição espacial dos pontos amostrais no talhão

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se diferença no Brix entre as secções da mesma planta, principalmente entre as secções 1 e 3 (Tabela 2). Observa-se que as variedades RB867515 A, RB855536, SP80-3280 B e SP83-2847, foram as que apresentaram diferenças menos expressivas entre as secções. Poucos foram os talhões onde foi encontrada diferença entre as plantas coletadas, possivelmente devido à proximidade entre os mesmos.

Os resultados das diferenças entre as variedades são semelhantes ao se avaliar todas as amostras ou apenas as amostras pertencentes à mesma secção. Isso significa que tanto avaliando apenas uma mesma parte da planta, quanto avaliando a planta toda, diferenças de qualidade serão encontradas. No entanto, as secções do topo as expressam melhor.

A partir dos resultados laboratoriais foi possível obter o ATR para as secções de cada variedade (Figura 4). A variedade RB867515 B e a variedade IACSP95-5000 foram as que apresentaram menor diferença entre as secções, possivelmente por estarem em estágio de maturação mais avançado. A variedade RB867515 da primeira coleta (A) foi a que apresentou melhores valores de ATR, mesmo estando no quinto corte. Nota-se que o grau de maturação não é o fator mais limitante para determinação do bom desempenho geral da variedade em relação à qualidade. Plantas que apresentaram pouca diferença entre as secções de um mesmo colmo, como a variedade IACSP95-5000, fato que pode significar estágio avançado de maturação, não necessariamente obtiveram os melhores valores de qualidade.

TABELA 2. Resultados de Brix médio para cada seção do colmo de diferentes variedades de cana.

<b>Variedade</b>	<b>Planta</b>	<b>Secção 1</b>	<b>Secção 2</b>	<b>Secção 3</b>	<b>MÉDIA **</b>
<b>SP80-3280 A</b>	CANA 1	23,45aA	21,58abA	21,10bA	<b>22,36D</b>
	CANA 2	23,38aA	22,90abA	22,33bA	
	CANA 3	22,93aA	21,98aA	21,60aA	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>23,25C</b>	<b>22,15C</b>	<b>21,68D</b>	
<b>RB867515 A</b>	CANA 1	23,65aA	22,75bA	23,58abA	<b>23,87B</b>
	CANA 2	24,73aA	24,58aA	23,65aA	
	CANA 3	24,15aA	23,825aA	23,93aA	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>24,18BC</b>	<b>23,72B</b>	<b>23,72B</b>	
<b>SP81-3250</b>	CANA 1	22,90abA	21,50bA	23,38aA	<b>23,33BC</b>
	CANA 2	21,93aB	22,85aA	21,00aA	
	CANA 3	27,25aC	24,13bA	25,00bB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>24,03BC</b>	<b>22,83BC</b>	<b>23,13BC</b>	
<b>RB855536</b>	CANA 1	22,90aA	20,78aA	20,53aA	<b>22,77CD</b>
	CANA 2	23,25aA	22,90aA	22,10aA	
	CANA 3	24,53aB	24,38aB	23,55aB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>23,56BC</b>	<b>22,68BC</b>	<b>22,06CD</b>	
<b>SP80-3280 B</b>	CANA 1	23,93aA	24,63aA	25,18aA	<b>24,24AB</b>
	CANA 2	24,43aA	23,60aA	23,48aB	
	CANA 3	24,60aA	24,03aA	24,30aAB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>24,32B</b>	<b>24,08AB</b>	<b>24,32AB</b>	
<b>RB867515 B</b>	CANA 1	25,25aA	23,98aA	22,85bA	<b>25,04A</b>
	CANA 2	25,63aA	25,65aB	25,08aB	
	CANA 3	26,00aA	26,25aB	24,70bA	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>25,63A</b>	<b>25,29A</b>	<b>24,21AB</b>	
<b>SP83-2847</b>	CANA 1	25,45aA	23,38aA	24,15aA	<b>24,76A</b>
	CANA 2	23,68aA	24,15aA	23,48aA	
	CANA 3	25,83aA	26,20aA	26,53aB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>24,98AB</b>	<b>24,58AB</b>	<b>24,72AB</b>	
<b>IACSP95-5000</b>	CANA 1	21,75aA	22,63aA	21,83aA	<b>24,94AB</b>
	CANA 2	24,48aAB	28,75bB	26,75bB	
	CANA 3	25,18aB	26,25aAB	26,83aB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>23,8BC</b>	<b>25,88A</b>	<b>25,13A</b>	
<b>CTC15</b>	CANA 1	24,68aA	25,18aA	26,10aA	<b>24,57A</b>
	CANA 2	23,00aA	23,40aB	23,23aB	
	CANA 3	26,48aA	24,48bAB	24,55bB	
	<b>MÉDIA*</b>	<b>24,72AB</b>	<b>24,35AB</b>	<b>24,63A</b>	

<sup>abc</sup> Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste T ( $P \leq 0,05$ ); letras minúsculas comparam entre as secções da mesma planta, letras maiúsculas comparam mesmas secções entre plantas diferentes, dentro de cada variedade; \* letras maiúsculas comparam variedades dentro de cada secção; \*\* letras maiúsculas comparam variedades, considerando todas as secções.

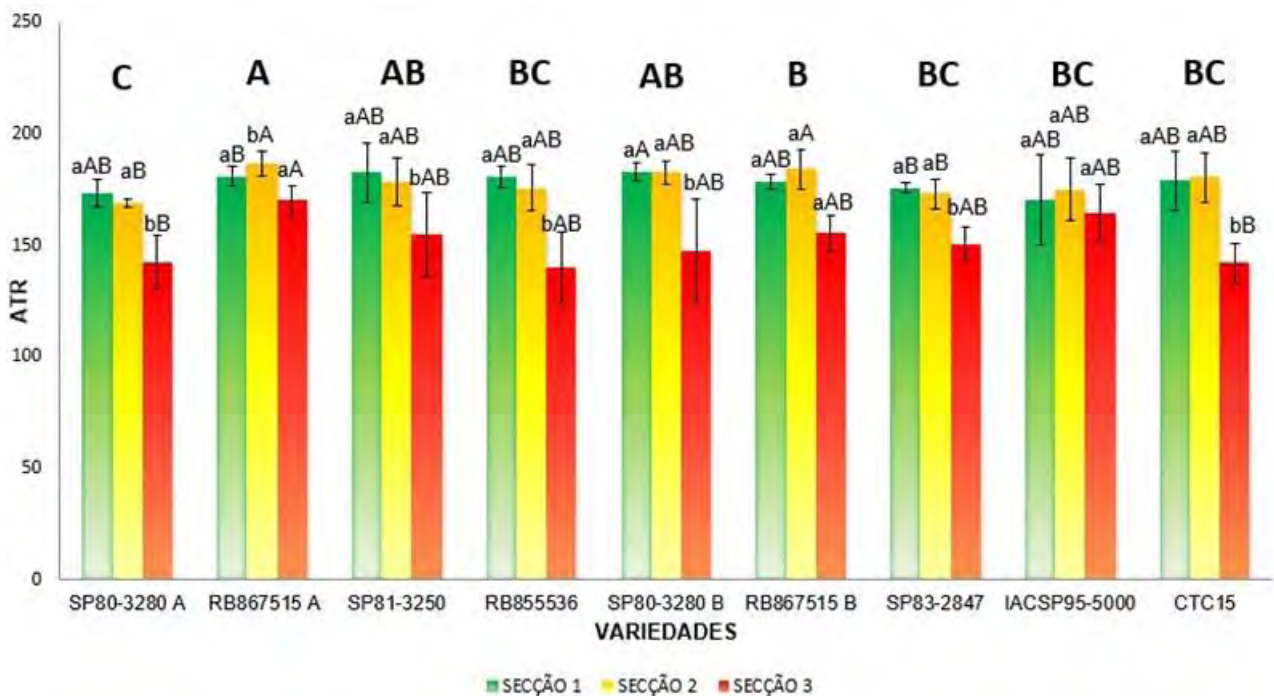


FIGURA 4. Resultados e análises estatísticas do valor de ATR da cana-de-açúcar.

<sup>abc</sup> letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste T ( $P \leq 0,05$ ); letras minúsculas comparam secções da mesma variedade; letras maiúsculas comparam mesmas secções entre variedades diferentes; letras em negrito comparam as variedades, considerando todas as secções.

Nota-se também que ao se avaliar apenas as secções basais, é possível identificar pouca diferença entre as variedades, e ao avaliar apenas a secção do topo, essas diferenças podem ser potencializadas. Ainda, é possível observar que, as secções 1 e 2 da maioria das variedades estudadas não diferiram estatisticamente quanto aos resultados de ATR. Essa diferença entre secções de uma mesma variedade foi ainda menos expressiva para valores de Brix (Tabela 2). Sendo assim, sugere-se a padronização das amostras que serão utilizadas para avaliação de parâmetros qualitativos de cana. Utilizando as secções superiores, foi possível observar maior expressividade da diferença qualitativa entre as variedades avaliadas, entretanto, sob uma óptica prática, o melhor pode ser a avaliação da planta inteira, a fim de alcançar melhor representatividade do potencial qualitativo da planta.

Observa-se que, para os dados de ATR, Brix, Pol da cana e pureza, os resultados obtidos pela usina apresentaram resultados absolutos inferiores aos obtidos com o presente estudo (Tabela 3). Essa diferença deve-se principalmente à maior quantidade de palha presente na cana após a colheita mecanizada da cana crua. Tal fato deve ser levado em conta principalmente devido à tendência de se colher a cultura com maior quantidade de palha, tanto para produção energética quanto para a produção de etanol de segunda geração (SANTOS et al., 2012). Evidencia-se, portanto, a importância das análises em amostras obtidas diretamente da colhedora.

O coeficiente de variação observado foi maior do que aquele obtido por Bramley et al. (2012) (3,8%), possivelmente devido ao menor tamanho do talhão analisado pelos autores (6,8 ha); mas este fato também pode estar relacionado às diferentes características ambientais entre as lavouras. Caso sejam considerados os valores de ATR mensurados para cálculos de remuneração (sendo o valor pago ao produtor estipulado pela quantidade colhida pelo ATR medido, multiplicada pelo valor fixo do ATR), o desvio padrão observado causaria uma variação de 10,08% na renda do talhão. Ao contabilizar os valores máximos e mínimos encontrados, essa variação seria de 21,43%.

TABELA 3. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade das amostras georreferenciadas.

	<b>ATR</b>	<b>Brix</b>	<b>Pol da cana</b>	<b>Fibras (F)</b>	<b>ARCana</b>	<b>Q (pureza)</b>
Média	134,59	17,49	13,49	10,71	0,51	89,07
Erro padrão	0,75	0,07	0,08	0,06	0,01	0,29
Mediana	134,62	17,60	13,46	10,69	0,51	89,12
Desvio padrão	7,14	0,70	0,81	0,56	0,08	2,80
C.V	5,31	4,00	6,00	5,27	16,56	3,14
Curtose	-0,35	0,04	-0,30	-0,89	5,22	5,45
Assimetria	-0,18	-0,35	-0,14	0,11	-0,98	1,00
Intervalo	32,50	3,50	3,60	2,17	0,60	20,35
Mínimo	119,12	15,70	11,75	9,70	0,10	82,45
Máximo	151,62	19,20	15,35	11,87	0,70	102,80
Dados Usina	108,39	15,68	10,56	12,81	0,73	80,68

Após a análise geostatística dos atributos, observou-se que o atributo que obteve menor alcance dos dados foi o teor de fibras (Tabela 4), possivelmente devido à pouca influência que esse atributo exerce no teor de açúcares da cana (Tabela 5). A concentração de sólidos solúveis na cana (Brix) apresentou maior dependência espacial em relação aos demais atributos e alcance menor (exceto em relação ao teor de fibras), indicando maior dependência espacial desse atributo. De fato, esse atributo, juntamente com Pol apresentaram alta correlação com o teor de açúcares da cana, como pode ser observado na Tabela 5. Entretanto, destaca-se que Pol é melhor para a estimativa de ATR quando comparado ao Brix, devido à influência dos açúcares redutores neste atributo. O ATR apresentou variação grande, como pode ser observado pelo elevado valor de efeito pepita. Observa-se ainda que a qualidade do modelo ajustado, estimada pelo cálculo do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi satisfatória para Brix, Pol e ATR, principais atributos qualitativos avaliados para a cultura da cana de açúcar.

TABELA 4. Componentes dos semivariogramas obtidos a partir da interpolação dos parâmetros qualitativos.

	<b>ARC</b>	<b>ATR</b>	<b>Brix</b>	<b>Fibras</b>	<b>Pol</b>	<b>Pureza</b>
<b>Alcance (m)</b>	186,5	136,6	86,5	59,1	142,1	185,5
<b>Patamar</b>	0,008	52,550	0,464	0,305	0,681	9,260
<b>Efeito Pepita</b>	0,003	25,840	0,000	0,115	0,327	2,913
<b>IDE</b>	67,25	50,83	100,00	62,25	51,95	68,54
<b>Modelo</b>	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
<b>R<sup>2</sup></b>	0,1959	0,8567	0,6857	0,4442	0,8656	0,1720
<b>RMSE</b>	0,0018	3,139	0,0564	0,0214	0,0373	2,12

TABELA 5. Matriz de correlação entre os parâmetros analisados na amostragem georreferenciada.

	<b>Brix</b>	<b>Pureza</b>	<b>Fibras</b>	<b>Pol</b>	<b>ARC</b>	<b>ATR</b>
<b>Brix</b>	1,00					
<b>Pureza</b>	0,56	1,00				
<b>Fibras</b>	0,41	0,25	1,00			
<b>Pol</b>	0,89	0,85	0,24	1,00		
<b>ARC</b>	-0,58	-1,00	-0,30	-0,86	1,00	
<b>ATR</b>	0,91	0,83	0,23	1,00	-0,83	1,00

Em um talhão de 16 ha foi encontrado um coeficiente de variação na qualidade maior que 5%, o que pode justificar um gerenciamento localizado da lavoura. Os mapas mostram que o Pol foi mais eficaz que o Brix para indicar o ATR no talhão (Figura 5). Nota-se um local do talhão onde o Brix é alto, mas a pureza é baixa, resultando em um ATR médio. Esse fato evidencia a importância do Pol para a determinação da qualidade da cultura. O mapa do teor de fibras não apresenta relação com os mapas dos demais atributos. Portanto, considerando o teor de fibras como o atributo limitante à análise de dependência espacial dos parâmetros qualitativos da cultura, devido ao menor alcance (59,1m), e mapeamento dos mesmos no talhão,

concluiu-se ser necessário a coleta de quatro amostras por hectare (MULLA e McBRATNEY, 2000), número superior ao determinado por Varella et al. (2012), para mapeamento de Brix.

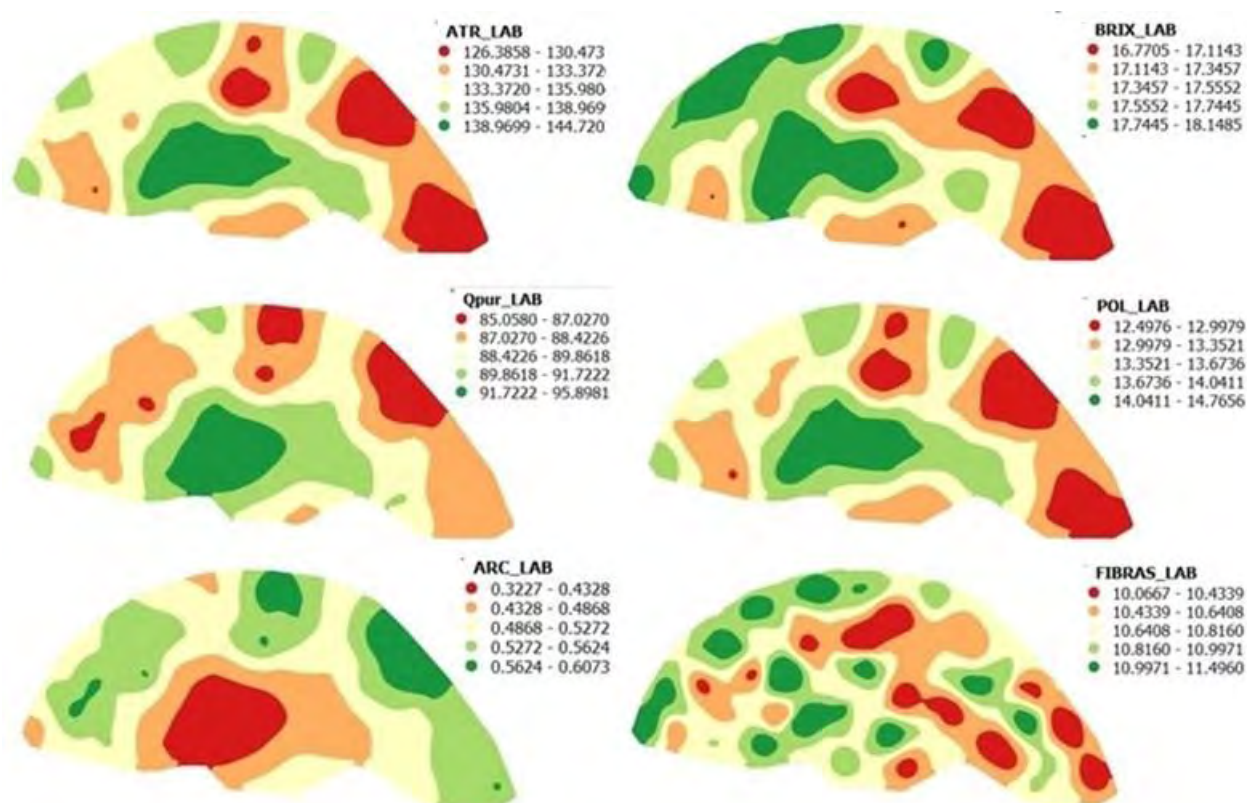


FIGURA 51. Mapas dos parâmetros de qualidade analisados – ATR, Brix, Pol, Pureza, ARC e Teor de Fibras.

## CONCLUSÃO

Foram observadas diferenças significativas no teor de qualidade ao longo do colmo, principalmente em plantas menos maduras. Notou-se que os segmentos mais ao topo destacam melhor as diferenças de qualidade entre as plantas. No entanto, identificou-se que a melhor forma de expressar o potencial qualitativo da cultura é por meio da análise de amostras de colmo inteiro. Os parâmetros qualitativos apresentaram elevada dependência espacial, exceto o teor de fibras, sendo mais elevado para Brix em relação aos demais. Além disso, os semivariogramas sugerem que quatro amostras por hectare seriam suficientes para um mapeamento eficiente da qualidade da cana-de-açúcar.

**AGRADECIMENTOS:** ao CNPq pela concessão da bolsa, à empresa VERION, na pessoa do Eng. Agr. Franz Pavlu, por todo o apoio e a toda a equipe da empresa Raizen, na pessoa do Eng. Agr. Pedro Lian Demétrio Barbieri Castanho, pela ajuda com as informações e coleta das amostras.

## REFERÊNCIAS

BRAMLEY, R.G.V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and pasture Science**, v.60, p.197-217, 2009.

BRAMLEY, R.G.V.; PANITZ, J.H.; JENSEN, T.; BAILLIE, C. Within block spatial variation in CCS - another potentially important consideration in the application of precision agriculture to sugarcane production In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS**. Melbourne, Proceedings... Melbourne: Australian Society of Sugar Cane Technologists, v. 34p. 463-470, 2012.

BRAMLEY, R.G.V.; WHELAN, B.M. Mixed fortunes in crop quality sensing. In: **15TH PRECISION AGRICULTURE SYMPOSIUM IN AUSTRALASIA**, 5-6 September 2012. Proceedings... SPAA / University of Sydney. Mildura, Australia, p. 22-26, 2012.

CONSECANA – CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO

ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções**. CONSECANA-SP, Piracicaba, 5ª ed., 200 p., 2006.

MEDEMA, D.J.; VAN BERGELJK, J. Spatial variability of sugar beet yield and quality in relation to several soil properties. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 5., 2000. Bloomington (USA). Proceedings.. Bloomington (USA). B: ASA/ CSSA/ SSSA, 2000. 1 CDR0M.

MULLA, D.J.; McBRATNEY, A.B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, p.321-352, 2000.

SANTOS, F.A.; QUEIRÓZ, J.D.; COLODETTE, J.L.; FERNANDES, S.A.; GUIMARÃES, V.M.; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v.35, n.5, p.1004-1010, 2012.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. Variação Espaço-temporal do Índice de Área Foliar e do Brix em Cana-de-Açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.35-41, 2008.

VARELLA, C.A.A.; BARROS, V.R.; BAESSO, M.M. Mapeamento da variabilidade Espacial do Brix em cana-de-Açúcar. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.20 n.2, p. 112-117 março / abril ,2012.

WHELAN, B.M.; MCBRATNEY, A.B; MINASNY, B. Vesper 1.5 – spatial prediction software for precision agriculture. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Ed.). Precision Agriculture. **6th International Conference on Precision Agriculture**, 6., 2002. Madison, Wisconsin: Proceedings ... Madison, Wisconsin:ASA/CSSA/SSSA, 14p., 2002.

## **METODOLOGIA PARA ESTIMAR A OCUPAÇÃO DE PLANTAS VISANDO O MANEJO MAIS ADEQUADO DA ADUBAÇÃO NA CULTURA DO CAFÉ**

**GUSTAVO DI CHIACCHIO FAULIN<sup>1</sup>, MARISA SILVEIRA ALMEIDA RENAUD FAULIN<sup>2</sup>,  
CARLOS EDUARDO DE MENDONÇA OTOBONI<sup>3</sup>, ABNER ABRAHAN ROSA<sup>4</sup>; MATHEUS  
FRANCISCO DE SOUZA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. do curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec, Pompeia – SP, Fone: (14) 3452-1294, gustavo.faulin@fatec.sp.gov.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof<sup>a</sup>. do curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec, Pompeia – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. do curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec, Pompeia – SP

<sup>4</sup> Tecnólogos em Mecanização em Agricultura de Precisão, Pompeia – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia computacional para a determinação de um índice de ocupação de plantas na cultura do café através da análise de imagens aéreas obtidas por um Veículo Aéreo Não Tripulado. Tal metodologia permitirá calibrar as doses variadas de insumos de acordo com o vigor e ocupação das plantas em uma determinada área, já que na lavoura de café as recomendações, geralmente, são feitas com base no número de plantas por hectare e na maioria das vezes esta população está abaixo do teórico. Com esta metodologia espera-se uma racionalização no uso de insumos, sem comprometer a produtividade. Para determinar os diferentes índices de ocupação, foi utilizado o método de classificação de imagem supervisionada, onde estabeleceu-se duas classes e valores foram atribuídos aos pixels destas classes: (1) *Plantas de café* e (0) *Outros*, sendo este representado por entrelinhas e solo nu. Ao total, quatro tratamentos foram realizados, três com polígonos de 9, 16 e 100 m<sup>2</sup> utilizados para o cálculo do Índice de Ocupação de Plantas (IOP) com base nas imagens classificadas. O quarto tratamento utilizou sobreposição dos polígonos para o cálculo da somatória de pixels, provocando um efeito de suavização e este, apresentou os melhores resultados na obtenção do Índice de Ocupação de Plantas podendo ser usado para auxiliar os ajustes das doses.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, VANT, SIG

### **METHODOLOGY TO ESTIMATE THE PLANT OCCUPATION FOR THE MOST ADEQUATE COFFEE CROP FERTILIZATION MANAGEMENT**

**ABSTRACT:** The aim of this study was to propose a computational methodology for the determination of a Plants Occupation Index (POI) in the coffee crop through the analysis of aerial images obtained by an Unmanned Aerial Vehicle. Such an index should allow the calibration of variable doses of inputs according to the vigor and occupation of the plants in each area. In the coffee crop, the recommendations are generally made based on the number of plants per hectare and in most cases this population is below the theoretical. Through this methodology it is expected a rationalization in the use of inputs, without compromising productivity. To determine the different occupancy rates, the supervised image classification method was used, where two classes were established and values assigned: (1) *Coffee plants* and (0) *Others*, this being represented by planting lines and bare soil. In total, four treatments were done. Thus, three of them with polygons of 9, 16 and 100 m<sup>2</sup> were used to calculate the Plant Occupation Index on the classified images. The fourth treatment used polygons overlapping to calculate the sum of pixels, providing a smoothing effect and this, presented better results in obtaining the Plant Occupation Index can be used to optimize the fertilization doses settings.

**KEYWORDS:** remote sensing, UAV, GIS



## INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café verde e colheu na safra 2017, mais de 45 milhões de sacas beneficiadas. Para este ano de 2018 estima-se produções de 58 milhões de sacas beneficiadas, isto representa um aumento de 29,1% (CONAB, 2018). O café tem grande destaque na nossa economia, com o crescente aumento no consumo pelo mundo, especialmente nos países da Ásia, Oceania e América do Norte (INTERNATIONAL COFFEE ASSOCIATION, 2018). Por ser um produto onde sua qualidade está ligada diretamente com seu valor de mercado, técnicas de Agricultura de Precisão (AP) auxiliam no melhor manejo e rentabilidade da produção. Segundo Inamasu *et al.* (2011), a AP é uma ferramenta de gestão que considera a variabilidade espacial para subsidiar estratégias de tomada de decisão e obter melhor retorno econômico e ambiental do sistema de produção.

O manejo inadequado da fertilidade do solo é um dos principais causadores da baixa produtividade de café no país, o que se deve principalmente, à falta de informações sobre as exigências e o manejo nutricional da cultura (MARTINEZ *et al.*, 2003; GUIMARÃES e REIS, 2010). De modo geral, o cálculo da adubação de um talhão é feito com base no número de plantas por hectare desde a sua implantação, porém muitos problemas ocorrem e causam morte das plantas, deixando a população de plantas abaixo do teórico.

Segundo Silva *et al.* (2007), os fitonematoides estão em destaque entre as piores pragas do cafeeiro no país. As espécies mais disseminadas pertencem aos gêneros *Meloidogyne* (nematóide das galhas) e *Pratylenchus* (nematóide das lesões). O nematóide *Meloidogyne exigua*, representa um sério problema para a cafeicultura, pois constitui um fator limitante para a obtenção de alta produtividade em cafeeiros do tipo arábica (BARBOSA *et al.*, 2004; CAMPOS e VILLAIN, 2005). Nesta praga específica, o manejo da adubação em taxa variável não garante a otimização dos insumos, já que a planta de café afetada não responderá plenamente à dose de fertilizante aplicada.

De modo geral, o cálculo da adubação do cafeeiro é feito com base no número teórico de plantas por hectare, tomando como base o espaçamento inicial do plantio. Mesmo com técnicas de aplicação em taxas variáveis, o cálculo não considera a situação atual da lavoura, que ao passar do tempo sofre com problemas fitossanitários provocando a perda de vigor ou em casos mais graves, causando a morte das plantas, deixando a população de plantas abaixo do teórico inicial. As diferentes formas e tamanhos encontrados nas culturas arbóreas, mesmo durante uma mesma estação de crescimento, exigem um ajuste contínuo da dose aplicada para otimizar a eficiência da aplicação e reduzir a contaminação ambiental (SOLANELLES *et al.*, 2002). Para auxiliar no manejo da lavoura e na identificação de áreas afetadas por pragas e doenças, o sensoriamento remoto, principalmente a plataforma VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) vem sendo utilizada em diversas aplicações na agricultura, como por exemplo no monitoramento de falhas no stand de plantio e no mapeamento de solos e zonas de erosão (COELHO, 2014).

O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia computacional por meio da análise de imagens aéreas obtidas por um VANT para a determinação de um índice de ocupação de plantas na cultura do café que possa servir de informação para ajustar as doses variadas de insumos de acordo com a taxa de ocupação real das plantas em um determinado talhão.

## MATERIAL E MÉTODOS

As imagens foram obtidas com uma câmera RGB de 12 Megapixels embarcada em um VANT Marca DJI modelo Phantom 3 Advanced e o plano de voo configurado no aplicativo DroneDeploy<sup>®</sup> (FIGURA 1). Este mesmo aplicativo foi utilizado para a geração dos ortomosaicos.

Foram utilizados dois talhões no município de Pompeia, SP, com a cultura do café (*Coffea arabica* L.) variedade Mundo Novo. No Talhão Experimental I com 5,7 ha, as imagens capturadas possuíam uma resolução de 7,5 cm por pixel (FIGURA 2a). O Talhão Experimental II, com 2,4 ha, a resolução obtida foi de 3,4 cm por pixel (FIGURA 2b).



FIGURA 1. VANT Marca DJI modelo Phantom 3 Advanced e plano de voo configurado no aplicativo DroneDeploy<sup>®</sup>.

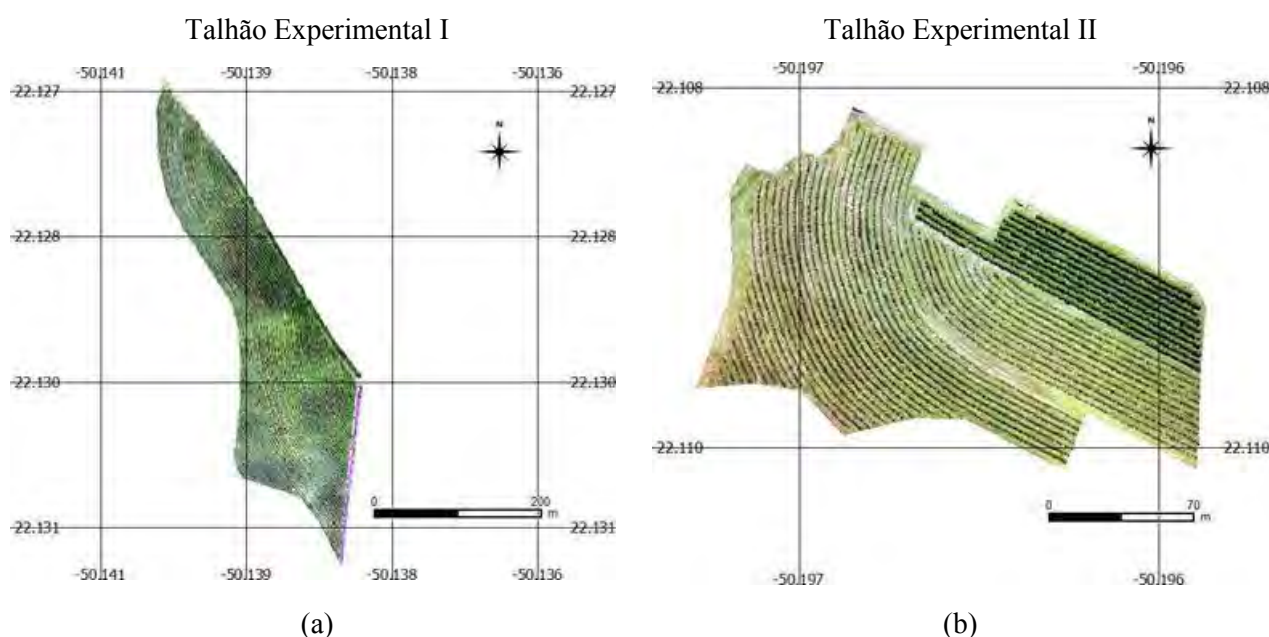


FIGURA 2. Talhão experimental I com  $5,7 \text{ ha}^{-1}$  (a); Talhão experimental II com  $2,4 \text{ ha}^{-1}$  (b).

Para a interpretação, análise e definição da metodologia, foi utilizado o software ArcMap versão 10.4.1. Para a definição de um Índice de Ocupação de Plantas (IOP) por hectare, foi escolhida a classificação de imagens supervisionada com o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER), sendo este um classificador paramétrico. A partir dos ortomosaicos foram determinadas as amostras, desenhadas manualmente, para o treinamento do software em criar padrões de identificação do que realmente é uma planta de café, uma entrelinha e outros tipos de vegetação.

O reconhecimento de padrões foi feito por pixels, encaixando assim cada pixel no seu padrão de cor após o processamento de toda a imagem. Esse método normalmente é utilizado quando se tem um conhecimento prévio sobre a área. Na classificação supervisionada foram estabelecidas as seguintes classes: (i) plantas de café, (ii) entrelinha e (iii) solo. Posteriormente, realizou-se a reclassificação que resultou em duas classes (1) *Plantas de Café* e (0) *Outros* (compreendido na classe *Outros* as classes *entrelinhas* e *solo*). Para a determinação da classe *Plantas de Café* foram determinados no Talhão Experimental I cerca de 1.000 amostras de treinamento baseada em áreas sobre as plantas de café e para a classe *Outros* totalizaram-se 300 amostras nas entrelinhas e mais 200 para solo exposto. Já no Talhão Experimental II, o número de áreas amostrais de treinamento foi menor, cerca de 500 para a classe *Plantas de Café* e 300 para a classe *Outros*, divididos em 200 para entrelinha e 100 para o solo exposto. Optou-se, neste último talhão, por menos amostras de treinamento pois a imagem apresenta uma melhor resolução do pixel ( $3,4 \text{ cm pixel}^{-1}$ ) em relação ao Talhão Experimental I ( $7,5 \text{ cm pixel}^{-1}$ ) e a sua menor dimensão em área.

A escolha do número de amostras buscou atender uma maior acurácia na classificação supervisionada não seguindo nenhum método específico para a escolha do tamanho das amostras. Ma *et al.* (2017) elaboraram uma revisão bibliográfica com 173 artigos e concluíram que existe uma forte correlação positiva entre as precisões da classificação usando métodos de avaliação de precisão baseados na área e o tamanho das amostras de treinamento e que as principais fontes de incertezas resultam da diversidade de técnicas e métodos e da variabilidade de parâmetros, sendo altamente recomendável um estudo mais aprofundado sobre os tipos e efeitos das incertezas.

Para testar a melhor resolução na obtenção do Índice de Ocupação de Plantas a partir da classificação supervisionada, foram determinados 4 tratamentos (TABELA 1).

TABELA 1. Tratamentos utilizados na escolha do melhor método de representação do Índice de Ocupação de Plantas.

Tratamentos	Tamanho dos polígonos de referência*
1	3 x 3 metros (9 m <sup>2</sup> )
2	4 x 4 metros (16 m <sup>2</sup> )
3	10 x 10 metros (100 m <sup>2</sup> )
4	3 x 3 metros adaptado (9 m <sup>2</sup> )

\* Polígonos de referência são áreas delimitadas para o cálculo do Índice de Ocupação de Plantas.

Após a criação das grades com os polígonos seguindo os tamanhos definidos em cada um dos tratamentos, os pixels resultantes da classificação supervisionada contendo os valores de 1 (*Plantas de Café*) e 0 (*Outros*) contidos dentro de cada polígono foram contados e somados, obtendo o número total de pixels no interior de cada polígono e a quantidade de pixels representando plantas de café, respectivamente. Com estes valores, o Índice de Ocupação de Plantas prévio pode ser calculado seguindo a Equação 1.

$$IOP_{prévio} = \frac{SVP \times 100}{TP} \quad (1)$$

Em que:  $IOP_{prévio}$  – Índice de Ocupação de Plantas prévio (%); SVP – somatório dos valores dos pixels em cada polígono; e TP – total de pixels em cada polígono.

Em função da disposição dos polígonos, distância das linhas de plantio e tamanho do talhão, a entrelinha na cultura do café pode representar considerável área sem cultura, devendo ser ajustado considerando que, nesta situação, o IOP nunca atingirá 100%. A Equação 2 ajusta proporcionalmente os valores de IOP e atribui 100% ao valor máximo e 0% ao valor mínimo de IOP em cada talhão.

$$IOP = \frac{(IOP_{prévio} - IOP_{min}) \times 100}{(IOP_{máx} - IOP_{min})} \quad (2)$$

Em que: IOP - Índice de Ocupação de Plantas (%);  $IOP_{prévio}$  - Índice de Ocupação de Plantas prévio da Equação 1 (%);  $IOP_{min}$  - Índice de Ocupação de Plantas mínimo encontrado no talhão em análise (%); e  $IOP_{máx}$  - Índice de Ocupação de Plantas máximo encontrado no talhão em análise (%).

No Tratamento 4, criou-se uma área de 9 m<sup>2</sup> a partir do polígono de 3 x 3 m que foi expandido 1 m nas bordas para atingir 24,39 m<sup>2</sup>, após o cálculo do IOP este mesmo polígono foi retraído em 1 m, retornando para 3 x 3 m e mantendo seu valor do IOP, provocando um efeito de suavização nos dados (FIGURA 3).

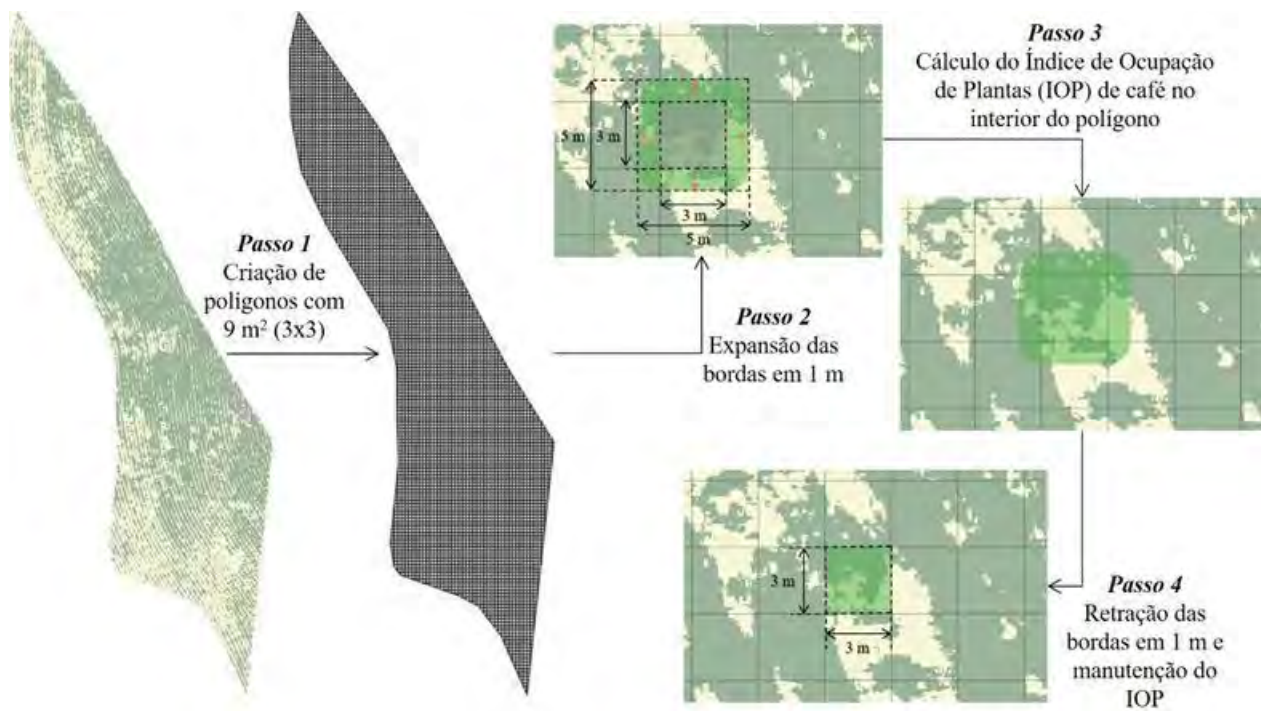


FIGURA 3. Passos para obtenção do Índice de Ocupação de Plantas no Tratamento 4.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A FIGURA 4 apresenta o resultado da classificação supervisionada após a reclassificação nas classes *Plantas de Café* e *Outros*.

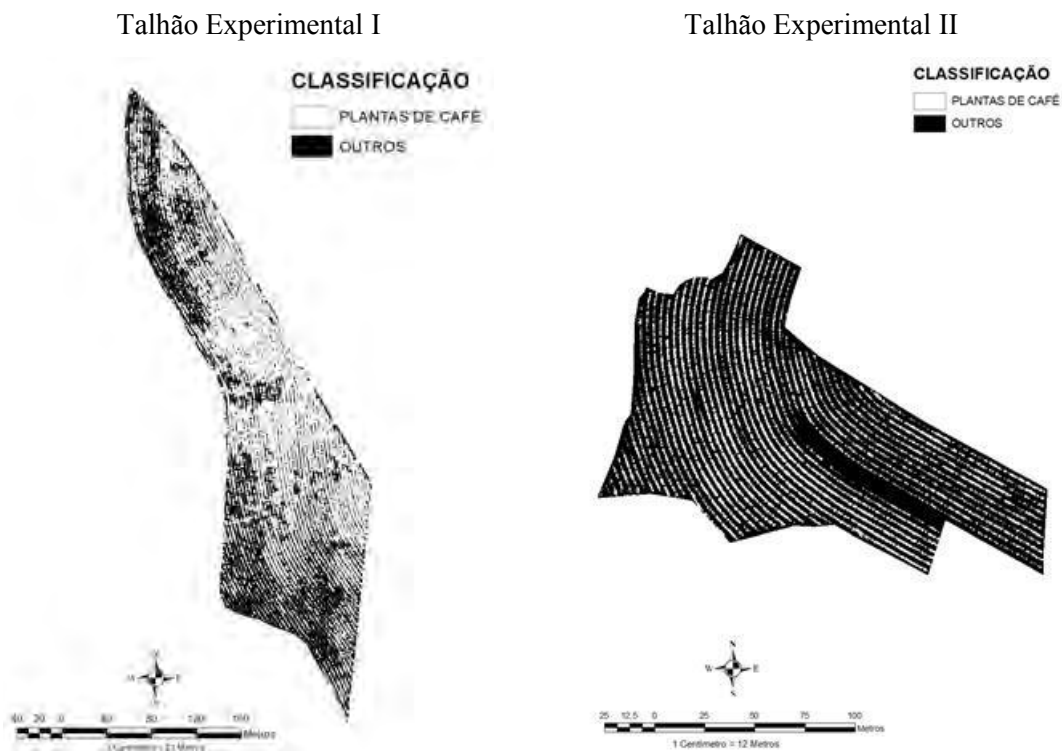


FIGURA 4. Resultado da classificação supervisionada nos dois talhões experimentais.

Foi possível observar durante a classificação supervisionada uma confusão na separação das classes, onde as bandas de refletância RGB das plantas de café se assemelham em alguns locais com a cobertura vegetal nas entrelinhas. Esta semelhança pode ser maior quando o talhão apresenta heterogeneidade no porte

e vigor das plantas que não estão relacionados à presença de pragas como, por exemplo, o nematoide. Com essa semelhança, o algoritmo de classificação se confunde durante o processamento dificultando a separação da área de café com as entrelinhas mesmo com uma quantidade elevada de amostras de treinamento.

Uma prática que poderia ajudar o processo de classificação, seria a captura das imagens após uma dessecação da entrelinha ou quando a entrelinha apresentasse uma coloração mais amarelada se diferenciando das plantas de café.

Após a classificação das imagens, notou-se, que o Talhão Experimental II apresentou maior visibilidade da diferenciação entre plantas de café e entrelinhas comparado ao Talhão Experimental I. Isso está diretamente ligado aos fatores de espaçamento e diferenças entre porte de plantas. Após a classificação a soma dos valores sobrepostos pelos polígonos resultaram nos mapas dos IOP (Figuras 5 e 6).

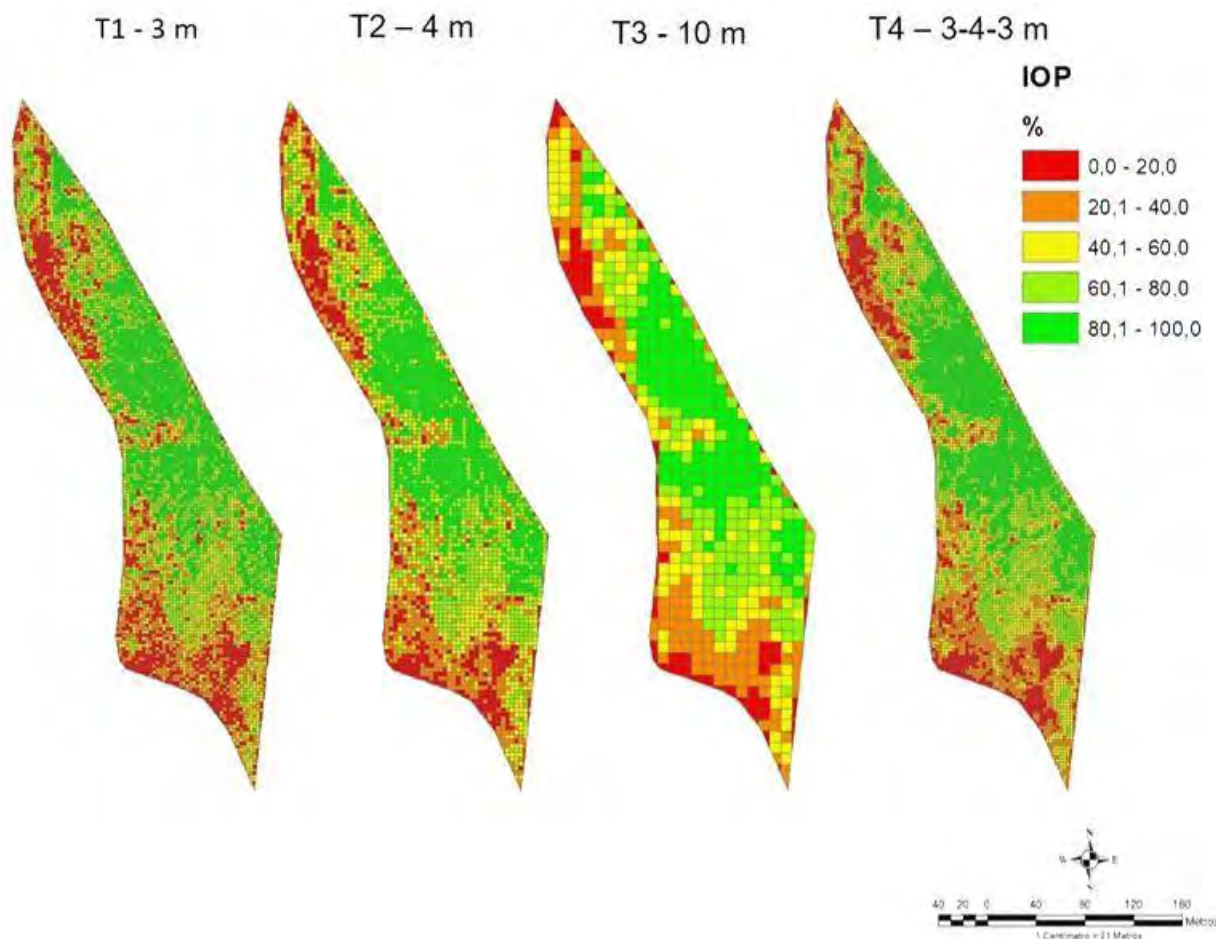


FIGURA 5. Comparativo dos tratamentos em relação a imagem classificada do Talhão Experimental I.

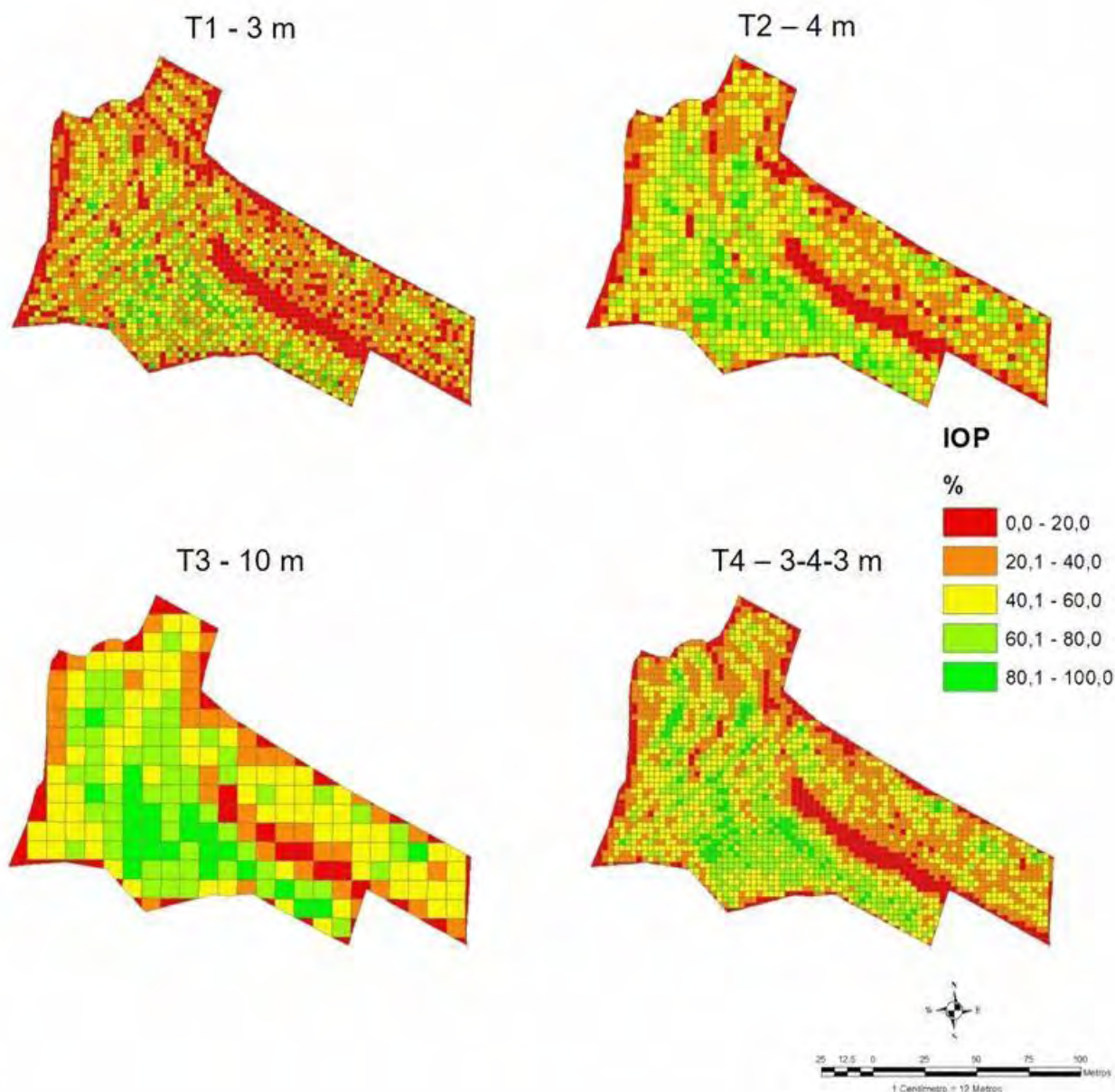


FIGURA 6. Comparativo dos tratamentos em relação a imagem classificada do Talhão Experimental II.

Os tamanhos dos polígonos influenciaram diretamente na resolução da informação em ambos os talhões. O Tratamento 3, com polígonos de tamanho 10 x 10 m mostraram-se incapazes de representar com detalhes as regiões com falhas de plantas, porém não descarta seu uso em imagens orbitais, podendo ser fruto de novas pesquisas.

Os Tratamentos 1 e 2 capturaram os detalhes das falhas, porém, observa-se que o Tratamento 4 conseguiu representar melhor as regiões de maior e menor vigor de plantas. Essa diferença se dá devido ao processo de contagem e soma dos pixels da classificação supervisionada, que no tratamento 4 foi calculado sobrepondo os polígonos vizinhos, removendo qualquer diferença brusca entre os polígonos, já que no processo de geração de polígonos é impossível considerar o alinhamento das linhas de plantio.

Estudos futuros são necessário para definir ajustes nas doses de fertilizantes levando em consideração IOP.

## CONCLUSÃO

Foi possível estabelecer Índices de Ocupação de Plantas na cultura do café com o uso de imagens aéreas utilizando uma metodologia simples e eficaz. A sobreposição dos polígonos, no momento do cálculo do IOP, foi o método que obteve os resultados mais satisfatórios.

O uso do Índice de Ocupação de Plantas pode ser uma importante informação para ajustar as doses de insumos recomendadas com base na quantidade teórica de plantas por hectare, sendo necessário estudos futuros para determinar as curvas de resposta do cafeeiro em função das doses ajustadas.

**AGRADECIMENTOS:** Obrigado ao Sr. José Luiz Burguetti, proprietário da fazenda por disponibilizar a área, onde situa-se o Talhão Experimental I. Agradecemos também a empresa Orion que capturou as imagens utilizados para o levantamento dos dados durante o decorrer do trabalho.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 49-54, 2004. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Ricardo\\_Souza15/publication/291782278\\_Field\\_estimates\\_of\\_coffee\\_yield\\_losses\\_and\\_damage\\_threshold\\_by\\_Meloidogyne\\_exigua/links/57c7e5e908ae9d64047eae58/Field-estimates-of-coffee-yield-losses-and-damage-threshold-by-Meloidogyne-exigua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Souza15/publication/291782278_Field_estimates_of_coffee_yield_losses_and_damage_threshold_by_Meloidogyne_exigua/links/57c7e5e908ae9d64047eae58/Field-estimates-of-coffee-yield-losses-and-damage-threshold-by-Meloidogyne-exigua.pdf) >.

CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode Parasites of Coffee and Cocoa. In: LUC, M.; SIKORA, R. A., et al (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2nd ed.: Cabi, 2005. cap. 14, p.529-580. ISBN 0 85199 727 9.

COELHO, R. D. Drones e Agricultura: Um voo inteligente. 2014. Disponível em: < <http://blog.droneng.com.br/drones-e-agricultura-um-vo-inteligente/> >. Acesso em: July.

CONAB, C. N. D. A. **Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2018**. Brasília, DF: Conab. 5: 1-66 p. 2018.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. rev. Campinas, SP: Instituto de Geociências-UNICAMP, 2002. ISBN 85 853 690 27.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R. (Ed.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p.343-414.

INAMASU, R. Y. et al. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. D. M., et al (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. cap. 1, p.14-26. ISBN 978-85-86463-31-0.

MA, L. et al. A review of supervised object-based land-cover image classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 277-293, 2017. ISSN 0924-2716. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427161630661X> >.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 703-713, Jun 2003. ISSN 1678-3921. Disponível em: < <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6627/3684> >.

ORGANIZATION, I. C. **World coffee consumption**. International Coffee Association April/2018, p.2. 2018

SILVA, R. V. et al. Respostas de genótipos de *Coffea* spp. a diferentes populações de *Meloidogyne exigua*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 205-212, 2007. ISSN 0100-4158. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-41582007000300004&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-41582007000300004&nrm=iso) >.

## **METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE ERROS CAUSADOS PELA INCLINAÇÃO DA COLHEDORA DE GRÃOS EM MAPAS DE PRODUTIVIDADE**

**YAROSLAU MIGUEL KUZICZ<sup>1</sup>, FABRICIO PINHEIRO POVH<sup>2</sup>, LEANDRO SOLANO FLUGEL<sup>3</sup>, ANGELICA IAROS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Bacharel em Informática, Desenvolvedor Web, Setor de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão, Fundação ABC, Castro – PR, Fone: (42) 3233-8600, yaroslau.kuzicz@fundacaoabc.org

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo Dr., Pesquisador, Fundação ABC, Castro – PR

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Assistente de Pesquisa, Fundação ABC, Castro – PR

<sup>4</sup> Tecnóloga em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Assistente Desenvolvedor, Fundação ABC, Castro – PR

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Os monitores de colheita são uma das principais ferramentas da agricultura de precisão, estão disponíveis no Brasil há mais de 20 anos, mas ainda com pouco uso por parte dos agricultores. Por coletar uma grande quantidade de dados, suscetíveis a diversos tipos de erros e por diversos fatores diferentes, demanda tempo e conhecimento para o processamento dos dados. Este é um dos motivos que o torna subutilizado na agricultura de precisão. Este trabalho propõe uma metodologia para identificação e correção de um dos erros, causados principalmente em regiões com relevo mais acidentado como o sul do Brasil, o efeito da inclinação da colhedora nos dados de produtividade. A metodologia consiste em recriar o modelo digital de elevação com os dados de elevação obtidos na colheita, verificar a posição da máquina no terreno e então analisar a inclinação transversal e longitudinal. Na sequência é construído um modelo para analisar o efeito da inclinação na produtividade e corrigir o erro encontrado no mapa original. A rotina programada no software R, foi aplicada em diversos mapas de colheita, e se mostrou eficiente. Além disso, permitiu identificar que o erro causado pela inclinação é diferente entre marcas e modelos, não sendo possível generalizar a correção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor de fluxo de grãos, dados errôneos, elevação

### **METHODOLOGY TO IDENTIFY AND FIX ERRORS CAUSED BY COMBINE INCLINATION ON GRAIN YIELD MAPS**

**ABSTRACT:** Yield monitors are one of the main tools for precision agriculture. They are available in Brazil for more than 20 years, but still not much used by farmers. Collecting huge amount of data, susceptible to many different types of errors and by many different factors, it demands a lot of time and knowledge to process. For these reasons, it becomes a technology with slow adoption in precision agriculture. This work shows a methodology to identify and fix one of the errors caused mainly in regions with higher slope, like south Brazil, which is the effect from the combine inclination on yield data. The objective were to recreate the elevation digital model with the elevation data from the combine, than verify the combine position on the terrain and then calculate the lateral and frontal inclination. After that, built a graph that allows analyzing the effect of inclination on yield and fixing the errors found on the original map. The routine, programmed on R software, was tested in many different yield maps, showing to be efficient. Besides, allowed to identify that the error caused by the inclination is different among brands and models, not being possible to generalize the correction.

**KEYWORDS:** Grain flow sensor, erroneous data, elevation

### **INTRODUÇÃO**

O avanço tecnológico dos últimos anos esteve fortemente presente no campo, seja com novas tecnologias em máquinas agrícolas, utilização de ARPs (aeronaves remotamente pilotadas), sensoriamento remoto a partir de imagens de satélites ou com a conectividade, que contribuiu para o surgimento de plataformas web e permitem a visualização de dados de diversos tipos de tarefas. Contudo, toda esta evolução



parece não envolver uma das principais ferramentas da agricultura de precisão, segundo Sudduth e Drummond (2007), o mapa de colheita. A grande maioria dos métodos para eliminação de erros nos mapas de colheita foram criados a quase duas décadas, com pouca evolução nesse período. Mesmo aplicando estes métodos nas máquinas mais recentes, os dados quase sempre apresentam erros, e dependendo dos filtros aplicados, cerca de 29% dos dados podem ser removidos (Spekken et al., 2013).

Ao iniciar o desenvolvimento de uma ferramenta que encontrasse erros no mapa de colheita, todos os métodos mais difundidos foram implementados, entre eles: atraso no fluxo de grão, atraso no início das passadas, atraso no fim das passadas, velocidades máximas e mínimas, posicionamento, extremos de produtividade máximas e mínimas, e tamanho de plataforma (Blackmore e Moore, 1999; Sudduth e Drummond, 2007). Entretanto, mesmo aplicando diversos filtros, muitos erros ainda permanecem, sejam por falhas de leitura dos sensores, peculiaridades no projeto da máquina, ocorrências climáticas ou a própria forma do relevo. Entendendo qual fator causa o erro, pode-se analisar o cenário isoladamente e identificar quando ocorrem e quais são as suas características. O erro abordado neste trabalho é a junção de dois fatores: forma de relevo e projeto da máquina, (neste caso o sensor de fluxo de grãos). Este erro se torna mais comum em áreas de relevo acidentado, o que afeta diretamente a inclinação da máquina em campo e, conseqüentemente o funcionamento do sensor, seja ele gravimétrico ou volumétrico, cada um exercendo maior influência em inclinações longitudinais ou transversais, respectivamente. Quando os erros são sistemáticos é possível encontrar um padrão e assim corrigi-los. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que identifica erros ocasionados pela inclinação transversal e longitudinal da colhedora de grãos, situação comum no sul do Brasil, assim como uma forma de correção para estes dados. Erros causados pela inclinação da colhedora de grãos no momento da colheita podem ser confundidos com o atraso no fluxo de grãos, por isso, um novo gráfico de dispersão é apresentado, que facilita a verificação da ocorrência deste tipo de erro.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta para correção do erro causado pela inclinação da colhedora, faz parte de uma ferramenta que está sendo desenvolvida para processamento e correção de mapas de colheita pelo setor de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão da Fundação ABC. Para o desenvolvimento, foi utilizada a linguagem de programação R, que proporcionou maior agilidade ao processo de desenvolvimento. De acordo com Wickham e Grolemund (2017), R não é apenas uma linguagem de programação, mas também um ambiente interativo para fazer *data science*. Após descarregar os dados brutos da colhedora de grãos e converter os arquivos em um software dedicado à agricultura de precisão, neste caso o SMS Advanced® da AgLeader®, o arquivo é exportado em forma de tabela em arquivo com extensão .CSV. O processo se inicia com a inserção da tabela no ambiente de trabalho do R. Com os dados de elevação coletados pela máquina FIGURA 1, realiza-se a interpolação utilizando o método do inverso da distância ao quadrado (IDW) em uma grade com células de 5x5m de distância.

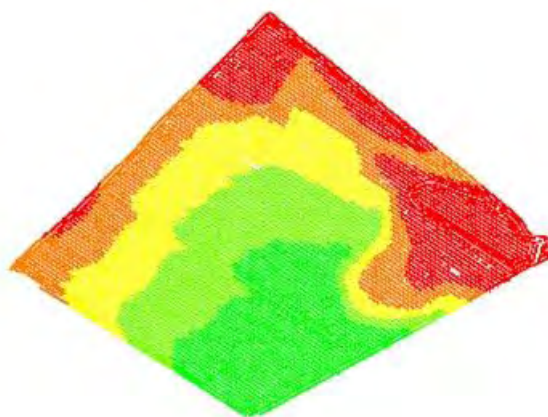


FIGURA 1. Dados brutos de elevação coletados pela colhedora.

Após este processo, percorre-se toda a grade de interpolação, identificando a elevação das células vizinhas, em cada uma das orientações, pontos destacados em vermelho na FIGURA 2. Este procedimento se faz necessário para que seja possível utilizar a célula do raster como um limite virtual ao atribuir a média de elevação dos vizinhos para cada vértice da célula, para assim simular a inclinação do terreno. Para esta etapa, os valores da primeira e última passada de cada eixo foram desconsiderados, visto que nestas células não seria

possível realizar o cálculo. Este processo não representa perda de informação, pois estas faixas de dados foram extrapoladas pela interpolação.

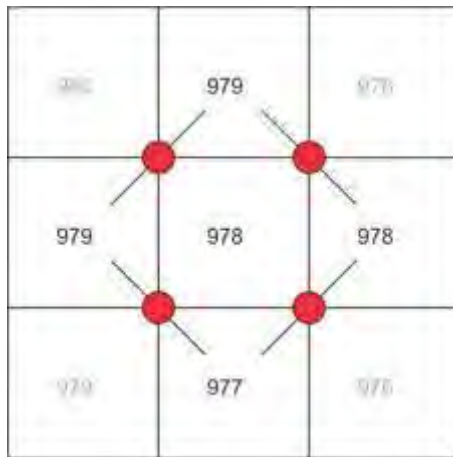


FIGURA 2. Células do raster demonstrando a orientação para cálculo de elevação para cada vértice.

Depois da obtenção do valor de elevação de cada vértice, os dados de colheita são sobrepostos sobre a malha de interpolação, como mostra a FIGURA 3a, e com isso, é possível simular a posição da máquina sobre o perfil do terreno em uma área de 25m<sup>2</sup>, conforme mostra a FIGURA 3b, onde cada ponto assume a posição central da célula virtual e com o seu valor de direção (direção da máquina no campo), pode-se calcular a inclinação longitudinal e transversal da colhedora em cada ponto do mapa de colheita. O ponto vermelho em destaque representa o cenário obtido para cada ponto da leitura.

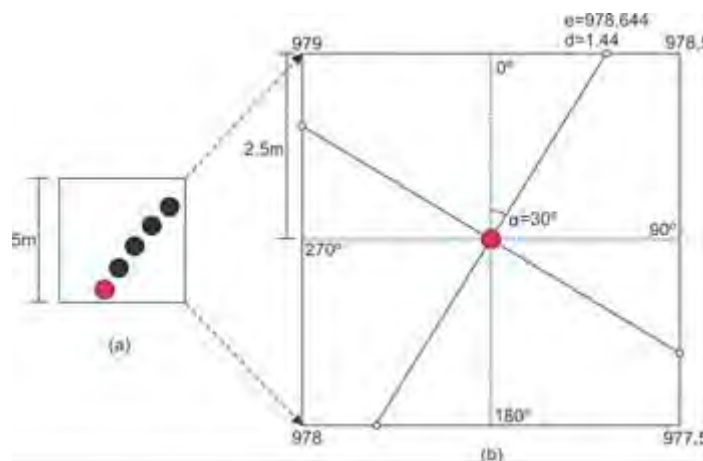


FIGURA 3. Sobreposição dos dados sobre a célula do raster (a) e orientação do ponto na célula com seu ângulo de direção e esquema para cálculo trigonométrico (b). Em que: **d** é a distância calculada para o ângulo de 30°; e é a elevação calculada para a distância de 1,44m.

Para realizar este cálculo, existem dois possíveis cenários: ao utilizar a célula como o limite de projeção para a reta referente a direção da máquina, quando a colhedora está em direção aos ângulos entre 45°~90°, 135°~180°, 225°~270° e 315°~360°, subtrai-se o valor referente a distância de 2,5m (para células de 5x5m) e o ângulo da direção, em módulo do ângulo de referência maior mais próximo (90°, 180°, 270° e 360°), no primeiro cenário (1). No segundo cenário, apenas efetua-se os cálculos sem a subtração da distância de 2,5m e utiliza-se o ângulo de referência menor mais próximo, visto que o valor do ângulo é referente a segunda parcela da reta (2).

$$d = 2,5 - \left( 2,5 * \tan \left( |\alpha - \alpha_{ref}| * \frac{\pi}{180} \right) \right) \quad (1)$$

$$d = \left( 2,5 * \tan \left( |\alpha - \alpha_{ref}| * \frac{\pi}{180} \right) \right) \quad (2)$$

Em que:  $d$  - distância da interseção da projeção da reta ao ponto de referência ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ou  $270^\circ$ );  $\alpha$  - ângulo da direção da colhedora em graus;  $\alpha_{ref}$  - ângulo de referência em graus ( $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  ou  $360^\circ$ );  $\tan$  - tangente;  $\pi - 3,14$ ;

Com o resultado da distância, pode-se utilizar regra de três para calcular o valor da elevação correspondente a cada orientação da máquina, atentando-se a correta correspondência da direção com a face da célula da interpolação, como descrito na FIGURA 3b, visto que os valores de elevação variam nos quatro cantos da célula. Após obter os valores da elevação, basta aplicar a equação (3), para obter o comprimento total entre as intercessões de um mesmo eixo com as faces da célula, somente então calcula-se a inclinação longitudinal (4) e transversal (5) para concluir o processo.

$$C = \frac{2,5}{\cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)} * 2 \quad (3)$$

$$\alpha_{longitudinal} = \frac{\text{atan}\left(\frac{N-S}{C}\right)}{\pi * 180} \quad (4)$$

$$\alpha_{transversal} = \frac{\text{atan}\left(\frac{L-O}{C}\right)}{\pi * 180} \quad (5)$$

Em que: N - elevação projetada para frente da máquina; S - elevação projetada para trás da máquina; L - elevação projetada para o lado direito da máquina; O - elevação projetada para o lado esquerdo da máquina; C - comprimento calculado (3);  $\alpha$  - ângulo da direção da máquina;  $\alpha_{longitudinal}$  - ângulo de inclinação longitudinal (graus);  $\alpha_{transversal}$  - ângulo de inclinação transversal (graus).  $\text{atan}$  - inverso da tangente;  $\pi - 3,14$ ;

Uma maneira de visualizar os dados e a divergência de produtividade em relação a inclinação é através do gráfico proposto na FIGURA 4, que utiliza o valor da inclinação longitudinal (frontal) e transversal (lateral) de cada ponto, classificado em relação a produtividade. Na imagem a seguir, verifica-se que, ao inclinar negativamente (máquina em declive), o valor de produtividade aumenta e ao inclinar positivamente (máquina em aclave), a produtividade diminui. Nota-se também que a inclinação transversal não exerceu influência nos valores de produtividade. O mapa de colheita utilizado neste trabalho é referente a cultura do trigo na safra de inverno de 2013, o sensor de fluxo de grãos presente na máquina é gravimétrico, por isso existe uma influência expressiva da inclinação longitudinal neste mapa.

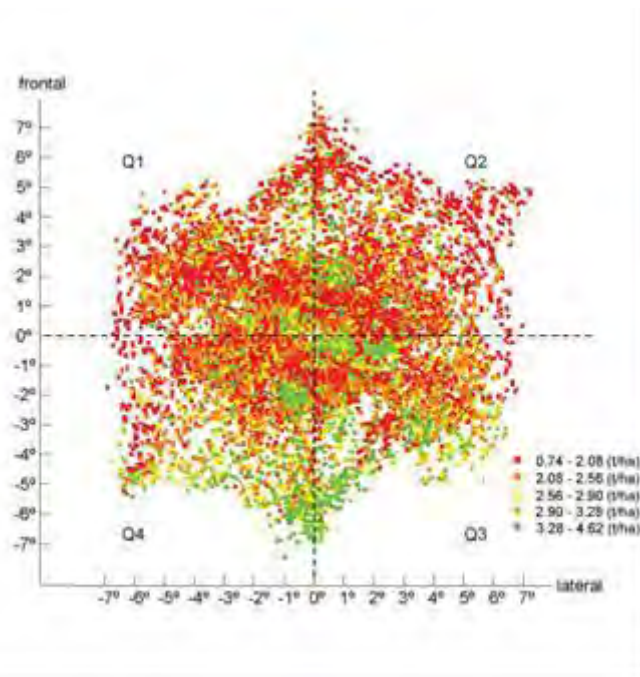


FIGURA 4. Gráfico de dispersão composto pela inclinação longitudinal (frontal) x inclinação transversal (lateral), classificado pela produtividade.

Em um cenário perfeito, os valores do primeiro quadrante, demonstrado na FIGURA 4, deveriam chegar o mais próximo possível dos valores do quadrante 3, assim como o quadrante 2 deveria ser a cópia do quadrante 4. Isto ocorre porque, em passadas sequenciais, quando a máquina cruza o talhão e volta, os valores da sua inclinação são opostos, mas os dados pertencem à mesma região. Se a máquina está colhendo em uma subida com uma inclinação para seu lado direito ela se encontra no quadrante Q2, ao terminar a passada e voltar no sentido inverso, ela estará em Q4, pois sua inclinação longitudinal agora é negativa e sua inclinação transversal também. Desta forma, as produtividades destes pontos não deveriam apresentar diferença expressiva. Com base nesta informação, um algoritmo percorre a estrutura de dados, separando cada faixa de inclinação de 1° com sua inclinação oposta FIGURA 5a, ao mesmo tempo em que para cada ponto separado, busca o vizinho mais próximo na inclinação oposta, respeitando a distância máxima configurada com o valor da largura de uma plataforma e meia (FIGURA 5b).

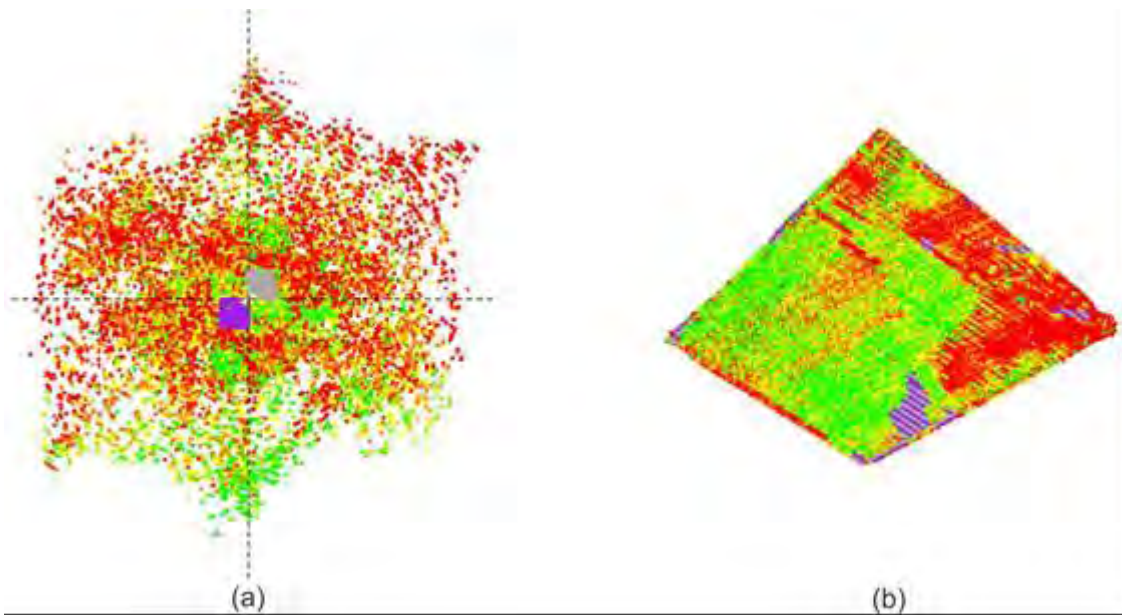


FIGURA 5. Separação de regiões com inclinações opostas (a) e busca de vizinho mais próximo para cada ponto (b).

Com o término deste processo, uma nova estrutura de dados é obtida, composta pelos dados necessários para calcular a média de produtividade de cada ponto com seu vizinho mais próximo, que respeite todos os critérios demonstrados, obtendo assim um valor ajustado de produtividade para cada ponto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método mostrou-se eficiente em recriar a elevação longitudinal e transversal da máquina utilizando apenas informações presentes no mapa de colheita (longitude, latitude, direção e elevação). O gráfico de dispersão apresenta uma forma clara de observar a influência ocasionada na produtividade pela variação da inclinação, seja ela simples ou composta (inclinação longitudinal + inclinação transversal). Assim como uma forma de corrigir erros de inclinação, visto que em alguns casos, pode ser facilmente confundido com o erro ocasionado pelo atraso do fluxo dos grãos. Apenas utilizando o método proposto, sem aplicação de nenhum outro filtro, obteve-se o mapa apresentado na FIGURA 6b. Ao corrigir os dados, a média de produtividade do talhão manteve-se a mesma, com pequena redução no coeficiente de variação de 42% para 37%. Um fator positivo é o fato do método não comprometer a visualização do mapa em formato de pontos, possibilitando identificar manchas de terraços, erosões etc., que são mascarados pela interpolação.

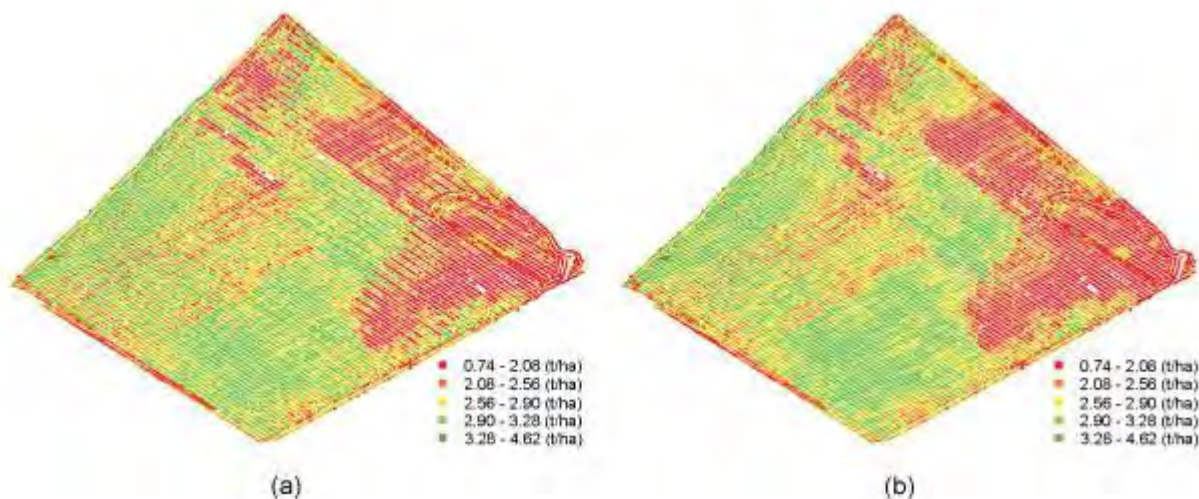


FIGURA 6. Dado bruto de produtividade (a) e mapa de produtividade após aplicação do método proposto (b).

Esta rotina foi utilizada para correção de erros em diversos mapas de produtividade, de diversas safras e culturas, que apresentavam erro de inclinação. A FIGURA 7 apresenta o mapa de colheita da soja na safra de 2014, o sensor presente na máquina é do tipo gravimétrico. Foi observado que o erro varia de acordo com a marca e modelo de colhedora utilizada, devido ao tipo de sensor de produtividade presente, algumas com maior ou menor influência da inclinação, algumas com maior interferência com inclinação transversal (sensor volumétrico) e outras com maior interferência com a inclinação longitudinal (sensor gravimétrico). Mesmo com a visível evolução dos monitores de colheita, os sensores não evoluíram na mesma velocidade, e identificando a origem destes erros, pode-se no futuro, melhorar a forma como os dados são obtidos ou até mesmo corrigir o erro em tempo de execução e entregar um produto com maior fidelidade, como ocorre com outros equipamentos.

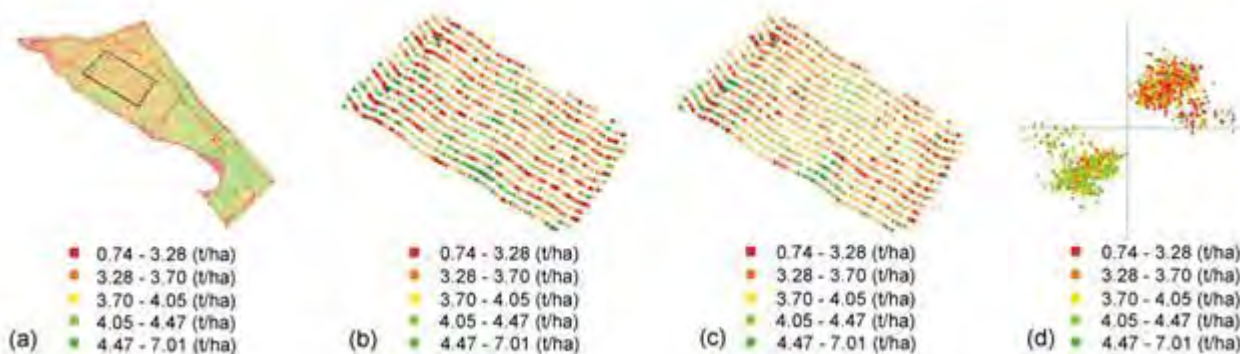


FIGURA 7. Dado bruto de produtividade com região em destaque separada para estudo (a), dado bruto da região em destaque (b), resultado obtido após utilizar o método proposto (c) e gráfico de dispersão apresentando influência da inclinação na produtividade (d).

## CONCLUSÃO

A metodologia se mostrou eficiente para identificação e correção dos erros dos dados dos mapas de colheita relacionados com a inclinação da colhedora de grãos no momento da colheita. Algumas melhorias devem ser feitas como uma rotina para isolar a influência da inclinação em apenas um eixo, podendo assim criar uma curva de calibração, para cada máquina, cultura e talhão, de maneira automática. Para um melhor resultado é necessária a correção dos demais erros, pois são diversos os fatores que influenciam na qualidade dos dados obtidos pela máquina.

## REFERÊNCIAS

BLACKMORE S.; MOORE M. Remedial Correction of Yield Map Data. **Precision Agriculture**, v.1, p.53-66, 1999.

SPEKKEN M.; ANSEMI A.A.; MOLIN J.P. A simple method for filtering spatial data. **Precision Agriculture**, 9th European Conference on Precision Agriculture, Lleida, Spain, 2013.

SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND S.T. Yield Editor: Software for Removing Errors from Crop Yield Maps. **Agronomy Journal**, v.99, p.1471-1482, 2007.

WICKHAM H.; GROLEMUND G. **R for Data Science**. Sebastopol, O'Reilly Media, 2017.

## **MODELO PARA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO SENSOR DE VEGETAÇÃO**

**ANDRE L. VIAN<sup>1</sup>, CHRISTIAN BREDEMEIER<sup>1</sup>, JOÃO L. F. PIRES<sup>2</sup>, CAROLINA TRENTIN<sup>3</sup>, ANGELICA C. A. MANFRON<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Plantas de Lavoura, UFRGS, Porto Alegre – RS, Fone: (55) 999002542, andre.vian@ufrgs.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo – RS.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Mestranda do PPG Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre – RS.

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Mestranda do PPGAgro, UPF, Passo Fundo – RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo para recomendação da adubação nitrogenada em cobertura em trigo em função da demanda nutricional de nitrogênio pela cultura no estágio de seis folhas completamente expandidas, usando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) medido por um sensor ativo de vegetação. O trabalho a campo foi conduzido na Embrapa Trigo (Passo Fundo, RS). As cultivares utilizadas foram BRS Parrudo, BRS Marcante e TBIO Sossego. O algoritmo proposto neste trabalho foi criado em função da demanda nutricional de nitrogênio pela cultura do trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas. O algoritmo proposto apresenta facilidade de implementação a campo, devido à relação da quantidade de N acumulada na parte aérea com os valores de NDVI, conferindo um modelo simples para a indicação de N a taxa variada na cultura do trigo, utilizando sensor ativo de vegetação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Algoritmo de adubação, índice de vegetação, adubação nitrogenada.

### **MODEL FOR TOPDRESSING NITROGEN RECOMMENDATION IN WHEAT USING A OPTICAL SENSOR**

**ABSTRACT:** The objective this work was develop an algorithm of easy application for the recommendation the nitrogen fertilization in topdressing wheat in function nutritional nitrogen demand by the culture at 6th-leaf stage, using the normalized difference vegetation index measured by active vegetation sensor. The field work was carried in Embrapa Trigo. The cultivars used were BRS Parrudo, BRS Marcante and TBIO Sossego. The algorithm proposed in this work was created in wheat in function nutritional nitrogen demand by the culture at 6th-leaf stage. The proposed algorithm presents easy implementation in the field, due to the relation the N in the aerial part with the values of NDVI, a simple model conferring for the indication of the N the varied rate in wheat crop, using active sensor of vegetation.

**KEYWORDS:** Fertilization algorithm, vegetation index, nitrogen fertilization.

### **INTRODUÇÃO**

A recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do trigo no Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) é definida em função do teor de matéria orgânica no solo, da cultura antecessora e da expectativa de rendimento de grãos (Reunião, 2017). Esta forma tradicional de recomendar nitrogênio em cobertura a taxa fixa desconsidera a variabilidade espacial do crescimento das plantas e do potencial produtivo, a qual é promovida pelos diferentes tipos de solo, mineralização da matéria orgânica, variações de relevo, variabilidade de distribuição de palha da cultura antecessora, entre outros (Amado, 2016).

Para realizar a recomendação de N em função da demanda nutricional das plantas, alguns modelos foram desenvolvidos para que as aplicações a taxa variada pudessem se tornar uma realidade. Esses algoritmos levam em consideração variáveis como a disponibilidade de N no solo, condições meteorológicas, estágio de desenvolvimento da cultura, conteúdo de clorofila, demanda nutricional e o potencial produtivo (Schmidt et al., 2011; Holland & Schepers, 2013). Porém, a dificuldade em trabalhar a campo com as inúmeras variáveis

necessárias para viabilizar o uso desses algoritmos, como o uso de graus dia, acúmulo de soma térmica, etc., gerou a necessidade de desenvolver algoritmos simples e práticos, apenas em função de um atributo o qual será o NDVI. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos para as culturas da cana-de-açúcar, algodão e milho para as condições edafoclimáticas do cerrado brasileiro (Shiratsuchi et al., 2014; Trevisan, 2016).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo de fácil aplicação para recomendação da adubação nitrogenada em cobertura em trigo em função da demanda nutricional de nitrogênio pela cultura no estágio de seis folhas completamente expandidas, usando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) medido por um sensor ativo de vegetação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho a campo foi conduzido em 2016 na Estação Experimental da Embrapa Trigo, localizada no município de Coxilha (RS), região fisiográfica do Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul, pertencente à Região Homogênea de Adaptação de Cultivares 1 (Reunião, 2017). O clima é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koppen (Inmet, 2016), com altitude média de 689 metros acima do nível do mar. A precipitação pluvial média anual em Coxilha é de 1.788 mm e a temperatura média mensal do ar do mês mais quente é de 22°C e a média do mês mais frio é de 12,9°C (Inmet, 2016). O solo predominante na região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico, caracterizado por possuir boa drenagem, ser profundo e com aptidão para cultivos anuais de grãos (Streck et al., 2008).

Para o desenvolvimento do algoritmo, optou-se por realizar a semeadura do trigo sob resteva (resíduos) de lavoura de soja, uma vez que este é o sistema de sucessão que ocorre com maior frequência nos Estados do RS e SC. A dessecação das áreas antes da implantação dos experimentos foi realizada com herbicida de ação total a base de glyphosato (3 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial) (Reunião, 2017). As cultivares utilizadas foram BRS Parrudo, BRS Marcante e TBIO Sossego. Todas as cultivares utilizadas são indicadas para cultivo na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares 1. A densidade de semeadura foi de 300 sementes aptas m<sup>-2</sup>, sendo realizada na primeira semana de junho. Cada parcela foi constituída de 10 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,17 m. A adubação de base foi de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os tratos culturais foram realizados segundo as indicações técnicas para a cultura do trigo (Reunião, 2017).

O algoritmo proposto neste trabalho foi criado em função da demanda nutricional de nitrogênio pela cultura do trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas. Para tanto, foi considerada a curva de absorção de N pelo trigo proposta por Wiethölter (2011). Essa curva se caracteriza pela elevada absorção de N entre os estádios de alongamento dos entrenós e espigamento, podendo atingir o máximo próximo aos 100 dias após a emergência das plantas (Figura 1). Portanto, uma adubação nitrogenada adequada no período anterior a essa máxima absorção permite adequada disponibilidade de N para o crescimento das plantas e para a definição de elevado potencial produtivo.

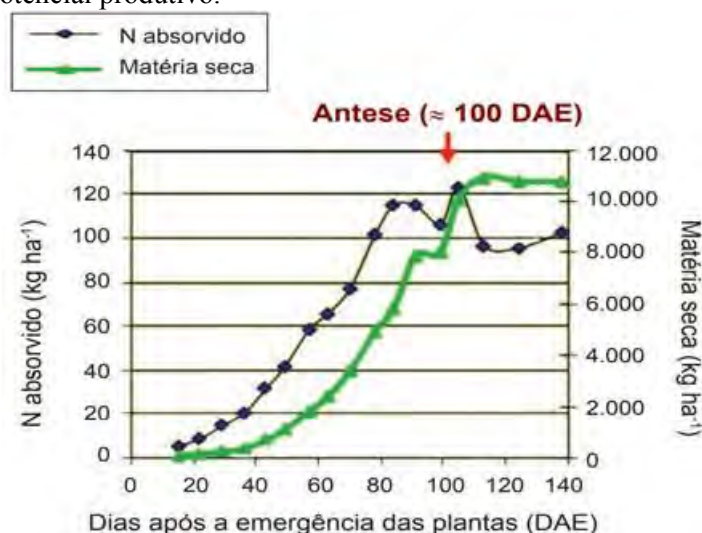


FIGURA 1. Curva de absorção de nitrogênio pela cultura do trigo, adaptada de Wiethölter (2011).

A adubação nitrogenada em cobertura em trigo é recomendada para o estágio de seis folhas completamente expandidas, pois é o momento que as plantas apresentam a melhor resposta à adubação. Dessa forma, o estágio de seis folhas, nas condições onde o ensaio foi conduzido, geralmente ocorre entre 40 a 50 dias após a emergência das plantas e, neste momento, as plantas já deverão ter absorvido um total de aproximadamente 30 a 40 kg N ha<sup>-1</sup>, para que altos potenciais produtivos possam ser alcançados. Desta forma,



o algoritmo tem por objetivo aplicar a dose recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Reunião, 2017), denominada de ROLAS, adicionada da quantidade de N necessária para suprir a demanda da planta neste estágio, considerando o padrão mostrado na Figura 1. Desta forma, a união da curva de absorção de nitrogênio pela cultura do trigo juntamente com a recomendação de N pelo ROLAS para a mesma cultura, assim o modelo criado leva em consideração como base a dose recomendada pelo ROLAS e apresentando a variação na dose de N em função do conteúdo de N absorvido pela planta, para ajustar a dose de N para mais ou para menos em relação a dose ROLAS. Neste sentido, buscou-se avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio aplicadas na base, com o intuito de criar variabilidade inicial na absorção de N pelas plantas, e, posteriormente, quantificou-se a quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas.

Os tratamentos foram alocados no delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos utilizados tiveram o objetivo de criar variabilidade na absorção de N no estágio de seis folhas completamente expandidas, com o intuito de simular a realidade encontrada a campo, criando diferentes demandas potenciais de nitrogênio. Para tanto, foram utilizadas doses de nitrogênio aplicadas na emergência das plantas (base) (0, 15, 30, 45 e 60 kg N ha<sup>-1</sup>), além de tratamento denominado de “PADRÃO”, onde foi aplicada a dose recomendadas pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (Reunião, 2017), no qual foi aplicada a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. A fonte de N utilizada foi ureia (45% de N).

A leitura da reflectância do dossel vegetativo foi realizada com o sensor óptico ativo GreenSeeker, sendo calculado o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index). O NDVI é calculado utilizando a seguinte fórmula:  $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$ , onde V refere-se à reflectância no vermelho (680 nm) e IVP refere-se à reflectância na região do infravermelho próximo (770 nm). As leituras foram realizadas com o equipamento posicionado paralelamente às linhas da cultura, a 0,8 m acima do dossel (Figura 2), sendo avaliadas as linhas centrais da parcela.

No estágio da sexta folha completamente expandida (Escala Haun) (Haun, 1973), correspondente ao Estádio 3 da escala adaptada de Feekes & Large (Escala - Large, 1954) e ao estágio 23 da escala de Zadoks (Escala Zadoks, Chang & Konzac, 1974), foi realizada amostragem de biomassa da parte aérea dos diferentes tratamentos, em três linhas de 0,5 m de comprimento, totalizando área de 0,27 m<sup>2</sup>. Posteriormente, realizou-se a quantificação dos teores de N no tecido vegetal, seguindo o método Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995). Em um segundo momento, multiplicou-se a concentração de N no tecido pela biomassa seca da parte aérea, obtendo-se a quantidade de N acumulada na parte aérea (kg ha<sup>-1</sup>). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, com auxílio do pacote estatístico SAS<sup>TM</sup> (Statistical Analysis System - SAS 8.0). Para as variáveis analisadas, foi realizada a análise de variância ANOVA e, posteriormente, análise de regressão entre os valores de NDVI e N acumulado, ao nível de p<0,05.

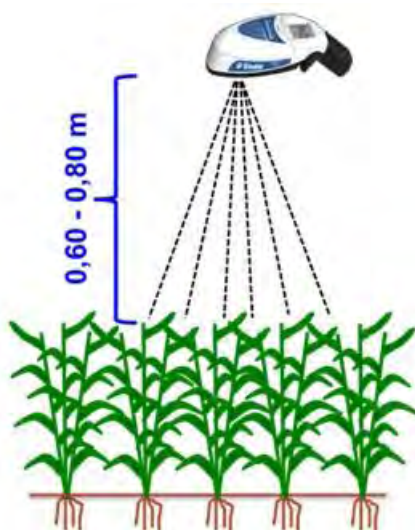


FIGURA 2. Orientação nadir de leitura do NDVI com o sensor Greenseeker.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de biomassa na parte aérea do trigo têm alta relação com as doses de nitrogênio aplicadas na semeadura, quando coletadas no estágio da sexta folha completamente expandida, além de

apresentar alta relação com os valores de NDVI (Bredemeier, 1999; Turra, 2016). A relação entre os teores de N acumulado na parte aérea da cultura está ligada com a disponibilidade de N no solo, pois, quando há variação na disponibilidade de N no solo, haverá variação na quantidade de N acumulada no dossel.

A variação de produção de biomassa e, conseqüentemente, no acúmulo de N nos tecidos vegetais pode ser estimada, de forma indireta, pelo emprego de sensores de vegetação, os quais informam um índice de vegetação, como, por exemplo, o NDVI. A maior disponibilidade de N para as plantas proporciona maior acúmulo de biomassa fotossinteticamente ativa. Desta forma há maior reflectância no infravermelho e uma maior absorção da radiação no vermelho, devido à concentração de clorofilas e, desta maneira, ocorre o aumento nos valores de NDVI (Rizzi, 2004; Povh et al., 2008).

Ressalta-se que os dados apresentados são apenas uma parte do trabalho desenvolvido em apenas um ano de avaliação à campo, dessa forma variações nos resultados encontrados são esperados para anos que apresentem variação na condição climática. A partir da avaliação da quantidade de N acumulado no tecido no estádio da sexta folha (Figura 3), realizou-se a subtração do teor de N acumulado ( $35 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), valor esse obtido da Figura 1. A fórmula da subtração utilizada para determinar a demanda de N é a seguinte: Demanda de N =  $35 \text{ kg N ha}^{-1} - \text{N acumulado no tecido (kg N ha}^{-1})$ , utilizando a fórmula da Figura 3 (Demanda de N na sexta folha =  $114,187 - 152,84 \text{ NDVI}$ ) para a estimativa da quantidade de N acumulado na parte aérea. Desta forma, no estádio da sexta folha completamente expandida, é necessário que a planta tenha acumulado  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$ , para que o potencial de rendimento acima de  $5.000 \text{ kg ha}^{-1}$  possa ser atingido.

Observa-se que o sensor óptico de dossel foi capaz de estimar o teor de N no tecido. Esta ferramenta apresenta potencial para estimar a absorção do nutriente (Nitrogênio) na parte aérea da cultura em tempo real ao longo do ciclo de crescimento da cultura, dados esses que corroboram com os dados encontrados por Grohs *et al.* (2009). Porém alerta-se que há necessidade da realização de novas curvas de calibração para outros ambientes de produção com características de solo e de clima diferenciadas. Na Figura 4, são apresentados os valores da demanda de N pela cultura, onde os valores mais baixos de NDVI foram associados às maiores demandas (em torno de  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

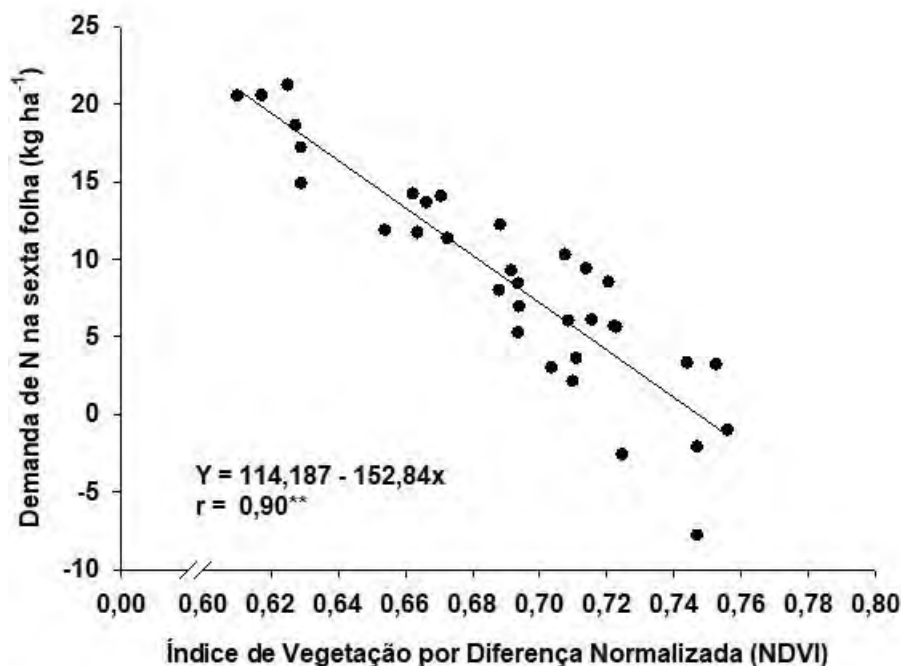


FIGURA 3. Demanda de nitrogênio em função dos valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Embrapa Trigo, 2016. \*\* Significativo a  $p < 0,01$ .

A partir das etapas anteriores de construção do algoritmo, as quais serviram para quantificar os teores de N acumulado no tecido e mensurar a demanda de N pela cultura na fase inicial de crescimento, foi possível desenvolver a terceira etapa, a qual é o protótipo do algoritmo para indicação da aplicação de N a taxa variada.

O protótipo do algoritmo foi definido com o objetivo de ser de simples e prática utilização a campo. Esta metodologia leva em consideração dois fatores fundamentais para a definição da dose a ser aplicada em cobertura. O primeiro fator é determinar quanto de N está faltando para as plantas atingirem o valor de  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$  acumulado na parte aérea, a partir da estimativa, pelo NDVI, da quantidade de N de fato absorvida até

o estágio de seis folhas completamente expandidas. Com a definição dessa variável, a mesma deve ser somada com a dose de N recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do rio Grande do sul e Santa Catarina – ROLAS (80 kg N ha<sup>-1</sup>).

Essa dose recomendada pelo ROLAS em cobertura é a dose média utilizada no ambiente produtivo da cultura do trigo apresenta as melhores respostas. Porém o protótipo está considerando o máximo potencial produtivo da cultura no ambiente de produção, desta maneira busca-se variar a dose de N de acordo com a demanda nutricional de nitrogênio das plantas até o momento da adubação de cobertura, na sexta folha (6<sup>o</sup> folhas). Vale ressaltar que essa variação na demanda nutricional das plantas no início do desenvolvimento, pode ser ocasionada por várias condições edafo-climáticas do ambiente de produção. Assim assume-se que o protótipo de adubação em taxa variada considera apenas o potencial produtivo como fixo (5.000 kg ha<sup>-1</sup>) e a dose de N para que se atinja essa produção de grãos, é considerada variável ao longo da lavoura, ou seja, levando em consideração a variabilidade espacial existente na área, realizando a redistribuição de N em função da demanda de N pelas plantas.

Para construir o protótipo do algoritmo, foi utilizada a seguinte equação: Dose de N recomendada pelo algoritmo proposto = Diferença entre a quantidade de N acumulada “ideal” (35 kg ha<sup>-1</sup>) e a quantidade de N acumulada no tecido + dose escolhida pelo manual de adubação e calagem (80 kg ha<sup>-1</sup>). Essas características apresentadas acima poderão ser utilizadas como balizadoras para a definição da dose de N a ser aplicada em cobertura e também como um método de redistribuição de N no campo, considerando as diferentes regiões produtoras de trigo no sul do Brasil. Essas doses de N definidas a partir do ROLAS serão ajustadas em função da quantidade de N acumulada estimada pelo NDVI.

Como pode ser observado na Figura 4, o algoritmo proposto obteve um  $r = 0,95$  para as três cultivares utilizadas no experimento conduzido na safra agrícola 2017. Observa-se que o algoritmo proposto obteve um ótimo ajuste de recomendação de N. Dessa forma, a definição da dose fica atrelada ao valor de NDVI, sendo calculada a partir da fórmula: Dose de N (kg ha<sup>-1</sup>) = 281,2 – (222,5\* NDVI). No algoritmo proposto, observa-se que as doses mínimas indicadas com base no NDVI ficaram próximas a dose de 110 kg N ha<sup>-1</sup>, para um NDVI de 0,73 (Figura 4), pois as plantas apresentavam altos teores de N acumulados no tecido vegetal no estágio da sexta folha completamente expandida. Porém, para baixos valores de NDVI, observa-se que o N acumulado no tecido é baixo e, conseqüentemente, deverá receber uma dose maior de N, ou seja, doses próximas a 140 kg N ha<sup>-1</sup>. Desta forma, o algoritmo tem por objetivo distribuir de uma melhor maneira o N que seria aplicado com dose fixa em toda área, o que promoveria o melhor aproveitamento do N pelas plantas, maximizando o rendimento de grãos e reduzindo a contaminação ambiental.

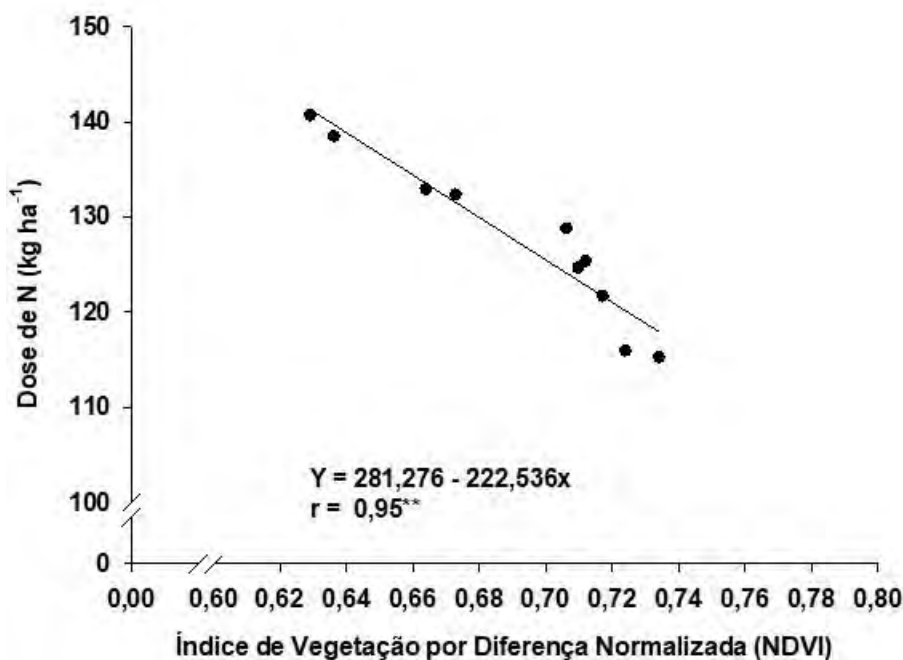


FIGURA 4. Algoritmo de adubação nitrogenada em cobertura no estágio de seis folhas completamente expandidas em função do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Embrapa Trigo, 2016. \*\* Significativo a  $p < 0,01$ .

Os próximos passos na construção do algoritmo serão de replicar o mesmo experimento no mesmo local e em outros locais do Estado do RS, pois o RS apresenta 2 regiões homogêneas de adaptação de cultivares (1 e 2), além de inserir novas cultivares. Desta maneira com experimentos em mais de um local e ano, a possibilidade de uma maior quantidade de dados e com maiores informações para a validação cruzada. Outro ponto importante é uma abordagem de limitações em valores de NDVI muito baixos e muito altos, pois esses locais nem sempre são responsivos a aplicação de N, além de certos valores apresentarem uma recomendação de aplicação de N muito alta, acima das quantidades demandadas pela cultura, promovendo perdas, redução da eficiência e problemas com acamamento de plantas.

## CONCLUSÃO

A resposta espectral do trigo a partir de valores de NDVI para a estimativa da quantidade de N acumulado no tecido da cultura. O NDVI apresentou correlação positiva com a demanda nutricional de N na cultura do trigo. O algoritmo proposto apresenta um modelo simples para a recomendação de N a taxa variada na cultura do trigo à campo, utilizando sensor ativo de vegetação. O protótipo do algoritmo desenvolvido para a safra agrícola de 2017, apresentou coerência com as doses máximas de N que a cultura do trigo apresenta resposta.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa durante o doutorado, permitindo dedicação integral às atividades acadêmicas. A Fundação de Pesquisa Agrisus, por financiar parte do projeto de pesquisa desenvolvido, por meio do Projeto 2222/17 intitulado “Algoritmo para a adubação nitrogenada sustentável em sistema plantio direto”. À Embrapa Trigo, que participou no desenvolvimento do trabalho por meio do projeto 01.14.09.001.01.00 - Agricultura de Precisão (AP) para sustentabilidade do sistema produtivo agrícola, pecuário e florestal brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T.J.C. Projeto Aquarius: principais contribuições e resultados. In: SANTI, A. L. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CESPOL, 2016. p.9-26.
- BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- GROHS, D.S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.101-112, 2009.
- HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 116-119, 1973.
- HOLLAND, K. Y J. SCHEPERS. Use of a virtual-reference concept to interpret active canopy sensor data. **Precision Agriculture**, v.14, n.1, p.71-85, 2013.
- INMET. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 26 fev. 2016.
- POVH, F.P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1075 - 1083, 2008.
- REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2016. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2017. 228p.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 214 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.
- SCHMIDT, J. et al. Improving in-season nitrogen recommendations for maize using an active sensor. **Field Crops Research**, v.120, n.1, p. 94 - 101, 2011.
- SHIRATSUCHI, L.S. et al. Algoritmo para aplicação de doses variáveis de nitrogênio em tempo real para produção de milho safra e safrinha no cerrado. In: BERNARDI, A. C. de C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 224-230.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.C.D. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TREVISAN, R.G. **Sensores ativos de dossel na gestão da adubação nitrogenada e da aplicação de fitorreguladores no algodoeiro**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

TURRA, M.A. **Manejo do nitrogênio em cultivares de trigo baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi)**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA Trigo, 2011. p.135–

184.

## **NOVA ABORDAGEM PARA A PREVISÃO DE PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO COM BASE NA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA**

**MAYRINK, G.O.<sup>1</sup>, VALENTE, D.S.M.<sup>2</sup>, QUEIROZ, D.M.<sup>3</sup>, PINTO, F.A.C.<sup>4</sup>, SOUSA E.D.T.S.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG, Fone (31) 99921.0018, gregorymayrink@hotmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG;

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG;

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG;

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Pesquisador, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A técnica de reflectância difusa pode tornar a análise química do solo mais rápida, prática e de baixo custo. No entanto, a robustez dos modelos para a previsão de propriedades químicas do solo com base em dados espectrais requer amostras com características físicas padronizadas. Este artigo propõe uma nova abordagem para a utilização da espectroscopia de reflectância difusa no que se refere a estimativa dos teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) dos solos. Em vez de coletar dados sobre as amostras de solo, as resinas de troca iônica são usadas para extrair os íons do solo e, pela primeira vez, em seguida, os dados de reflectância são retirados das mesmas. Modelos foram construídos utilizando-se a regressão por mínimos quadrados parciais – PLSR e o algoritmo ordered predictors selection – OPS utilizado para a seleção de variáveis. Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos foram gerados com os resultados fornecidos pelo laboratório e os estimados pelos modelos. Estes foram classificados em zonas homogêneas (ZH's). Coeficientes de determinação acima de 90% e RPD maiores que dois foram obtidos para a previsão dos modelos. As ZH's foram comparadas pelo índice Kappa, que foi significativo ao nível de confiança de 95% pelo teste z. Os resultados indicam que os modelos PLS-OPS, baseados na reflectância difusa de resinas de troca, são confiáveis para uma estimativa rápida e precisa dos íons estudados.

**PALAVRAS-CHAVE:** fertilidade do solo, resinas de troca iônica, sensor de solo

### **NEW APPROACH FOR PREDICTION OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL BASED ON REFLECTANCE SPECTROSCOPY**

**ABSTRACT:** The diffuse reflectance technique is an alternative that can make soil fertility analysis faster, low cost practice. However, the robustness of the models for prediction of chemical soil properties based on spectral data requires samples with standardized physical characteristics. This paper proposes a new approach for the use of diffuse reflectance spectroscopy in the estimation of the levels of phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) in soils. Instead of collecting data on the soil samples, the ion exchange resins are used for the first time to extract the ions from the soil and then the reflectance data are taken from them. Models were constructed using the partial least squares regression - PLSR and the algorithm ordered predictors selection - OPS was used for the selection of variables. Spatial variability maps of the studied chemical attributes generated with the results provided by the laboratory and those estimated by the models. These were classified in homogenous zones (ZH's). Coefficients of determination above 90%, RPD greater than two and relative error percentage of the prediction less than 25% were obtained by the models. The ZH's were compared using Kappa index, which was significant at the 95% confidence level by the z-test. The results indicate that the PLS-OPS models based on the diffuse reflectance of ion-exchange resins are reliable for the fast and accurate prediction of the ions studied.

**KEYWORDS:** soil fertility, ion exchange resins, soil sensor

## INTRODUÇÃO:

O uso de sensores radiométricos para avaliar as propriedades do solo está se tornando uma abordagem popular para a implementação de sensores proximais na Agricultura de Precisão – AP (ROSSEL; BOUMA, 2016; HU et al., 2016; PINHEIRO et al., 2017; LUCE et al., 2017). Os principais benefícios da utilização destes tipos de sensores, comparado aos métodos laboratoriais tradicionais, referem-se à facilidade de obtenção dos parâmetros químicos do solo, o que possibilita aumento da densidade amostral. Tudo isso, pois, devido a simplicidade de utilização, à portabilidade e a robustez, estes sensores permitem a automatização das medições (CHIG; AMORIM, 2015). Contudo, na maioria dos casos, devido à reflectância ser coletada diretamente sobre as amostras de solo, a utilização deste tipo de sensor apresenta algumas limitações. Dentre estas, pode-se citar a dificuldade em se determinar quais atributos do solo influenciam mais a resposta dos sensores (VIEIRA, 2003; CHIG; AMORIM, 2015). Devido ao solo ser um material de natureza heterogênea, a resposta dos sensores pode ser afetada pela combinação e/ou interação dos atributos, em diferentes graus (CHIG; AMORIM, 2015). Os atributos físicos, o teor de matéria orgânica, o teor de água, a presença de óxidos de ferro, assim como a distribuição do tamanho das partículas (textura) e a massa específica são os que mais afetam o comportamento dos sensores óticos e elétricos (DALMOLIN et al., 2005; RABELLO, 2009; BOTTEGA et al., 2015), sendo as respostas destes atributos realçadas, mascarando as dos demais. Desse modo, para a determinação dos atributos químicos do solo, com base em sensores, seria interessante a eliminação ou minimização das influências das propriedades físicas sobre a resposta dos sensores. Uma alternativa para o desenvolvimento de sensores de solo para determinação de atributos químicos destes é a utilização de resinas trocadoras de íons. Comparativamente aos solos, essas resinas são matrizes mais homogêneas, principalmente no que se diz respeito à sua composição, coloração e granulometria. As resinas, que são materiais poliméricos, possuem a capacidade de extrair íons do solo semelhantemente aos extratores convencionais, apresentando resultados altamente correlacionados aos mesmos (BORTOLON et al., 2009; GONÇALVES et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, por serem sensíveis às mesmas formas dos íons assimilados pelas plantas, as resinas de troca iônica apresentam correlações com as quantidades de nutrientes extraídas pelas culturas (GONÇALVES et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial de melhoria na acurácia dos modelos de previsão dos teores de P, Ca, Mg e K do solo, desenvolvidos utilizando dados espectrais obtidos de resinas de troca iônica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área cultivada com café de 20 ha (*Coffea arabica* L.) na Fazenda Brauna, município de Araponga, região sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil (20 ° 42 '33 "S, 42 ° 34' 17" W, Altitude média de 913 m). A amostragem sistemática foi realizada de acordo com uma grade regular de 25 m entre os pontos, o que resultou em 275 pontos amostrados. As amostras foram georreferenciadas por meio de um GPS Topográfico (L1), Promark 3 (Trimble). Cada ponto amostral foi composto de duas amostras simples retiradas, com 1,0 m de distância entre elas, na projeção da copa das plantas de café, a uma profundidade de 0 - 20 cm da camada de solo (ESALQ, 2003).

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, maceradas e passadas através de um crivo de 2 mm. Uma parte delas foi submetida a análises químicas de rotina no laboratório para determinar as concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Foram utilizados processos de extração específicos, para cada íon analisado, de acordo com a metodologia proposta por Moniz (2009). O restante do material foi destinado para o procedimento de extração de íons utilizando resinas de troca iônica. Neste procedimento de extração, a resina de troca catiônica PUROLITE C100 (Purolite Corporation, Filadélfia, EUA) foi utilizada para extrair os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  enquanto que a resina de troca aniônica PUROLITE A400 (Purolite Corporation, Filadélfia, EUA) foi utilizada para extrair o ânion  $\text{PO}_4^{2-}$ . A preparação das resinas e a extração dos íons das amostras de solo utilizando as mesmas foram realizadas conforme descrito por RAIJ et al., 2001. Após o processo de extração, os espectros de reflectância das resinas foram coletados em laboratório na faixa de 325 nm – 1075 nm. Para isso, as resinas foram postas em um gabarito circular de 2,5 cm de diâmetro e 1 cm de altura, formando assim uma pastilha.

A intensidade de reflectância foi medida no centro da pastilha de cada amostra de resina, sendo a cabeça ótica do espectrorradiômetro posicionada 90° em relação à amostra. Cada amostra foi preparada em duplicata, e o espectro considerado foi a média entre eles. Foi utilizado o espectrorradiômetro FieldSpec® HandHeld 2TM Spectroradiometer (Analytical Spectral Devices, Boulder, CO, EUA). Esse instrumento possui uma lâmpada de halogênio como fonte de iluminação interna. A resolução do aparelho é de 1 nm, o que resulta em 751 comprimentos de onda diferentes. Uma placa branca de sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ) foi

utilizada como padrão de referência, para a calibração do aparelho, assumindo-se que a mesma possuía reflectância uniforme e igual a um (100%).

Os dados espectrais obtidos a partir de resinas catiônicas e aniônicas foram divididos em dois conjuntos. Um conjunto, composto por 75 amostras para cada íon, foi utilizado para a calibração do modelo. Para este, foram escolhidas amostras de solo que apresentaram valores de concentração dentro da faixa normalmente encontrada nos laboratórios brasileiros de análises de solo. O segundo conjunto, utilizado para testar os modelos, foi formado a partir dos dados restantes, compreendido por 200 pontos experimentais. O processo de calibração foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, foram aplicados pré-tratamentos aos dados. Estes consistiram na centralização da média, na aplicação da primeira derivada (D'), na aplicação da segunda derivada (D''), da correção de dispersão multiplicativa (MSC), da linha de base, uma combinação de D'e MSC e uma combinação de D '' e MSC. Para completar o primeiro passo, utilizou-se a técnica PLS para seleccionar o número de variáveis latentes (LV) para a composição dos modelos desenvolvidos utilizando os dados de reflectância para todos os comprimentos de onda. O melhor pré-tratamento e o número de LV usando o método PLS foram determinados procurando a combinação que resultou no erro quadrático médio mínimo de validação cruzada – RMSECV (Equação 1) e o maior coeficiente de determinação de validação cruzada (R<sup>2</sup>vc).

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y - \hat{y})^2}{n}} \quad (1)$$

Onde, “y” é o valor de concentração de uma amostra do conjunto de calibração, medido no laboratório de rotina de análise química de solo; “ŷ” é o valor de concentração de uma amostra do conjunto de teste, previsto pelo modelo; “n” é o número de amostras previstas no processo de validação cruzada. Assim, a unidade do RMSECV foi a concentração dos elementos estudados, ou seja, miligrama por decímetro cúbico (mg/dm<sup>3</sup>) para os elementos P e K, e centímol de carga por decímetro cúbico (Cmol/dm<sup>3</sup>) para Ca, Mg.

Na segunda etapa do processo de calibração por análise multivariada, com base no método ordered predictors selection – OPS (TEÓFILO et al., 2009; ROQUE et al. 2017), seleccionou-se os comprimentos de onda que melhor se correlacionaram com as concentrações de íons Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, e novamente utilizando a técnica PLS gerou-se os modelos utilizando os comprimentos de onda seleccionados. Todas as operações foram realizadas usando o PLS Toolbox desenvolvido pela Eigenvector Research Inc. para MATLAB versão 6.5. Na validação dos modelos, a precisão da espectroscopia VIS-NIR para prever as propriedades químicas das amostras de solo do conjunto teste, foi avaliada por meio do coeficiente de determinação da previsão (R<sup>2</sup>), razão do desvio padrão com o erro padrão da previsão (ratio of standard deviation to standard error of prediction – RPD) e do erro relativo percentual de cada amostra do conjunto teste.

Visando a aplicação dos dados gerados pelos modelos em agricultura de precisão, foi realizado um estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo da área. Mapas relativos aos atributos do solo teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio foram obtidos utilizando-se o método de interpolação por krigagem ordinária. Assim também foi feito para os valores medidos no laboratório de rotina de análise química de solo. Posteriormente, estes mapas foram classificados em zonas homogêneas de duas a cinco classes com base nos atributos químicos estudados. Os padrões dos mapas gerados com os valores previstos pelos modelos de calibração multivariada foram comparados, pixel a pixel, com os padrões dos mapas esperados (gerados com valores determinados em laboratório de rotina de análise química de solo) pela determinação do coeficiente de concordância *Kappa*. Toda a análise geoestatística foi feita no programa computacional KRIG-ME, desenvolvido por Valente et al. (2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de determinação da validação para todos os íons examinados foram próximos a 1,00 (Tabela 1). Além disso, modelos com valores de RPD entre 1,5 e 2,0 são considerados aceitáveis como preditores. Portanto, dados os valores de RPD relatados na Tabela 1, os quatro modelos gerados podem ser considerados bons com relação à precisão de predizer os teores de P, Ca, Mg e K no solo (DUNN et al., 2002).



TABELA 1. Parâmetros da validação externa para modelos PLS-OPS de nutrientes do solo.

Íons	Faixa	<i>n</i> VL	<i>n</i> λ	R <sup>2</sup>	RMSEP	RPD
<b>P</b>	1,40 – 15,00*	4	8	0,964	0,897	2,67
<b>Ca</b>	0,38 – 7,78**	6	83	0,984	0,535	2,55
<b>Mg</b>	0,16 – 2,98**	5	39	0,979	0,128	2,77
<b>K</b>	39,00 – 325,00*	6	96	0,979	0,051	2,23

\* mg dm<sup>-3</sup>; \*\* cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. *n*VL: Faixa: faixa de valores das concentrações dos íons nas amostras obtidos pelo método padrão de laboratório; número de variáveis latentes; *n*λ: número de comprimentos de onda selecionadas usando OPS, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da previsão; RMSEP: erro médio quadrático de predição; e RPD: desvio de desempenho da relação.

Saeys et al. (2005) estabeleceram que valores de R<sup>2</sup> entre 0,50 e 0,65 indicam a possibilidade de discriminação das altas e baixas concentrações do atributo no modelo, enquanto que, valores de R<sup>2</sup> de aproximadamente 0,66 a 0,81, de 0,82 a 0,90, indicam modelos quantitativos de previsão aceitáveis e bons, respectivamente. Valores de R<sup>2</sup> acima de 0,90, como os encontrados para os modelos OPS's gerados no presente trabalho (Tabela 1), indicam excelência nas previsões dos teores de nutrientes do solo.

Dunn et al. (2002) e Chang et al. (2001) sugerem que valores de RPD menores que 1,5 sejam considerados insuficientes para a maioria das aplicações, enquanto que modelos com valores maiores que 2,0 sejam considerados bons. Já modelos com valores de RPD entre 1,5 e 2,0 são julgados aceitáveis quanto as previsões. Portanto, pela observação dos parâmetros de desempenho da Tabela 1, os quatros modelos gerados podem ser considerados excelentes em relação à acurácia, para a previsão dos teores de P, Ca, Mg e K do solo.

Comparando-se os resultados obtidos com aqueles encontrados em literatura (ZORNOZA et al., 2008; ARAÚJO et al., 2015; SATO et al., 2013; FRANCESCHINI, 2013; CHICATI et al., 2013; DEMATTÊ et al., 2016), pode-se observar que os modelos gerados no presente trabalho obtiveram melhores resultados do que os apresentados nos trabalhos citados. Os erros (RMSEP) para a previsão dos atributos químicos do solo foram menores para os modelos PLS desenvolvidos com base nas resinas. Foi observado também que os valores de R<sup>2</sup> obtidos no presente trabalho foram maiores comparados ao dos trabalhos citados.

Os valores de RPD encontrados na literatura variaram de 0,96 (SATO et al., 2013) a 2,5 (FRANCESCHINI, 2013) para P, de 1,29 (DEMATTÊ et al., 2016) a 2,89 (CHICATI et al., 2013) para Ca, de 1,21 (CHICATI et al., 2013; DEMATTÊ et al., 2016) a 1,83 (SATO et al., 2013) para Mg e de 1,11 (DEMATTÊ et al., 2016) a 3,16 (ARAÚJO et al., 2015) para K. Ao comparar os maiores valores de RPD encontrado na literatura para cada um dos íons estudados, observa-se que os valores de RPD encontrados no presente trabalho foram maiores, exceto para o íon K. Além disso, os modelos desenvolvidos em trabalhos anteriores são mais complexos em relação ao número de LV. Esse maior número de LV pode contribuir para erros maiores de previsão. No presente estudo, foram utilizados até seis LV, enquanto que nos trabalhos citados (DEMATTÊ et al., 2016) até 22, 23, 18 e 20 LV foram utilizados para predizer modelos de P, Ca, Mg e K, respectivamente.

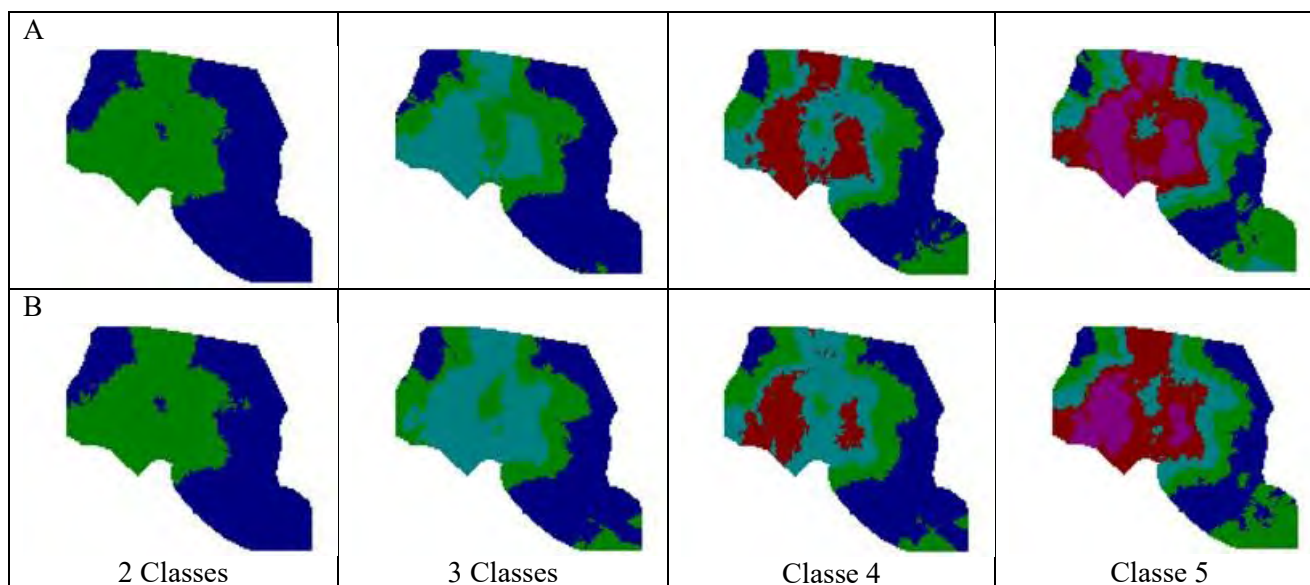
As diferenças observadas entre os resultados obtidos somente entre os trabalhos já publicados podem estar relacionadas principalmente aos equipamentos utilizados, devido os mesmos apresentarem resoluções diferentes. Além disso, a aplicação de pré-tratamentos diferentes aos dados, em cada um dos trabalhos, pode ter influenciado os resultados. Dentre estes, os melhores resultados foram encontrados por Zornoza et al.(2008) que, diferentemente dos demais, trabalharam com solos mais arenosos. Os mesmos autores relataram que em solos arenosos os espectros acabam apresentando menores ruídos, pois, ao contrário dos argilosos, nestes são menores as influências tanto da matéria orgânica quanto de óxidos de Fe e Al.

Dois fatores, no que se diz respeito ao desempenho dos modelos para a previsão dos atributos químicos do solo, podem explicar a superioridade dos modelos OPS em relação aos modelos tradicionais citados. O primeiro deles refere-se ao fato de que, com a seleção de um conjunto de comprimentos de onda mais correlacionados às propriedades de interesse, para a construção do modelo, apenas informações mais relevantes foram introduzidas nos mesmos e assim possíveis variáveis que poderiam embutir e aumentar o erro de previsão dos modelos foram excluídas.

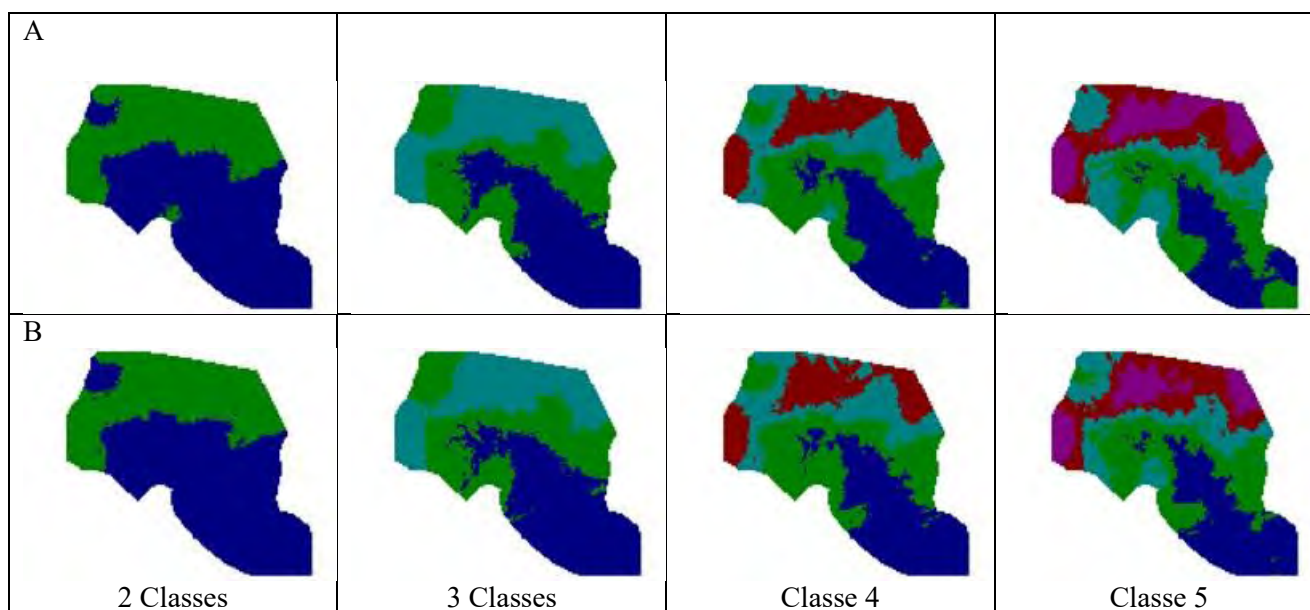
A segunda explicação, que no caso é um diferencial encontrado no presente trabalho, refere-se ao fato de que em todos os trabalhos citados, a reflectância foi coletada diretamente sobre as amostras de solo, que muitas vezes não foram preparadas na forma de terra fina seca ao ar – TFSA, e que mesmo nessas condições ainda assim são amostras de caráter muito heterogêneo. Essa heterogeneidade das amostras influencia o comportamento da radiação eletromagnética ao interagir com a mesma, e assim pode mascarar a resposta das propriedades de interesse. Como nesse trabalho optou-se por medir a intensidade de reflectância

sobre a massa das resinas, que além de reter e interagir em sua matriz com os nutrientes de interesse a serem determinados, é um material de granulometria e coloração mais homogênea em relação ao solo, o comportamento da radiação eletromagnética incidente em relação à parte física desse material foi mais constante e a interação da mesma com a parte química foi evidenciada e conseqüentemente sensibilizou mais o aparelho.

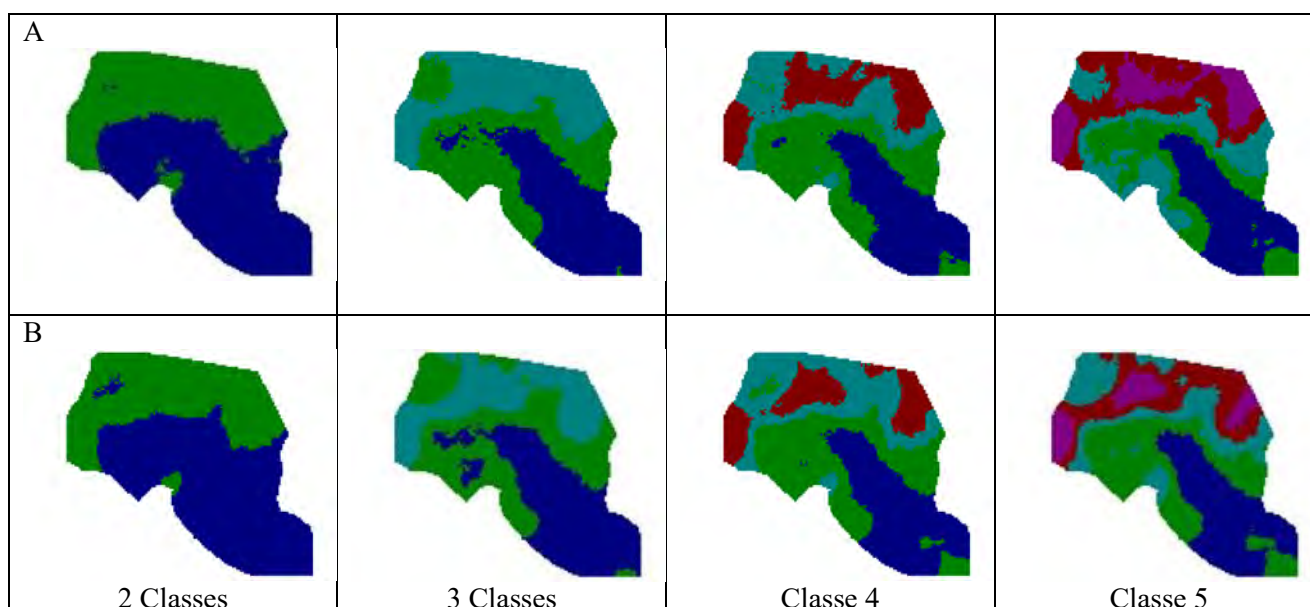
A magnitude dos erros encontrados para cada um dos modelos foi analisada a partir de mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos estudados. Para tanto, os mapas foram classificados em zonas homogêneas de duas a cinco classes. Estas zonas foram definidas separadamente, para os valores medidos em laboratório e previstos pelos modelos OPS, considerando cada um dos atributos químicos do solo estudado (Figuras 1, 2, 3 e 4).



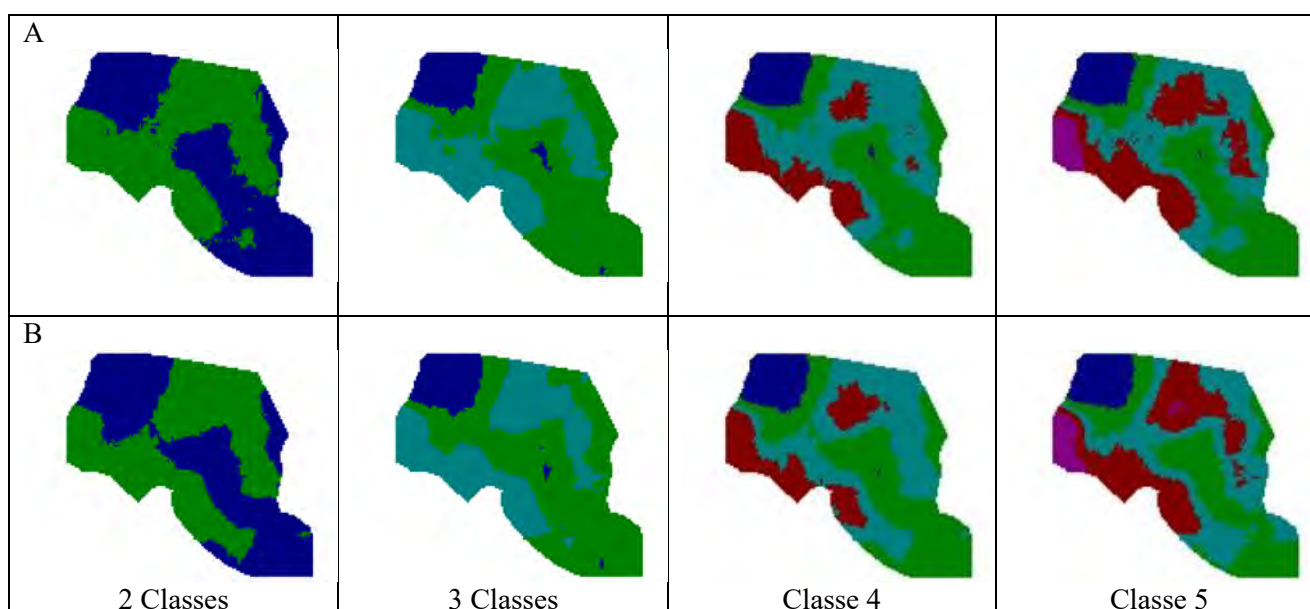
**Figura 1.** Zonas homogêneas com 2, 3, 4 e 5 classes geradas com valores (A) medidos (fornecidos pelo laboratório) e (B) valores previstos (pelo modelo OPS) para o elemento P.



**Figura 2.** Zonas homogêneas com 2, 3, 4 e 5 classes geradas com valores (A) medidos (fornecidos pelo laboratório) e (B) valores previstos (pelo modelo OPS) para o elemento Ca.



**Figura 3.** Zonas homogêneas com 2, 3, 4 e 5 classes geradas com valores (A) medidos (fornecidos pelo laboratório) e (B) valores previstos (pelo modelo OPS) para o elemento Mg.



**Figura 4.** Zonas homogêneas com 2, 3, 4 e 5 classes geradas com valores (A) medidos (fornecidos pelo laboratório) e (B) valores previstos (pelo modelo OPS) para o elemento K.

O grau de concordância entre os mapas gerados com valores estimados e os mapas que seriam esperados (com valores medidos) foi medido pela determinação do coeficiente de concordância *Kappa*, calculado utilizando o programa computacional KRIG-ME (Tabela 2).

TABELA 2. Índice de concordância *Kappa* entre as zonas homogêneas geradas para cada um dos atributos químicos do solo estudados.

Atributos químicos	Índice <i>Kappa</i> / Classe			
	2	3	4	5
Teores de P	0,94 <sup>A</sup>	0,73 <sup>B</sup>	0,63 <sup>C</sup>	0,64 <sup>C</sup>
Teores de Ca	0,94 <sup>A</sup>	0,92 <sup>A</sup>	0,87 <sup>B</sup>	0,76 <sup>C</sup>
Teores de Mg	0,94 <sup>A</sup>	0,84 <sup>B</sup>	0,84 <sup>B</sup>	0,65 <sup>C</sup>
Teores de K	0,85 <sup>A</sup>	0,83 <sup>A</sup>	0,81 <sup>A</sup>	0,77 <sup>B</sup>

\*Todos os *Kappas* foram significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Z; Letras maiúsculas iguais em colunas diferentes indicam que os valores entre zonas de manejo são estatisticamente iguais, ao nível de 5% de probabilidade.

Para todos os atributos químicos do solo avaliados, houve uma tendência de redução do índice *kappa* com o aumento do número de classes. Essa tendência de diminuição de concordância entre os mapas gerados com valores medidos e previstos é devido à baixa precisão na definição dos limites que separam uma classes da outra, observada à medida que se aumenta o número de classes. Verifica-se que, de maneira geral, a classificação dos índices de concordâncias obtidos, variou, segundo Landis e Koch (1977), entre “muito bom” e “excelentes”. Entre as classes de manejo geradas, as melhores concordâncias, 0,94, foram encontradas para os mapas gerados com dados dos modelos de previsão de P, Ca, e Mg, classificados em duas classes. Já as menores concordâncias, 0,64, foram observadas para os mapas gerados com dados dos modelos de previsão de P, classificados em quatro classes. Analisando separadamente cada atributo químico do solo, considerando todas as classes estudadas, verifica-se que as maiores concordâncias foram para a comparação entre os mapas das zonas de manejo geradas para os teores de Ca, sendo o modelo destinado a previsão do mesmo elemento, considerado o melhor entre os demais modelos.

Este resultado indica que o padrão dos mapas gerados com os valores previstos pelos modelos de calibração multivariada OPS, não se afastaram do padrão dos mapas esperados. Assim, os mapas oriundos dos dados de previsão não são considerados frutos do acaso, possuindo legitimidade de interpretação dos padrões de distribuição espacial dos teores de P, Ca, Mg e K na área em estudo.

## CONCLUSÃO

Os modelos PLS-OPS, baseados na reflectância difusa de resinas de troca, apresentaram maior acurácia na previsão dos teores de P, Ca, Mg e K do solo, em relação aos modelos cujos dados espectrais foram obtidos diretamente do solo.

Os padrões encontrados nas zonas homogêneas geradas com os valores estimados concordaram significativamente com os padrões das zonas homogêneas geradas utilizando os valores medidos.

**AGRADECIMENTOS:** à UFV, ao CNPq e à Capes pelas instalações e equipamento disponibilizados e pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- BORTOLON, Leandro; SCHLINDWEIN, Jairo André; GIANELLO, Clesio. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. *Ciência rural*. Santa Maria. Vol. 39, n. 8 (nov. 2009), p. 2400-2407, 2009.
- BOTTEGA, E. L.; de QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; de Assis de Carvalho Pinto, F.; de Souza, C. M. A. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. 2, 2015.
- CHICATI, M. L., OLIVEIRA, R. B., NANNI, M. R., CEZAR, E., & DEMATTÊ, J. A. M. (2013). Comparação de métodos estatísticos para avaliação espectral de atributos de solo (Comparison of statistical methods for spectral evaluation of soil attributes). In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brazil. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.
- CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S. Tecnologias para levantamento da variabilidade dos atributos do solo para um programa de agricultura de precisão. *UNICIÊNCIAS*, v. 14, n. 2, 2015.
- DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, v. 35, n. 2, 2005.
- DEMATTÊ, J. A., BELLINASSO, H., ARAÚJO, S. R., RIZZO, R., & SOUZA, A. B. (2016). Spectral regionalization of tropical soils in the estimation of soil attributes. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 589-598.
- DUNN, B. W., BATTEN, G. D., BEECHER, H. G., & CIAVARELLA, S. (2002). The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis—a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(5), 607-614.
- ESALQ. Instruções para Coleta e Remessa de Amostras. 2003. Disponível em: <<http://www.solos.esalq.usp.br/coleta.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

- FRANCESCHINI, M. H. D. Sensoriamento remoto hiperespectral nos níveis laboratório, campo e aéreo como ferramentas auxiliares no manejo do solo. 2013. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- GONÇALVES, G. K., BORTOLON, L., MEURER, E. J., GONÇALVES, D. R. N., DE SOUSA, R. O., & FAGUNDES, S. M. (2014). Extratores de fósforo para o arroz irrigado em solos adubados com fosfato natural reativo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 11(3), 196-204.
- HU, G.; SUDDUTH, K. A.; HE, D.; MYERS, D. B.; NATHAN, M. V. Soil phosphorus and potassium estimation by reflectance spectroscopy. **Trans. ASABE**, v. 59, n. 1, p. 97-105, 2016.
- LANDIS, J. R., KOCH, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics** 33:159-174.
- LUCE, M. S.; ZIADI, N.; GAGNON, B.; KARAM, A. Visible near infrared reflectance spectroscopy prediction of soil heavy metal concentrations in paper mill biosolid-and liming by-product-amended agricultural soils. **Geoderma**, v. 288, p. 23-36, 2017.
- OLIVEIRA, C. M. B.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; BOITT, G.; BRUNETTO, G. Capacidade de predição da disponibilidade de fósforo em solo com aplicação de fosfato solúvel e natural. **Científica**, v. 43, n. 4, p. 413-419, 2015.
- PINHEIRO, É. F.; CEDDIA, M. B.; CLINGENSMITH, C. M.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G. M. Prediction of Soil Physical and Chemical Properties by Visible and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy in the Central Amazon. **Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 293, 2017.
- RABELLO, L. M. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. **São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 2009.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, p. 189-199, 2001.
- ROQUE, J. V., DIAS, L. A., & TEÓFILO, R. F. (2017). Multivariate calibration to determine phorbol esters in seeds of *Jatropha curcas* L. using near infrared and ultraviolet spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**,
- ROSSEL, R. A. Viscarra; BOUMA, J. Soil sensing: A new paradigm for agriculture. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 71-74, 2016.
- SAEYS, W.; MOUAZEN, A.M.; RAMON, H. Potencial for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. **Biosystems Engineering**, Cambridge, v.91, p.393-402, 2005.
- SATO, M., FRANCESCHINI, M., DEMATTÊ, J., & VICENTE, L. E. Aplicação de espectroscopia de reflectância VNIR-SWIR na quantificação de atributos do solo através de estatística multivariada (Application of VNIR-SWIR reflectance spectroscopy in the quantification of soil attributes using multivariate statistics). In Embrapa Monitoramento por Satélite-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013.
- TEÓFILO, R. F., MARTINS, J. P. A., & FERREIRA, M. (2009). Sorting variables by using informative vectors as a strategy for feature selection in multivariate regression. **Journal of Chemometrics**, 23(1), 32-48.
- VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. **Revista ciência agrônômica (UFC. Online)**, v. 43, p. 683-690, 2012.
- VIEIRA, S.R. Automação de Amostragem: Novas Tecnologias e Equipamentos para Avaliação Física. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Julho de 2003. Ribeirão Preto-SP. Anais.
- ZORNOZA, R. et al. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 7, p. 1923-1930, 2008.

## **QUALIDADE DE MAPAS DE PRESCRIÇÃO DE FERTILIZANTE POTÁSSICO EM FUNÇÃO DE DENSIDADE AMOSTRAL E INTERPOLAÇÃO DE DADOS**

**LUCAS R. AMARAL<sup>1</sup>, THIAGO L. BRASCO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, Prof., Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (19) 3521-1067, lucas.amaral@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Engº Agrícola, Técnico do Laboratório de Agricultura de Precisão, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O resultado da adoção da prática de aplicação de fertilizantes em doses variadas é função da qualidade da amostragem e da correta análise dos dados para a obtenção dos mapas prescrição de fertilizante. Neste trabalho avaliamos dados de três áreas cultivadas com cana-de-açúcar que apresentavam diferentes padrões de variabilidade espacial. Nesse sentido, buscamos mostrar que é necessário amostrar solo em densidade adequada para se obter mapas com qualidade aceitável para a utilização da correção do solo em taxa variável plena. Constatamos que quando essa amostragem não é possível, trabalhar com classes de fertilidade, limitando a variação de dose, é uma opção. Além disso, testamos dois métodos de interpolação (Inverso do Quadrado da Distância e Krigagem Ordinária) e identificamos desempenhos semelhantes na qualidade das predições.

**PALAVRAS-CHAVE:** Taxas variáveis, adubação, amostragem de solo, Krigagem

### **QUALITY OF POTASSIUM FERTILIZER PRESCRIPTION MAPS ACCORDING SAMPLING DENSITY AND DATA INTERPOLATION**

**ABSTRACT:** The outcome of the variable-rate fertilizer application practice is a function of both quality of the sampling procedure and the proper data analysis in order to obtain fertilizer prescription maps. In this work, we evaluated data from three areas cultivated with sugarcane that presented different patterns of spatial variability. In this sense, we aim to show that it is necessary to sample soil in adequate density to obtain maps with acceptable quality for the adoption of full variable-rate application to soil correction. We found that when this proper sampling is not feasible, working with fertility classes, limiting fertilizer rates variation, is an option. In addition, we tested two methods of interpolation (Inverse Distance Weight and Ordinary Kriging) and we identified similar performances in the quality of the predictions.

**KEYWORDS:** variable-rate, fertilization, soil sampling, kriging

### **INTRODUÇÃO**

A aplicação de fertilizantes em doses variadas é, talvez, a técnica de manejo da variabilidade mais utilizada dentro da prática de agricultura de precisão. Tradicionalmente se coleta o solo em amostragem em grade regular, para posterior criação de mapas de prescrição de fertilizantes (MOLIN et al., 2015). Para tanto, o procedimento de interpolação espacial de dados deve ser utilizado.

O método de interpolação que apresenta o melhor desempenho é reconhecidamente a krigagem (OLIVER, 2010). Porém, para o correto desempenho dessa técnica, o analista precisa atentar para uma série de questões de modelagem da dependência espacial (geoestatística – OLIVER; WEBSTER, 2014), antes de efetivamente obter o mapa interpolado, o que faz com que frequentemente esse método de interpolação não seja usado adequadamente ou mesmo não seja adotado. Alternativamente a esse interpolador geoestatístico, há diversos interpoladores matemáticos, sendo que o mais utilizado é um cálculo de média ponderada em função da distância entre amostras, o chamado Inverso do Quadrado da Distância (MOLIN et al., 2015), uma vez que apresenta bom desempenho para variáveis com diferentes comportamentos e é facilmente implementado.

No entanto, independentemente do procedimento de interpolação adotado, frequentemente são demandadas mais amostras de solo para se caracterizar adequadamente a variabilidade espacial dos parâmetros de fertilidade do que é factível economicamente (NANNI et al., 2011; RAGAGNIN et al., 2010). Assim, os mapas de prescrição podem conter tantas incertezas que inviabilizem a correção espacial da fertilidade do solo.

Logo, neste trabalho buscamos mostrar a qualidade dos mapas de prescrição de fertilizante potássico, em função dos procedimentos de análise de dados e interpolação realizados quando o solo foi amostrado em diferentes densidades, de forma a criar subsídios para a tomada de decisão de consultores e usuários de agricultura de precisão.

## MATERIAL E MÉTODOS

Trabalhamos com amostragem de solo em grade em três glebas cultivadas com cana-de-açúcar (Tabela 1), as quais apresentavam diferentes níveis de dependência espacial no teor de potássio disponível no solo. O conjunto de dados de cada área foi dividido em calibração e validação, ficando cerca de 90% das amostras utilizadas para calibração (dados a serem interpolados), enquanto os outros 10% das amostras foram usadas como conjunto de validação externa para quantificar o erro da dose estimada de potássio para os pontos com valores conhecidos. Essa divisão foi feita de forma a permitir boa distribuição ao longo das áreas e a evitar suas bordas.

A partir do conjunto de calibração testamos duas densidades amostrais, sendo uma denominada de “densa”, onde os 90% dos dados foram mantidos (aproximadamente 1 amostra por ha), e outra onde se manteve apenas uma amostra a cada quatro hectares, sendo denominada de amostragem “rala”, a qual almejou simular a situação mais encontrada na prática.

Calculamos o Índice de Moran dos conjuntos de calibração para verificação do nível de agrupamento dos dados (autocorrelação espacial - DRIEMEIER et al., 2016), com o objetivo de relacionar o desempenho da interpolação com a relação espacial original dos dados. Alternativamente também calculamos o Índice de Dependência Espacial recentemente proposto por Seidel e Oliveira (2016) para testar seu desempenho.

Os valores de K disponível no solo foram interpolados pelo método Inverso do Quadrado da Distância (IQD), onde testamos a influência de limitar as amostras vizinhas utilizadas para interpolação em 4 ou 16 dados.

Também procedeu-se a interpolação por Krigagem e, nesse caso, as boas práticas de modelagem da dependência espacial foram utilizadas (OLIVER; WEBSTER, 2014): avaliamos a presença de tendência nos dados; a distância dos passos (*lags*) foram iguais à distância média entre amostras; testamos qual modelo utilizar (esférico, exponencial ou gaussiano) por meio da validação cruzada; e, também pela validação cruzada, testamos a utilização de 4, 8, 16 e 36 vizinhos, conforme proposta de Vieira et al. (2010).

A interpolação foi feita para as coordenadas do conjunto de validação, assim como também em área total com pixels de 9 m<sup>2</sup>.

Com a finalidade de comparar os erros das estimativas em termos de dose de potássio (kg ha<sup>-1</sup>), utilizamos a equação de prescrição “dose= -23.781\*K<sub>disponível</sub>+150.25”, criada a partir da tabela de recomendação de adubação para plantio de cana (produtividade esperada entre 100 e 150 t ha<sup>-1</sup>) do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), com dose máxima limitada a 150 kg ha<sup>-1</sup>.

TABELA 1. Características das amostragens realizadas em cada local.

ID	Área (ha)	Nº de amostras*	Densidade amostral (am ha <sup>-1</sup> )	Profundidade amostrada (cm)	Teor médio de potássio e (CV%)
Área 1	110	118 <sup>(6)</sup>	~1,1	0 – 40	1,0 mmol/dm <sup>3</sup> (76,4%)
Área 2	97	96 <sup>(8)</sup>	~1,0	0 – 20	3,6 mmol/dm <sup>3</sup> (65,2%)
Área 3	100	197 <sup>(3)</sup>	~2,0	0 – 20	0,9 mmol/dm <sup>3</sup> (74,7%)

\* Sobrescrito está o número de subamostras coletadas num raio de 5 m do ponto central.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto maior a correlação espacial medida pelo Índice de Moran (IM) e pelo IDE, melhor o desempenho da interpolação de dados como um todo (Tabela 2). Porém, no caso da Área 3, embora o valor do IM indique que há agrupamento espacial, o desempenho da interpolação foi completamente insatisfatório (Figura 1). Por outro lado, ao avaliarmos o IDE (SEIDEL & OLIVEIRA, 2016), a dependência espacial das Áreas 1 e 2 foi classificada como Forte (IDE ~ 17), enquanto para a Área 3 foi considerada como Fraca (IDE = 3,8). Isso mostra que a classificação do IM não parece ser adequada para inferir sobre o possível

desempenho da interpolação dos dados, sendo que, para esse fim, o IDE parece ser a escolha mais promissora. Assim, o IDE pode ser um bom indicativo se os dados oriundos de amostragem espacial devem realmente ser interpolados com o intuito de quantificar de forma contínua a dose de fertilizante a ser aplicada; caso a dependência espacial seja considerada fraca, a interpolação poderá resultar em mapa irreal. Assim, em caso prático, onde não se tem a possibilidade de trabalhar com amostras de validação, o cálculo do IDE indicará ao técnico se o procedimento de interpolação será confiável, indicando se ele deve continuar com o processo ou adotar outra estratégia, como a definição de classes de disponibilidade, proposta no final deste trabalho.

Apesar da Krigagem ser amplamente aceita como o método de interpolação mais confiável (DIGGLE; RIBEIRO JR, 2007; OLIVER, 2010; YAMAMOTO; LANDIN, 2013), ao trabalharmos com dados reais, notamos que o uso do interpolador IQD apresentou desempenho semelhante (Tabelas 2 e 4). Logo, o mesmo pode ser utilizado sem grandes alterações nos mapas de prescrição obtidos, uma vez que sua implementação é muito mais simples. Porém, destacamos que a Krigagem é recorrentemente apontada na literatura como melhor método para interpolação de dados. Sendo assim, essa equivalência entre os procedimentos de interpolação precisa ser testada em outras áreas e situações para que tal comportamento seja comprovado e possa ser seguramente utilizado na prática.

TABELA 2. Correlação (r), erro quadrático médio (RMSE) e erro em relação à dose média (%RMSE) entre valores preditos pelos métodos de interpolação (Inverso do Quadrado da Distância com 4 ou 16 vizinhos e Krigagem) e valores reais de disponibilidade de potássio no solo para as densidades amostrais densa (1 ha amostra<sup>-1</sup>) e rala (4 ha amostra<sup>-1</sup>) nas três áreas estudadas; Índice de Moran (IM) e Índice de Dependência Espacial (IDE) para cada área, mostrando redução da relação entre valores reais e preditos conforme menor a correlação espacial.

	<b>Área 1</b>					
	<b>IM = 0,75; IDE = 17,5</b>					
	<b>Densa</b>			<b>Rala</b>		
	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>
<b>IQD - 4 vizinhos</b>	0,69	17,5	14,1	0,55	19,1	15,4
<b>IQD - 16 vizinhos*</b>	0,67	17,3	13,9	0,55	18,8	15,1
<b>Krigagem</b>	0,71	16,9	13,6	0,53	18,9	15,2
	<b>Área 2</b>					
	<b>IM = 0,45; IDE = 16,7</b>					
	<b>Densa</b>			<b>Rala</b>		
	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>
<b>IQD - 4 vizinhos*</b>	0,58	18,5	22,3	0,14	28,3	34,2
<b>IQD - 16 vizinhos</b>	0,54	21,0	25,4	0,09	29,1	35,1
<b>Krigagem</b>	0,47	19,8	23,8	0,13	27,9	33,6
	<b>Área 3</b>					
	<b>IM = 0,14; IDE = 3,8</b>					
	<b>Densa</b>			<b>Rala</b>		
	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>	<b>r</b>	<b>RMSE</b>	<b>%RMSE</b>
<b>IQD - 4 vizinhos</b>	-0,01	18,0	14,0	0,02	17,9	14,0
<b>IQD - 16 vizinhos*</b>	-0,02	16,9	13,2	0,06	17,3	13,5
<b>Krigagem</b>	-0,05	16,9	13,2	0,12	16,9	13,2

\* Indica qual o número de vizinhos para o interpolador IQD efetivamente usado nas interpolações subsequentes.



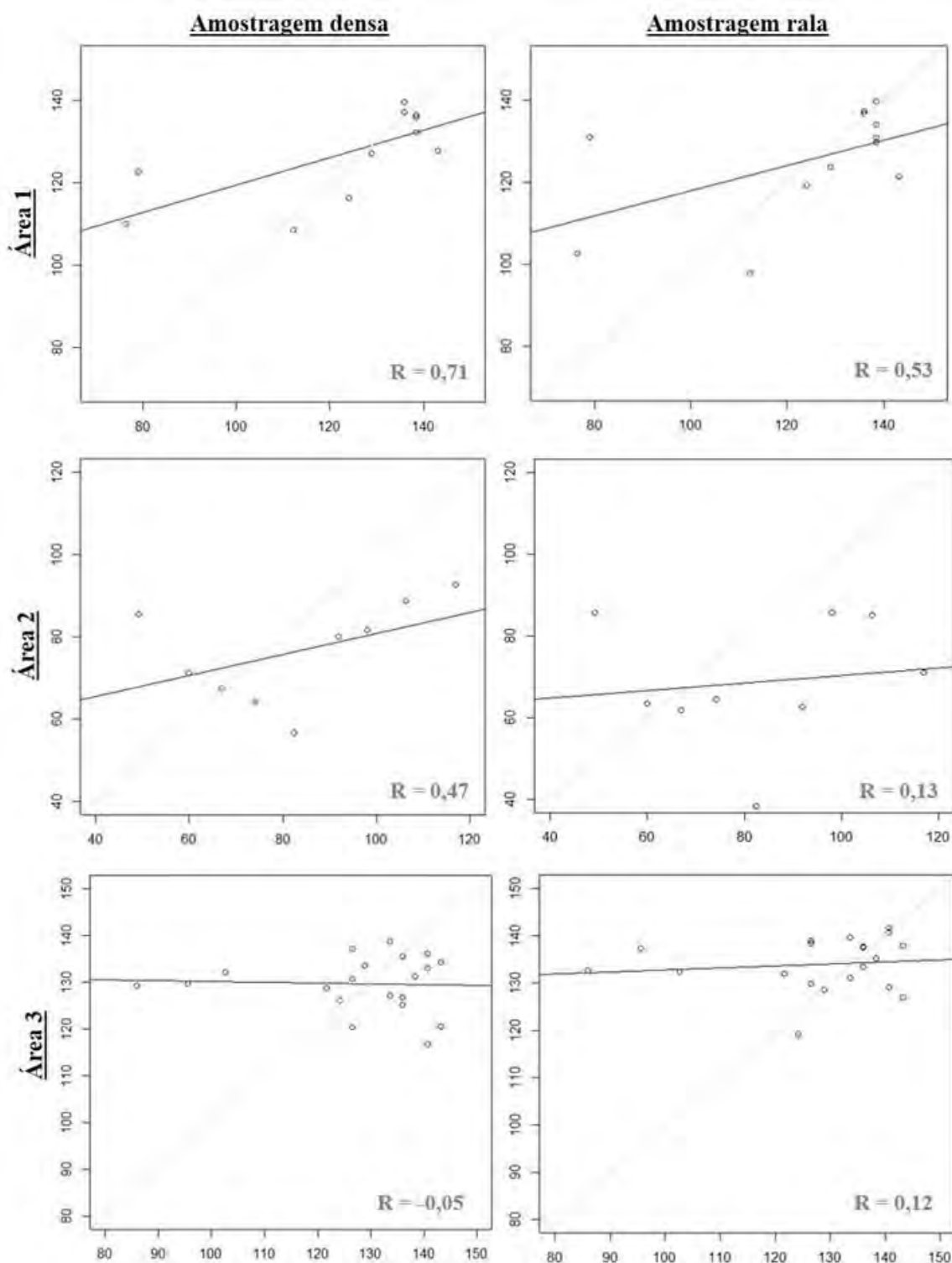


FIGURA 1. Relação entre dose recomendada de potássio (eixo x, em kg ha<sup>-1</sup>) obtida para as amostras do conjunto de validação externa e dose estimada pela Krigagem (eixo y, em kg ha<sup>-1</sup>) nas três áreas estudadas, com densidades amostrais de uma amostra por hectare (amostragem densa – coluna à esquerda) e uma amostra a cada quatro hectares (amostragem rala – coluna à direita).

De acordo com o comportamento da variável analisada, a alteração do número de amostras vizinhas levadas em conta no processo de Krigagem pode alterar o resultado da interpolação (Tabela 3). O mesmo ocorre ao utilizar o IQD (Tabela 2). Assim, ao se buscar melhor desempenho da interpolação, o usuário deve testar a influência do número de vizinhos por meio do procedimento de validação cruzada dos dados, como proposto por Vieira et al. (2010), possibilitando o refinamento do resultado obtido.

TABELA 3. Parâmetros dos semivariogramas modelados para as três áreas nas duas densidades amostrais utilizadas mostrando o desempenho da validação cruzada, os valores de inclinação da reta, intercepto e coeficiente de determinação da relação entre valores reais e preditos, assim como indicação do número de amostras vizinhas selecionadas para serem usadas na interpolação.

Densidade amostral	Modelo	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance (m)	Validação cruzada			Número de Vizinhos
					Inclinação	Intercepto	R <sup>2</sup>	
<b>Área 1</b>								
Densa	Esférico*	0,05	0,27	373	0,73	0,28	0,68	4
Rala	Gaussiano	0,45	1,91	1458	0,42	0,64	0,37	16
<b>Área 2</b>								
Densa	Esférico	0,80	5,43	468	0,46	3,87	0,41	32
Rala	Esférico	0,86	4,38	453	0,18	6,15	0,12	16
<b>Área 3</b>								
Densa	Esférico.	0,31	0,17	347	0,13	0,77	0,09	32
Rala	Exponencial	0,00	0,33	109	-0,11	0,76	0,11	8

\* Para a modelagem do semivariograma foi removida a tendência dos dados a partir de um polinômio de primeira ordem (OLIVER; WEBSTER, 2014)

Quando a densidade amostral diminui (menos amostras, com maior espaçamento entre elas), a interpolação passa a apresentar baixa confiabilidade, comprovado pelas baixas correlações entre as doses de fertilizante real e estimada (Figura 1), assim como maior erro de estimativa (RMSE - Tabela 4). Logo, quando o custo inerente ao processo de amostragem e análise de solo impedir a investigação detalhada do solo (amostragem em “alta” densidade), a criação de mapas de prescrição de fertilizantes com o objetivo de variação plena (contínua) de dose deve ser questionada, pois os resultados da interpolação são pouco confiáveis, comprovado pela queda da correlação entre dose real e estimada, principalmente para as Áreas 2 e 3.

Nesse caso, uma opção seria trabalhar com poucas classes de disponibilidade do elemento no solo, conforme tabelas tradicionais de recomendação de fertilizantes, o que evita causar o aumento da variabilidade do solo pela aplicação de doses erradas e, ao mesmo tempo, permite enxergar as tendências da variabilidade, quando existirem. Notamos que embora visualmente a diferença seja significativa entre o mapa estimado pela interpolação com doses contínuas e a delimitação de classes de disponibilidade (Figuras 2 e 3), o valor do RMSE, o qual pode ser entendido como incerteza das predições, é equivalente (e até menor) do que os valores observados para as amostras de validação (Tabela 4). Isso mostra que a abordagem de trabalhar com classes de disponibilidade mostra-se mais interessante, pois é assumido que existem regiões com macro diferenças entre teores de K ao longo da área, buscando-se tratá-las, sem a ilusão de corrigir cada dezena de metros quadrados de forma única e exata, já que não é possível devido ao erro associado à interpolação.

Além disso, comparando os resultados da amostragem rala (Figura 3) com a amostragem densa (Figura 2), verificamos que quanto menor a densidade amostral, mais as isolinhas dos mapas ficam suavizadas e com manchas maiores. Isso mascara a incerteza (erro) da interpolação ao avaliar apenas os valores de RMSE, já que a amplitude dos dados pode ser reduzida (como notado na Figura 1 – eixo x) e a Krigagem acaba por suavizar os resultados (Mapas “Linha B” da Figura 2 em comparação aos da Figura 3) quando a modelagem do semivariograma é pouco satisfatória. Nesse sentido, é fundamental também a avaliação visual dos mapas obtidos e da variação de doses encontradas.

TABELA 4. Correlação entre dose de potássico real e dose estimada pelos interpoladores Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e Krigagem (Krig) nas duas densidades amostrais (1 ha: densa; 4 ha: rala) para as amostras de validação das três áreas estudadas. Na coluna à direita (RMSE) está o erro quadrático médio (RMSE) entre dose real e predita.

<b>Área 1</b>					
	Dose real	IQD - densa	Krig - densa	IQD - rala	RMSE
IQD - densa	0,67	-	-	-	17,3
Krig - densa	0,71	0,99	-	-	16,9
IQD - rala	0,55	0,96	0,94	-	18,8
Krig - rala	0,53	0,93	0,93	0,98	18,9
<b>Área 2</b>					
	Dose real	IQD - densa	Krig - densa	IQD - rala	RMSE
IQD - densa	0,58	-	-	-	18,5
Krig - densa	0,47	0,98	-	-	19,7
IQD - rala	0,14	0,78	0,80	-	28,3
Krig - rala	0,13	0,77	0,80	1,00	27,9
<b>Área 3</b>					
	Dose real	IQD - densa	Krig - densa	IQD - rala	RMSE
IQD - densa	-0,02	-	-	-	16,9
Krig - densa	-0,05	0,98	-	-	16,9
IQD - rala	0,06	0,59	0,59	-	17,3
Krig - rala	0,12	0,49	0,49	0,97	16,9

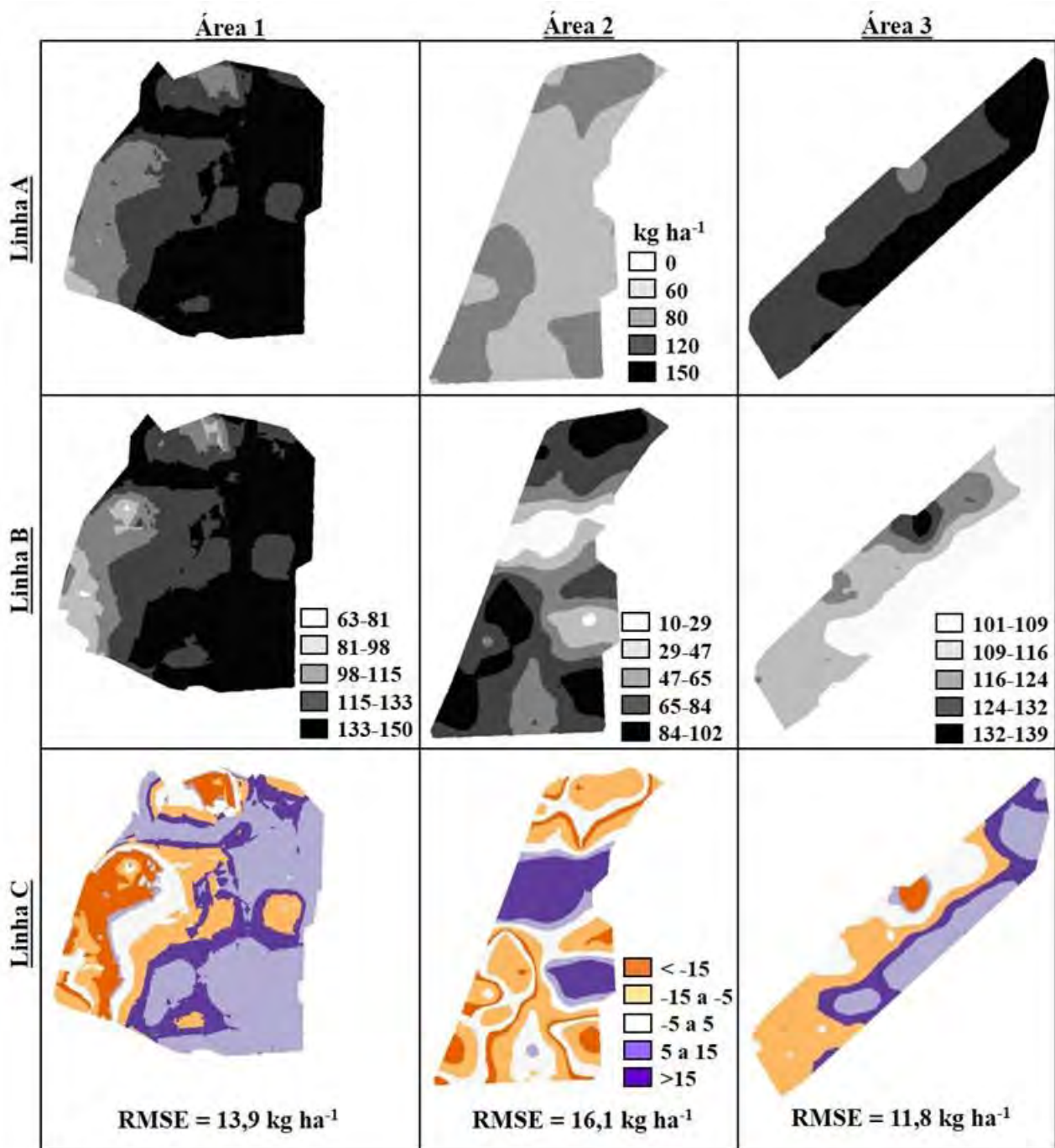


FIGURA 2. Mapas das três áreas onde o solo foi coletado com densidade de uma amostra por hectare, mostrando: *Linha A*) Mapa de prescrição de fertilizante dividido em classes de disponibilidade<sup>1</sup> (em kg ha<sup>-1</sup>) e interpolado por Krigagem<sup>2</sup>; *Linha B*) Mapa de prescrição de fertilizante em doses contínuas (em kg ha<sup>-1</sup>) e interpolado por Krigagem; e *Linha C*) Diferença<sup>2</sup> (em kg ha<sup>-1</sup>) entre mapa contínuo interpolado por Krigagem (Linha B) e mapa em classes de disponibilidade (Linha A), destacando o RMSE.

<sup>1</sup>Classes de disponibilidade de K<sup>+</sup> no solo e suas respectivas doses de fertilizante K<sub>2</sub>O conforme tabela de recomendação de adubação de Raij et al. (1997).

<sup>2</sup> A mesma legenda se aplica às três áreas

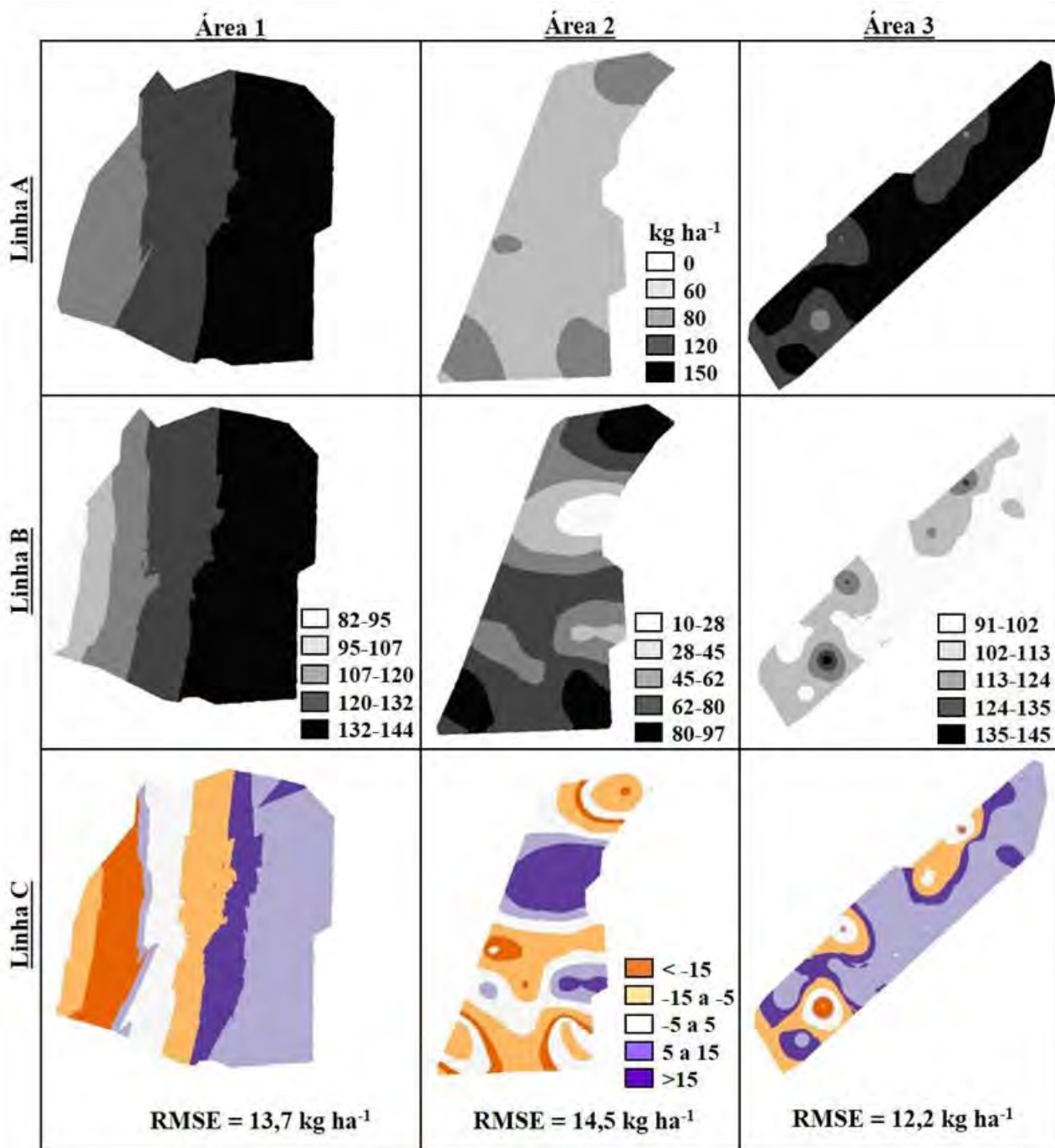


FIGURA 3. Mapas das três áreas onde amostras de solo foram coletadas com densidade de uma amostra a cada quatro hectares, mostrando: *Linha A*) Mapa de prescrição de fertilizante dividido em classes de disponibilidade<sup>1</sup> (em kg ha<sup>-1</sup>) e interpolado por Krigagem<sup>2</sup>; *Linha B*) Mapa de prescrição de fertilizante em doses contínuas (em kg ha<sup>-1</sup>) e interpolado por Krigagem; e *Linha C*) Diferença<sup>2</sup> (em kg ha<sup>-1</sup>) entre mapa contínuo interpolado por Krigagem (*Linha B*) e mapa em classes de disponibilidade (*Linha A*), destacando o RMSE.

<sup>1</sup>Classes de disponibilidade de K<sup>+</sup> no solo e suas respectivas doses de fertilizante K<sub>2</sub>O conforme tabela de recomendação de adubação de Raij et al. (1997).

<sup>2</sup> A mesma legenda se aplica às três áreas

## CONCLUSÃO

O Índice de Dependência Espacial é um bom indicativo do desempenho esperado do processo de interpolação. Quando se tem limitada densidade amostral ou fraca dependência espacial, a quantificação da disponibilidade de nutrientes fica demasiadamente incerta, comprometendo o resultado da aplicação de fertilizantes em taxa variável plena; assim, trabalhar com classes de disponibilidade parece ser uma estratégia

paliativa eficiente. Ao contrário do que se esperava, os interpoladores Inverso do Quadrado da Distância e Krigagem Ordinária apresentaram desempenho semelhante, demandando mais estudos para comprovar e entender tal equivalência.

**AGRADECIMENTOS:** Aos doutorandos Guilherme M. Sanches (PIPG Bioenergia – UNICAMP) e Igor Q. M. Valente (PPG Engenharia Agrícola – UNICAMP) pelas coletas de campo realizadas.

## **REFERÊNCIAS**

- DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JR, P.J. **Model-based Geostatistics**. Nova Iorque, EUA: Springer, 2007. 229 p.
- DRIEMEIER, C., LING, L.Y., SANCHES, G.M., PONTES, A.O., MAGALHÃES, P.S.G., FERREIRA, J.E. A computational environment to support research in sugarcane agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 130, p. 13–19, 2016.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224 p.
- NANNI, M. R. et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 386–392, 2011.
- OLIVER, M. A. **Geostatistical applications for precision agriculture**. New York: Springer, 2010.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**, v. 113, p. 56–69, 2014.
- RAIJ, B. VAN et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997.
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 600–607, 2010.
- SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. A classification for a geostatistical index of spatial dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p 1-10, 2016.
- VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J.R.P.; GONZÁLEZ, A.P. Jack knifing for semivariogram validation. **Bragantia**, v. 69, p. 97-105, 2010.
- YAMAMOTO, J.K.; LANDIN, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

## **SENSOR DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (IEM) PARA MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO EM LAVOURAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**GUILHERME M. SANCHES<sup>1</sup>, PAULO S. GRAZIANO MAGALHÃES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Depto. de Bioenergia, FEA, UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (19) 3521 1266, guilherme.sanches@cropman.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A condutividade elétrica aparente (CEa) do solo tem se destacado na literatura mundial como uma ferramenta com alto potencial de mapeamento da fertilidade dos campos de cultivo. No entanto, as lavouras de cana-de-açúcar ainda carecem de resultados que mostram a aplicabilidade desta informação para definição da fertilidade dos solos. O objetivo do presente trabalho foi fornecer uma avaliação da relação entre a CEa, avaliada por sensor de indução eletromagnética (IEM), e a variabilidade espacial do conteúdo de argila, matéria orgânica (MO) e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo em lavouras de cana-de-açúcar. Seis campos experimentais de cana-de-açúcar foram mapeados, totalizando 412 hectares mapeados e 2.000 amostras de solo coletadas entre os anos de 2011 a 2017. Os resultados mostraram que a CEa foi capaz de mapear locais de maior conteúdo de argila, MO e CTC, correspondendo as classes de maior condutividade elétrica do solo. As classes de baixa CEa apresentaram maior variabilidade espacial dos atributos do solo avaliados, sendo locais que devem ser amostrados com maior rigor, isto é, com maior densidade amostral, para uma caracterização adequada do solo. O sensor de IEM é uma ferramenta adequada para definição da variabilidade espacial da fertilidade dos solos, podendo ser utilizada para uma amostragem localizada

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento proximal, manejo localizado, condutividade elétrica aparente.

### **ELECTROMAGNETIC INDUCTION (EMI) SENSOR TO MAP THE SOIL SPATIAL VARIABILITY IN SUGARCANE FIELDS**

**ABSTRACT:** The soil apparent electrical conductivity (ECa) has been highlighted in the literature as a tool with high potential to map the soil fertility of fields. However, sugarcane fields still lack of results that show the applicability of this information to define the soil fertility regions. The objective of the present paper was to provide a comprehensive assessment of the relationship between ECa, evaluated by electromagnetic induction (EMI) sensor, and the spatial variability of clay content, organic matter (OM) and cation exchange capacity (CEC) in sugarcane fields. Six experimental sugarcane fields were evaluated, totaling 412 hectares mapped and 2,000 soil samples collected between 2011 and 2017. The results showed that ECa was able to map sites with higher clay content, OM and CEC, corresponding to classes of greater soil electrical conductivity. Low ECa classes presented greater spatial variability of the evaluated soil attributes, being places that should be sampled with greater accuracy, that is, with a higher sample density for a suitable soil spatial characterization. The EMI sensor is an adequate tool to define the spatial variability of soil fertility and used to guided soil sampling.

**KEYWORDS:** proximal sensing, site-specific management, apparent electrical conductivity.

### **INTRODUÇÃO**

O mapeamento da fertilidade do solo é um dos principais procedimentos para garantir um manejo localizado e sustentável dos campos de cultivo. Intrinsecamente relacionado à Agricultura de Precisão (AP), esse mapeamento consiste em uma amostragem detalhada do solo utilizando instrumentos e técnicas (Bullock et al., 2007). Mapear a variabilidade espacial do solo é o caminho onde a AP pode tomar decisões agrônomicas eficientes para aumentar a rentabilidade da produção. Dentro do contexto histórico de tecnologias acessíveis para aquisição de informações de qualidade da variabilidade dos solos, a condutividade elétrica aparente (CEa) tem se destacado como um método eficaz e rápido, com alta resolução e baixo custo, para avaliar a fertilidade

do solo (Sudduth et al., 2005). Muitas pesquisas mostram que a CEa é capaz de detectar mudanças nas propriedades do solo, como salinidade, teor de argila, capacidade de troca de cátions, tamanho e distribuição de poros, matéria orgânica e temperatura (Kaffka et al., 2005; Corwin e Lesch, 2003; Kitchen et al., 2003). Sendo uma informação capaz de refletir a variabilidade físico-química do solo, a CEa ainda é pouco utilizada pela falta de aplicabilidade, principalmente nos campos de cana-de-açúcar que carecem de resultados. Para garantir um manejo adequado e sustentável das lavouras de cana-de-açúcar, o mapeamento da fertilidade do solo deverá ser realizado cada vez com maior rigor e qualidade por meio de ferramentas economicamente viáveis. Assim, a CEa é uma informação com grande potencial para superar este desafio. O objetivo do presente trabalho foi fornecer uma avaliação abrangente da relação entre a variabilidade espacial do conteúdo de argila, matéria orgânica (MO) e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e da CEa em lavouras de cana-de-açúcar. A CEa, avaliada por meio de sensores de Indução Eletromagnética (IEM), pode auxiliar os produtores no entendimento da variabilidade espacial da produção e garantir uma gestão localizada e adequada de seus campos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto de dados utilizado no presente trabalho é proveniente de seis campos experimentais de cana-de-açúcar localizados no estado de São Paulo (Tabela 1) onde pesquisas de AP são conduzidas. Todos os dados estão armazenados no Banco de Dados Agronômicos (BD Agro), descrito em Driemeier et al. (2016). No presente trabalho são apresentados as informações da camada superficial do solo (0,00 a 0,20 m). Cerca de 2000 amostras de solo, coletadas entre 2011 e 2017, foram analisadas. Os atributos argila, MO e CTC foram avaliados; atributos do solo importantes e que impactam diretamente a produtividade da cana-de-açúcar. A CEa do solo foi mensurada por meio do sensor de indução eletromagnética EM38-MK2® (Geonics, Ontario, Canadá), sendo o sensor de IEM mais amplamente utilizado na agricultura mundial (Doolittle e Brevick, 2014). Foram utilizadas as leituras de separação de bobinas de 0,5 m no modo dipolo horizontal. Dados técnicos, construção e especificação do sensor são descritos em Heil e Schmidhalter (2017). A CEa foi medida em linhas paralelas com intervalos de 5-10 m sendo o sensor tracionado por um quadriciclo. A frequência do registrador de dados foi de 1 Hz conectado a um receptor GNSS.

TABELA 1. Características dos campos experimentais avaliados e da amostragem de solo.

<b>Campo</b>	<b>Área</b> [ha]	<b>Período Avaliado</b>	<b>Grid</b> [m]	<b>Número de Amostras</b>	<b>Densidade</b> [amostras ha <sup>-1</sup> ]
<b>UPA</b>	52,57	2011, 2012, 2013 e 2014	50 x 50	204	3,88
<b>USFit</b>	95,88	2014	50 x 50	303	3,16
<b>USFMS</b>	34,81	2014	50 x 50	128	3,68
<b>USFNC</b>	102,06	2016 e 2017*	50 x 50	424	4,15
<b>FBP</b>	37,50	2017	75 x 75	66	1,76
<b>UIPI</b>	90,04	2017	100 x 100	119	1,32

\* 100 x 100 m com 214 amostras coletadas.

### Análise de Dados

Para avaliar a relação entre a CEa e os atributos do solo, o processo de análise de dados foi realizado por etapas (Figura 1). Primeiramente, os dados da CEa e do solo foram analisados para remover valores discrepantes (*outliers*). Qualquer valor de entrada que se desviou da média por mais de três desvios padrão foi tratado como um outlier. Em segundo lugar, todos os atributos do solo foram padronizados para o intervalo de 0 a 1 (Equação 1), dentro do respectivo campo experimental e ano avaliado. Esta etapa coloca os dados, independentemente do local e ano avaliado, no mesmo intervalo de variação para permitir futuras comparações.

$$X_p = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

em que:  $X_p$  - valor do atributo padronizado,  $x_i$  - valor do atributo original;  $x_{min}$  e  $x_{max}$  - valores mínimo e máximo, respectivamente, do atributo avaliado dentro do respectivo campo experimental e ano avaliado.

Em seguida a CEa foi dividida em 5 classes, utilizando o método do quartil. Uma amostragem aleatória de acordo com as classes de CEa foi realizada. Duzentas amostras, por classe de CEa, foram adotadas para cada iteração da amostragem aleatória. Em cada iteração foi calculada a média (M) e o coeficiente de variação (CV), por classe de CEa, do atributo do solo avaliado. Foram realizadas 10 iterações no total. Por fim, o box-plot foi



utilizado para avaliar a variabilidade dos dados de todas as iterações, utilizando a média como o segundo quartil.

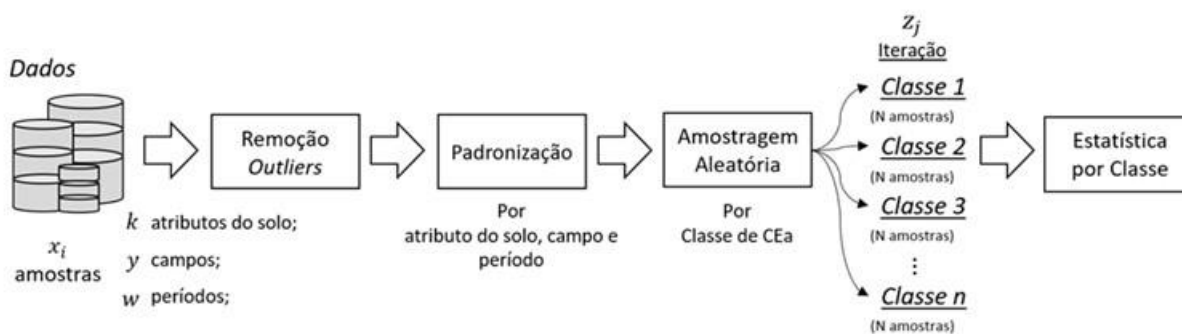


FIGURA 1. Etapas do processo de análise de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo compreendeu campos experimentais com ampla variabilidade do conteúdo de argila (Figura 2 – a), abrangendo assim diferentes tipos de solo. Os campos avaliados foram de muito arenosos (argila  $< 150 \text{ g kg}^{-1}$ ) até muito argilosos (argila  $> 600 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Raij et al., 2001). Os campos USFit e UIPI apresentaram as maiores variabilidades do conteúdo de argila, com faixas de medição iguais a  $648 \text{ g kg}^{-1}$  e  $520 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente. Relacionada à fertilidade do solo (Raij et al., 2001), o conteúdo de argila mostrou correlação direta com a CTC do solo (Figura 2 – c). Os campos USFMS e FBP, que apresentaram menor variabilidade no conteúdo de argila, também apresentaram menor variabilidade para MO e CTC. Enquanto o campo USFit apresentou os maiores teores médios para argila e CTC, o campo UIPI apresentou o maior conteúdo médio de MO, podendo ser caracterizados como os campos com maior fertilidade média do solo e com maior potencial produtivo.

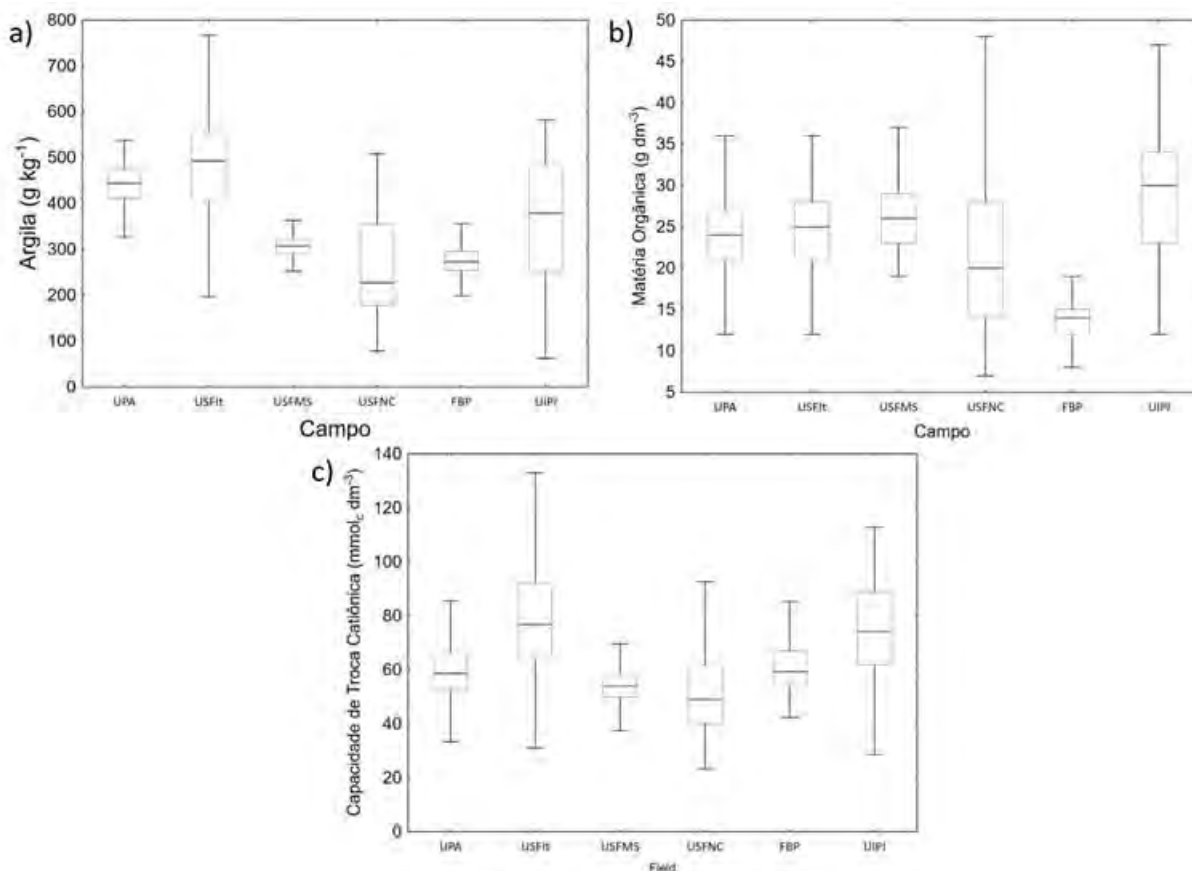


FIGURA 2. Variabilidade do conteúdo de argila (a), matéria orgânica (b) e capacidade de troca catiônica (c) dos campos experimentais avaliados.

Similarmente a variabilidade do conteúdo de argila, os campos USFI e UIPI apresentaram a maior variabilidade na CEA do solo (Figura 3). Exceto para o campo UPA (Figura 4 - a), os demais campos apresentaram valores negativos nas leituras de CEA. Tal fato é justificado pelo princípio de mensuração e calibração do equipamento, como relatado em Heil e Schmidhalter (2017).

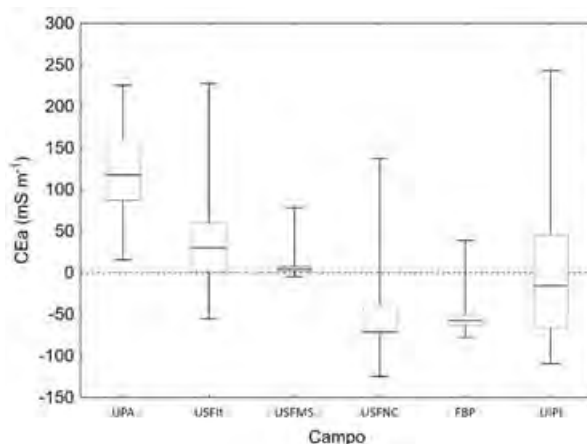


FIGURA 3. Variabilidade da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo dos campos experimentais avaliados.

A maior variabilidade de CEA foi observada no campo UIPI (Figura 4 – f), com faixa de medição igual a  $352 \text{ mS m}^{-1}$ . Os campos USFMS e FBP apresentaram as menores amplitudes de CEA, acompanhando as tendências observadas para o conteúdo de argila e CTC. Tal fato mostra que a CEA do solo é capaz de mapear a fertilidade dos campos de cana-de-açúcar, sendo uma ferramenta com alto potencial para auxiliar no mapeamento dos ambientes de produção da cana-de-açúcar, como demonstrado em Sanches et al. (2017).

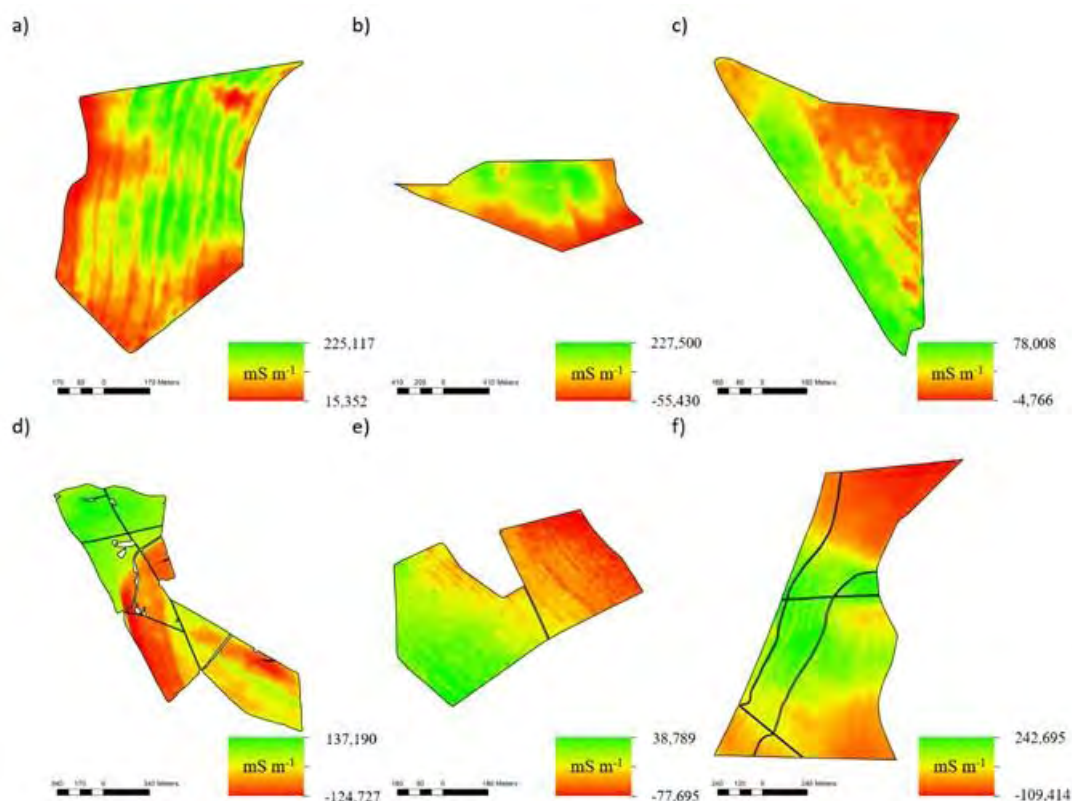


FIGURA 4. Mapas de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo dos campos experimentais UPA (a), USFI (b), USFMS (c), USFNC (d), FBP (e) e UIPI (f).

O potencial de mapeamento da variabilidade da fertilidade do solo dos campos avaliados é evidente pela divisão da CEA em classes (Figura 4). Sendo a classe 1 a que apresenta os valores mais baixos e a classe 5 os valores mais altos de CEA, os teores de argila (Figura 4 – a), MO (Figura 4 – b) e CTC (Figura 4 – c)

apresentaram uma clara tendência de crescimento entre as classes. Desta forma, as classes com baixa CEa evidenciam locais mais arenosos e com teores menores de MO e CTC. O coeficiente de variação (CV) das iterações realizadas mostrou que as classes menos condutivas apresentam maior variabilidade nos teores, com tendência de decaimento da classe 1 para a classe 5. Os atributos argila e CTC mostraram um decaimento significativo a partir da terceira classe, enquanto a MO apresentou um decaimento linear. Relacionado a variabilidade espacial, o CV pode ser um indicativo para auxiliar o processo de amostragem do solo, isto é, locais com alto CV devem ser amostrados com uma densidade amostral maior em comparação as classes com CV menor. Enquanto as classes de menor CEa devem ser amostradas com maior rigor, isto é, com maior densidade amostral, as classes mais condutivas podem ser amostradas com menor quantidade de amostras para uma caracterização adequada da variabilidade espacial do solo. Apesar dos diversos tipos de tecnologias para sensoriamento dos atributos do solo, como apresentado em Adamchuk et al. (2004), os sensores de CEa se destacam como alternativa para mapear a variabilidade espacial da fertilidade do solo e teor de argila. Além disso, a CEa também pode auxiliar os métodos de interpolação para obter os mapas de variabilidade do solo como uma informação secundária (Sanches et al., 2018).

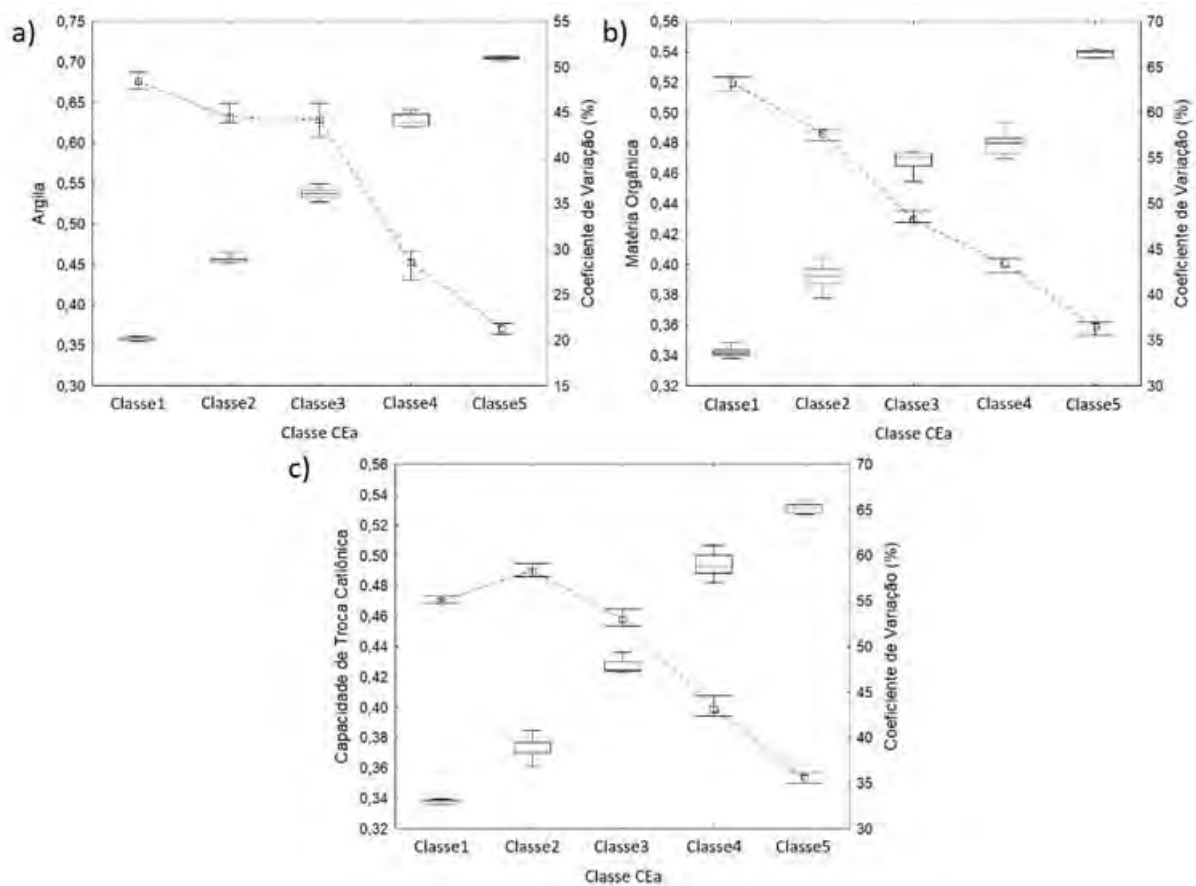


FIGURA 5. Variabilidade dos teores padronizados (eixo y à esquerda) e coeficiente de variação (eixo y à direita – linha tracejada) das iterações realizadas, por classe de CEa, do conteúdo de argila (a), matéria orgânica (b) e capacidade de troca catiônica (c).

Como relatado amplamente no trabalho de Heil and Schmidhalter (2017), a CEa do solo é influenciada por diversos atributos químicos e físicos do solo, como MO, CTC, umidade, compactação, textura do solo e entre outros. No entanto, no Brasil os mapas de CEa são ainda pouco utilizados. O grande desafio é a transformação dos dados coletados em campo em uma informação que gere conhecimento agrônomo relevante para auxiliar o produtor rural. Doolittle e Brevick (2014) traz uma revisão abrangente do potencial de aplicação da CEa avaliada por sensores de IEM. No entanto, os benefícios da aplicação desta ferramenta em lavouras de cana-de-açúcar ainda são pouco conhecidos. Correlacionando a faixa de medição do conteúdo de argila, MO e CTC com o da CEa de cada campo experimental avaliado, é possível visualizar que, excluindo-se o campo USFIIt, uma variação de  $1,0 \text{ mS m}^{-1}$  está relacionada a uma variação de  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $0,11 \text{ g dm}^{-3}$  e  $0,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-2}$  no conteúdo de argila, MO e CTC, respectivamente (Figura 5 – a, b e c, respectivamente). Os resultados apresentados demonstram que a variabilidade CEa apresentou alta correlação com a variabilidade

da textura dos solos dos campos avaliados ( $R^2 = 0,97$ ), mostrando ainda boa correlação com MO ( $R^2 = 0,65$ ) e CTC ( $R^2 = 0,76$ ). O mapeamento da CEa dos campos podem ser uma alternativa para um manejo localizado, sendo possível estabelecer os ambientes de produção e o potencial produtivo das lavouras de cana-de-açúcar (Sanches et al., 2017).

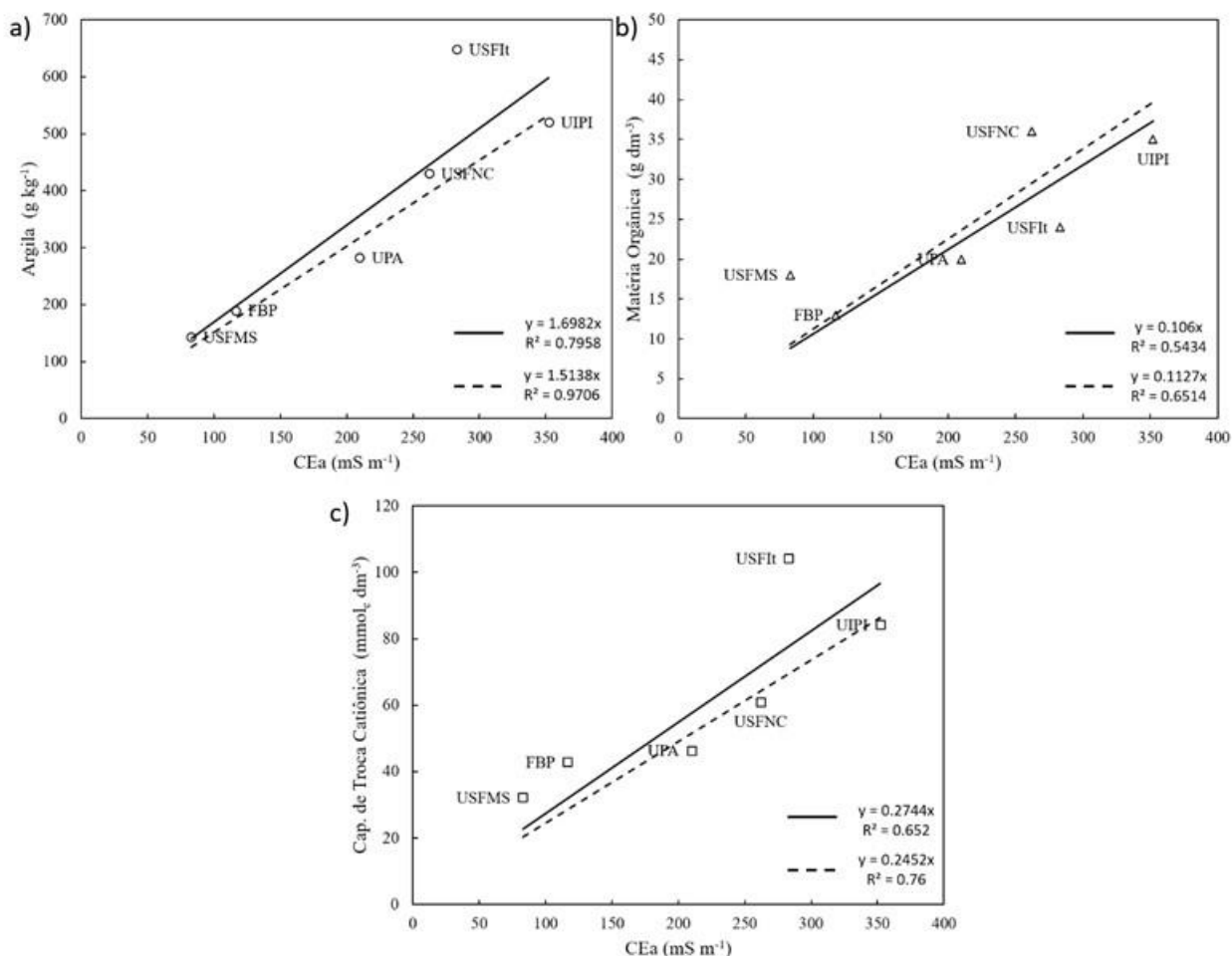


FIGURA 6. Ajuste linear da variabilidade do conteúdo de argila e da condutividade elétrica aparente do solo dos campos experimentais avaliados. Ajuste incluindo (linha sólida) e excluindo (linha tracejada) o campo UFSIt.

## CONCLUSÃO

As classes de CEa, definidas pelo método da divisão por quartil, evidenciaram que os locais de baixa condutividade elétrica apresentam menor conteúdo de MO e CTC do solo. As classes de maior CEa do solo apresentaram menores CV para todos os atributos de solo avaliados, sendo locais que podem ser caracterizados com menor quantidade de amostras. A variabilidade do conteúdo de argila foi diretamente proporcional à variabilidade da CEa ( $R^2 = 0,97$ ), onde  $1,0 \text{ mS m}^{-1}$  de CEa correspondeu a  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. O sensor de IEM é uma ferramenta adequada para definição da variabilidade espacial da fertilidade dos solos, podendo ser utilizada para um manejo localizado dos campos de cana-de-açúcar.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos: 2015/01587-0, 2014/14965-0, 2013/50942-2) e às usinas de cana-de-açúcar pelo suporte técnico e disponibilidade dos campos experimentais.

## REFERÊNCIAS

ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.44(1), p.71-91, 2004.

- BULLOCK, D.S.; KITCHEN, N.; BULLOCK, D.G. Multidisciplinary Teams: A Necessity for Research in Precision Agriculture Systems. **Crop Science**, v.47(5), p.1765-1769, 2007.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, p.455-471, 2003.
- DOOLITTLE, J.A.; BREVIK, E.C. The use of electromagnetic induction techniques in soil studies. **Geoderma**, v.223-225, p.33-45, 2014.
- DRIEMEIER, C.E.; LING, L.Y.; SANCHES, G.M.; PONTES, A.O.; MAGALHÃES, P.S.G.; FERREIRA, J.E. 2016. A computational environment to support research in sugarcane agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.130, p.13-19, 2016.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. The application of EM38: Determination of soil parameters, selection of soil sampling points and use in agriculture and archaeology. **Sensors (Switzerland)**, v.17(11), 44p., 2017.
- KAFFKA, S.R.; LESCH, S.M.; BALI, K.M.; CORWIN, D.L. Relationship of electromagnetic induction measurements, soil properties, and sugar beet yield in salt-affected fields for site-specific management. **Computer and Electronics in Agriculture**, v.46, p.329-350, 2005.
- KITCHEN, N.R.; DRUMMOND, S.T.; LUND, E.D.; SUDDUTH, K.A.; BUCHLEITER, G.W. Soil Electrical Conductivity and Topography Related to Yield for Three Contrasting Soil-Crop Systems. **Agronomy Journal**, v.95, p.483-495, 2003.
- RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001.
- SANCHES, G.M., MAGALHÃES, P.S.G., REMACRE, A.Z., FRANCO, H.C.J. 2018. Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. **Soil & Tillage Research** 175, 217-225, 2018.
- SANCHES, G.M.; PAULA, M.T.N.; DUFT, D.G.; MAGALHAES, P.S.G.; FRANCO, H.C.J. Ambientes de produção precisos para lavouras de cana-de-açúcar. **Anais Simpósio de Agricultura de Precisão e Mecanização em Cana-de-açúcar**, 2017, Jaboticabal - SP. Anais. Jaboticabal - SP, 2017. p. 6-8.
- SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; WIEBOLD, W.J.; BATCHELOR, W.D.; BOLLERO, G.A., BULLOCK, D.G.; ET AL. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46(1-3), p.263-283, 2005.

## **SENSORES PARA MAPEAMENTO DE FALHAS NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**LEONARDO F. MALDANER<sup>1</sup>, JOÃO V. M. NICOLETTI<sup>2</sup>, STEPHANY M. SHIMAZAKI<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Eng° Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (19) 34478509, leonardofm@usp.br

<sup>2</sup> Graduando em Eng. Agrônômica, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng° Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com o decorrer dos anos o número de perfilhos na cana-de-açúcar diminui e conseqüentemente há decréscimo na produtividade. O uso de ferramentas para a gestão localizada dos canaviais considerando as falhas nas fileiras da cultura é crescente. Entretanto, muitas ferramentas para o monitoramento ainda apresentam custo elevado. O objetivo deste trabalho é verificar a capacidade de sensores de baixo custo em identificar e mensurar falhas nas fileiras da cultura. Três sensores fotoelétricos e três sensores de ultrassom foram acoplados a uma plataforma. Foi realizado ensaio simulando diferentes tamanhos de falhas a fim de verificar a acurácia dos sensores. A correlação entre o tamanho real das falhas e o mensurado pelos sensores foi de 0,99, entretanto os sensores apresentaram RMSE máximo de 0,055 m. Leituras em campo demonstraram que os sensores são capazes de identificar a presença e a ausência de colmos ao longo da fileira. A área com menor número de cortes apresentou menor número de falhas. Os sensores conseguiram identificar padrões de distribuição espacial das falhas na área com maior número de cortes. Em ambas as áreas de estudo o sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao fotoelétrico devido à sua capacidade em identificar pequenas soqueiras de cana-de-açúcar. A metodologia proposta é capaz geram informações localizadas de falhas, auxiliando na tomada de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor ultrassom, sensor fotoelétrico, falhas espacializadas

### **MAPPING SKIPS IN SUGARCANE FIELDS USING SENSOR**

**ABSTRACT:** Over the years, the number of tillers in sugarcane decreases and consequently there is a decrease in sugarcane yield. It is increasing the use of tools to identify skips in the sugarcane rows for the specific management. However, many of these tools still have a high cost. The aim of this study is to verify the capacity of low cost sensors in identifying and measuring skips in the sugarcane rows. One platform was mounted with three photoelectric sensors and three ultrasonic sensors horizontally positioned to detect the stalks. The simulation was performed used different skips sizes to check the accuracy of the sensors. The correlation between the real size and measured was 0.99; however, the sensors exhibited maximum RMSE of 0.055 m. Fields scans demonstrate that the sensors are able to identify the presence and absence of stalks within the row. The field with the lowest number of cuttings presented smaller number of skips. The sensors were able to identify patterns of spatial distribution in the field of sugarcane with a greater number of cuts. In both study fields, the ultrasonic sensor identifies a greater number of skips in the field compared to the photoelectric because of the sensor's ability to identify small sugarcane ratoon. The proposed methodology is able to generate localized information of skips aiding in decision-making.

**KEYWORDS:** Ultrasonic Sensor, photoelectric sensor, spatial skips

### **INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura que demanda grandes investimentos, principalmente na implantação do canavial, em razão do elevado custo da mecanização, manutenção do canavial ao longo dos anos, e custo de insumos. A produtividade do canavial diminui a cada ano e, da mesma forma, o seu retorno

econômico (SPEKKEN et al., 2015). Devido ao número de cortes realizados na cultura, os tratos culturais, o tráfego de máquinas e a qualidade das práticas de colheita, ocasionando danos à soqueira, a quantidade de perfilhos diminui em proporções diferentes dentro do talhão, acarretando em decréscimo na produtividade (MANHÃES et al., 2015). Para manter a longevidade e a produtividade do canavial, o monitoramento da qualidade das operações de plantio e colheita é essencial (BOCCA et al., 2015).

Estudo realizado por Stolf (1987) demonstra que espaçamentos entre colmos acima de 0,50 m ao longo das fileiras de cana-de-açúcar acarretam em perdas de produtividade. De acordo com Matsuoka e Stolf (2012), o mau manejo das soqueiras, danos causados devido às más operações mecânicas, pragas e doenças, e as condições climatológicas são fatores que influenciam na ocorrência e no aumento de falhas ao longo dos anos no cultivo da cana-de-açúcar. Assim, a demanda pela utilização de técnicas de identificação de falhas ao longo da fileira da cultura por meio de imagens obtidas com câmeras acopladas em aeronaves remotamente tripuladas (ARP) (SOUZA et al., 2017) têm crescido no Brasil. Entretanto, o uso desta metodologia ainda enfrenta alguns desafios. Imagens de alta resolução requerem procedimentos poderosos de análise pois, diferentemente das imagens de baixa resolução, os pixels gerados após o processamento podem não capturar mais as características dos alvos (SOUZA et al., 2017). A cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento apresenta alto desenvolvimento do dossel, dificultando a identificação dos colmos através de imagens aéreas, o que conseqüentemente pode ocasionar erros na identificação e mensuração dos espaçamentos entre os colmos. Há a dificuldade de obter informações georreferenciadas de falhas com precisão devido a utilização de receptores GNSS sem correção diferencial de sinal nas ARP. Além disso é necessário utilizar técnicas avançadas de geoprocessamento para interpretar as imagens e transformá-las em dados úteis para o produtor.

Outro método de identificação de falhas passível de uso é o de sensores fotoelétricos instalados em maquinário utilizado durante a manutenção dos talhões (MOLIN e VEIGA, 2016). Entretanto, grande parte das ferramentas utilizadas para gerar informações localizadas para a gestão das lavouras demandam investimentos elevados, sendo que a busca por soluções de baixo custo é um desafio promissor na agricultura. Uma das alternativas é implementar ferramentas de baixo custo já utilizadas em outras áreas e que podem ser adaptadas para as práticas agrícolas. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi testar sensores de baixo custo para identificar, mensurar e georreferenciar falhas nas fileiras de cana de açúcar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O primeiro método avaliado foi desenvolvido por Cavalcante (2011) e usado por Molin e Veiga (2016). Foram utilizados três sensores fotoelétricos, modelo BA2M-DDT (Autonics, Yangsan, Si, Coréia), posicionados horizontalmente para detecção de colmos (Figura 1A). Este sensor possui uma fonte de luz infravermelha, com uma sensibilidade ajustada para até 1,0 m da distância do alvo, trabalhando em 10 Hz, e tempo de resposta de aproximadamente 1 ms. Além disso foram utilizados três sensores ultrassônicos modelo HC-SR04 (ElecFreaks, Shenzhen, China) posicionados horizontalmente para detecção de colmos (Figura 1B). Este sensor permite medir distâncias mínimas de 0,02 m, sendo sua distância máxima do alvo ajustada para 1,0 m. Também foi utilizado o encoder de 60 pulsos, modelo 5820 (Hohner, Artur Nogueira, SP, Brasil), instalado na roda dianteira do trator para calcular o deslocamento do trator. A resolução de cada pulso do encoder é de 0,039 m. Os sensores identificam o início e o fim de locais com ausência de plantas ao longo da fileira e para o cálculo do tamanho destas falhas utiliza-se os valores de deslocamento mensurados pelo encoder.

Para a validação dos sensores foi realizado um ensaio com objetos padrão (estacas) simulando colmos, fixados com distâncias entre alvos de 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m. A estrutura foi acoplada em um trator que foi submetido a cinco velocidades de deslocamento: 0,7; 1,0; 1,3; 1,6 e 2,0 m s<sup>-1</sup>. Foram realizadas 20 repetições para cada velocidade. Para comparação dos sensores fotoelétricos e de ultrassom foi realizada correlação de Pearson. Além disso, foi realizada análise de variância (ANOVA) com teste de médias para comparar os métodos de identificação em relação à influência da velocidade de avanço. Para mensurar o quanto os sensores erraram em relação aos valores reais, foi calculada a raiz quadrática do erro médio (RMSE).

Testes iniciais em campo foram realizados para verificar a funcionalidade da plataforma com os sensores. As áreas onde foi conduzido o estudo estão localizadas na APTA Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP. A cultura encontrava-se com espaçamento entre fileiras de 1,5 m em duas áreas de aproximadamente 14 ha e 3 ha que foram colhidas em setembro de 2017. A área 1 apresentava um corte da cana soca e a área 2 apresenta cinco cortes. Os dados foram adquiridos nos dias 02 e 03 de novembro de 2017, quando a cana-de-açúcar estava no perfilhamento, aproximadamente 40 dias após a colheita (Figura 2).

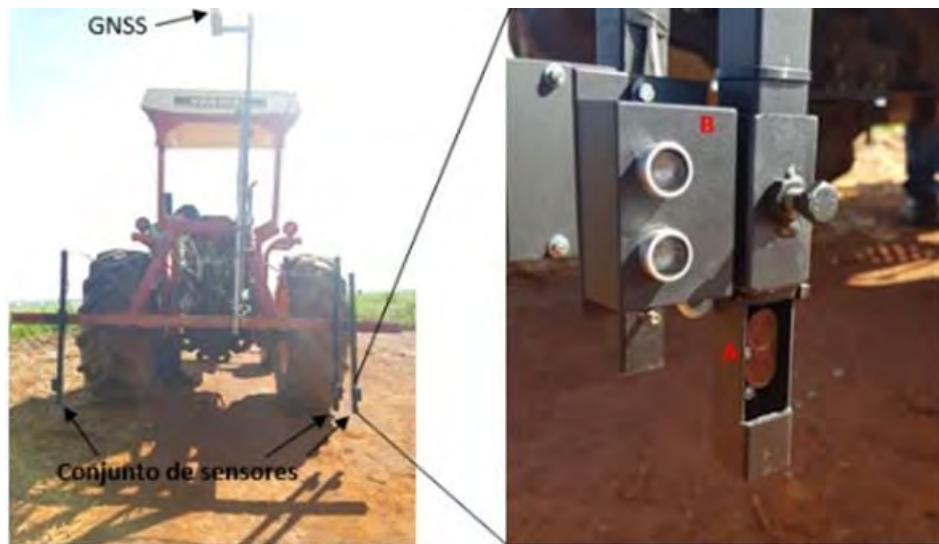


FIGURA 1. Plataforma montada com o sensor fotoelétrico (A) e sensor ultrassom (B).



FIGURA 2. Estágio da cultura durante a coleta de dados.

O conjunto de sensores permite realizar a identificação e mensuração de falhas em três fileiras simultâneas (um sensor por fileira). Em média, os sensores realizam a leitura a 0,75 m de distância do alvo e a uma altura de 0,20 m do solo. Os dados dos sensores juntamente com os dados de posição gerados pelo receptor GNSS com correção diferencial RTK foram coletados a uma frequência de 10 Hz, com velocidade média de 1,2 m s<sup>-1</sup>. Foi realizado um pós-processamento dos dados para o cálculo do tamanho das falhas. O arquivo gerado pelo datalogger contém a informação da posição, identificação da ausência ou presença de colmos de cana e a distância percorrida durante o deslocamento do trator, fornecidos pelo encoder. O início e o final dos espaços com ausência de colmos são identificados e as coordenadas são extraídas. Utilizando a ferramenta 'Point2One' do software QGIS 3.0 (Geographic Information System, v. 3.0.1 Girona, QGIS 2018), os pontos (coordenadas) identificados como falhas foram convertidos em linhas. O arquivo de linha, além de ter as informações da localização espacial das falhas, também contém informações do tamanho da falha, sendo esta, o valor da distância percorrida fornecida pelo encoder. Foram realizados a estatística descritiva e o cálculo de porcentagem de falhas para as duas áreas de estudos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade influencia na capacidade dos sensores em mensurar o tamanho das falhas. Há diferença significativa entre os valores de erros entre a velocidade 0,7 m s<sup>-1</sup> e 2,0 m s<sup>-1</sup> para o sensor ultrassom (Figura 3A). Para as demais velocidades não houve diferença significativa nos valores dos erros. O sensor fotoelétrico apresentou diferença entre os valores mensurados nas velocidades 0,7 m s<sup>-1</sup>, 1,6 e 2 m s<sup>-1</sup>. O sensor ultrassom teve o menor valor, RMSE de 0,042 m na velocidade de 0,7 m s<sup>-1</sup>, e o maior valor de RMSE foi de 0,055 m na velocidade 2,0 m s<sup>-1</sup> (Figura 3B), o que indica que em baixas velocidades há um menor erro de mensuração



das falhas e, conforme há o aumento na velocidade de deslocamento, há aumento do erro de mensuração. Nas demais velocidade a média do erro foi de 0,046 m. O sensor fotoelétrico teve o menor RMSE na velocidade 0,7 m s<sup>-1</sup> (0,034 m) e o obteve um erro de 0,055 m na velocidade 2 m s<sup>-1</sup>. Os valores RMSE mínimos dos sensores são próximos do valor da resolução do encoder, que é de 0,039 m. Esses valores de RMSE são menores do que encontrados por Souza et al. (2017), RMSE de 1,29 m, utilizando a metodologia de identificação e mensuração de falhas por imagens aéreas.

A correlação entre tamanho real do alvo e o valor mensurado pelos sensores fotoelétrico e ultrassom foi de 0,99, indicando que os sensores apresentam os mesmos valores de RMSE, independentemente do tamanho de alvo. Molin e Veiga (2016) mostram uma correlação média de 0,70 entre valores mensurados pelo sensor fotoelétrico e valores reais de falhas. Foi observado que na velocidade de 1,6 m s<sup>-1</sup> o sensor ultrassom identificou 50% dos alvos de 0,10 m. Na velocidade de 2 m s<sup>-1</sup> os sensores não conseguiram identificar os alvos de 0,10 m. Diante disso, embora espaçamentos entre colmos de 0,10 m não são considerados como falha pela metodologia de Stolf (1987), é recomendável a utilização dos sensores fotoelétrico e ultrassom para identificação e mensuração de falhas a velocidades de deslocamento até 2 m s<sup>-1</sup> (7,2 km h<sup>-1</sup>).

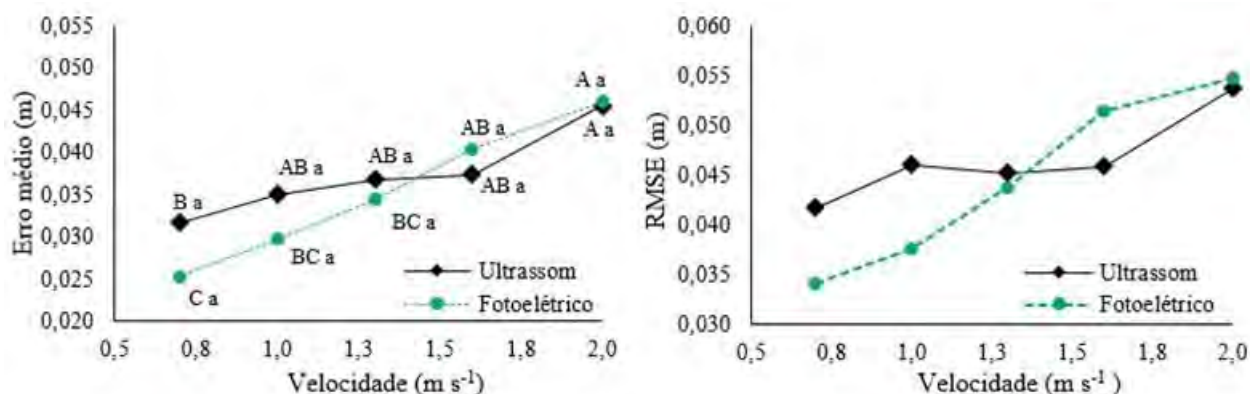


FIGURA 3. Teste de comparação de médias para avaliar o efeito da velocidade sobre o erro dos sensores na medida das falhas (A). Valores de RMSE em função da velocidade de deslocamento (B).

\*Valores de erro médio seguidos de mesmas letras maiúsculas em diferentes pontos de velocidade não diferem pelo teste de Tukey a 5%. Os diferentes sensores com as mesmas letras minúsculas em diferentes pontos de velocidade não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A área 2 apresentou um número maior de falhas (Tabela 2). O sensor fotoelétrico identificou 4163 falhas, o que representou 14,2% das linhas de cultivo, enquanto o sensor ultrassom identificou 5253 falhas, 1090 falhas a mais do que o sensor fotoelétrico, representando 18,1% das linhas de cultivo. Stolf (1986), em seu método para a avaliação da qualidade do plantio de cana-de-açúcar, sugeriu que uma quantidade de falha de até 10% indica que a operação poderia ser classificada como excelente. Na área 1 o sensor fotoelétrico identificou 499 falhas representando 2,4% das linhas de cultivo, já o sensor ultrassom identificou 689 falhas representando 3,5% das linhas de cultivo. O número menor de falhas na área 1 ocorre por ser uma área de primeiro corte, sofrendo uma menor influência dos fatores que afetam a ocorrência de falhas no talhão. Na área 2, onde foi realizado o sexto corte da cana soca, houve a ocorrência de maior número e maior tamanho de falhas. Isto pode ser relacionado ao maior número de operações mecanizadas realizadas durante a colheita e manejo das soqueiras. Além disso, pode haver acúmulo de danos causados por pragas e doenças ao longo dos anos de cultivo da cana soca ou sofreu a influência de outros fatores (MATSUOKA e STOLF, 2012).

TABELA 1. Informações geradas pelos sensores em duas áreas de cana-de-açúcar.

Atributos	Área 1	Área 2
Área (ha)	3,0	14,5
Número de fileiras	109	271
Comprimento mínimo (m)	16,9	7,8
Comprimento máximo (m)	255,9	486,4
Comprimento total (km)	20,3	92,6

TABELA 2. Informações das falhas em duas áreas de cana-de-açúcar geradas pelos sensores.

	Fotoelétrico	Ultrassom	Fotoelétrico	Ultrassom
Número de falhas	499	689	4163	5253
Tamanho médio (m)	1,0	1,0	3,2	3,2
Tamanho máximo (m)	5,6	5,7	106,7	108,3
Soma (km)	0,5	0,7	13,1	16,8
Porcentagem de falhas (%)	2,4	3,5	14,2	18,1

Em ambas as áreas de estudo o sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao sensor fotoelétrico. Isso possivelmente está relacionado à capacidade do sensor ultrassom em identificar pequenas soqueiras de cana-de-açúcar. De acordo com as especificações técnicas do sensor ultrassom, a identificação do alvo só é feita quando o mesmo tiver no mínimo 0,5 m<sup>2</sup> de área. O sensor ultrassom apresenta a mesma distribuição dos tamanhos de falhas, porém a ocorrência de falhas é maior (Figura 4). Isso significa que não há diferença entre os tamanhos de falhas mensurados pelos dois sensores, porém o sensor ultrassom identificou um número de falhas maior, além daquelas que o sensor fotoelétrico identificou. Nota-se que nas duas áreas de estudos há maior ocorrência de falhas de 1,0 a 2,0 m de comprimento. Na área com número maior de cortes é evidente que há maior ocorrência de falhas com tamanhos maiores, indicando que há o aumento nos tamanhos das falhas ao longo dos anos.

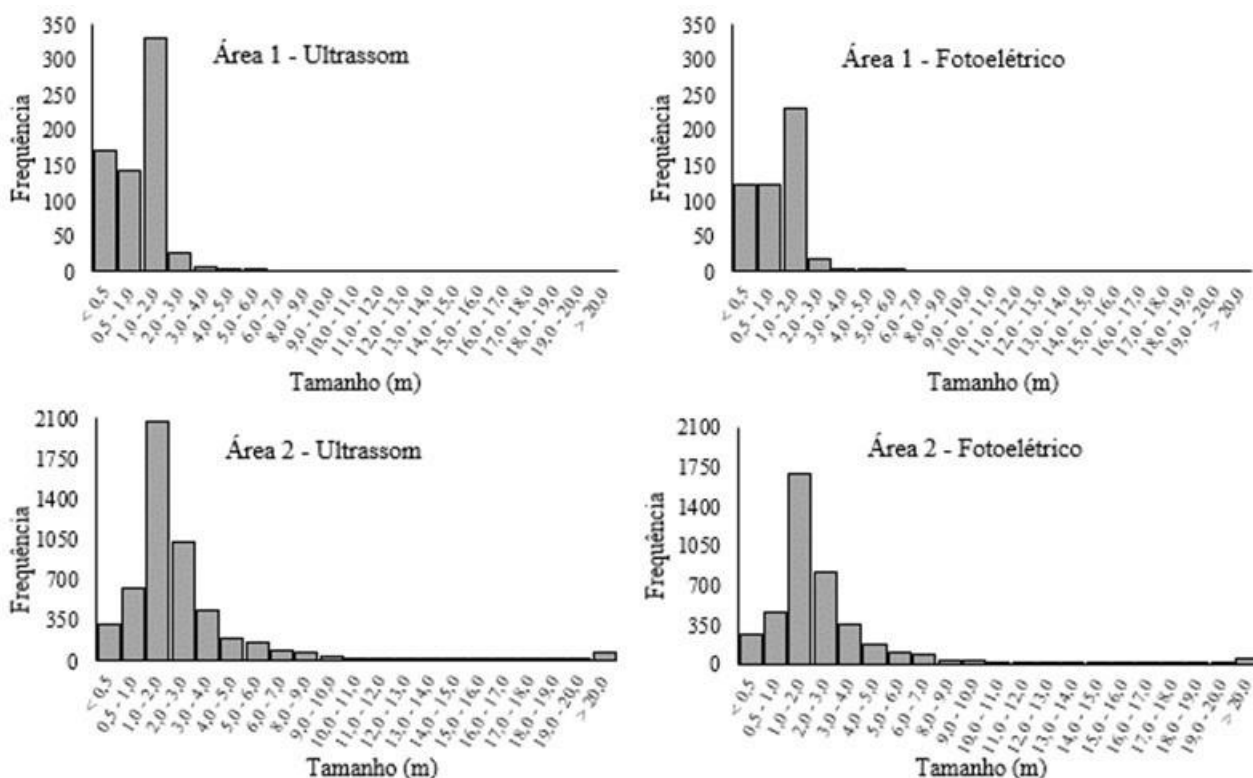


FIGURA 4. Histograma de distribuição do tamanho das falhas identificadas e mensuradas nas áreas de estudo utilizando os sensores ultrassom e fotoelétrico.

Os mapas criados a partir dos dados georreferenciados fornecidos pelos sensores mostram a distribuição espacial das falhas nas duas áreas de cana-de-açúcar (Figura 5 e 6). Observa-se que há aleatoriedade na distribuição espacial das falhas na área 1. Os sensores conseguiram identificar as mesmas falhas dentro das fileiras, porém é notável que o sensor ultrassom identificou quantidade maior de falhas. Na área 2 há padrões de distribuição espacial das falhas. Pode ser visto que há concentração de falhas (círculo verde) no canto noroeste do talhão, que possivelmente está relacionado à concentração de água, devido à baixa altitude e declividade do terreno convergente nesta região do talhão. Excesso de água pode resultar em vários problemas, como o atraso na germinação, a podridão dos brotos e das raízes devido à falta de oxigênio e aumento do risco de doenças (SOUZA et al., 2017; RAY et al., 2009).

Maior ocorrência de falhas é observada no começo das linhas (elipse vermelha na Figura 6) de cana-de-açúcar, provavelmente causadas durante as manobras do conjunto de transbordo e colhedora durante a colheita. Nota-se que nesta área o sensor ultrassom identificou algumas falhas com tamanho entre 10 e 15 m

(polígono azul na Figura 6) que não foram detectadas pelo sensor fotoelétrico. De acordo com Molin e Veiga (2016), o sensor fotoelétrico pode detectar algumas folhas de cana e não apenas caules. Além disso pode haver a detecção falsa de plantas em locais onde há infestação de ervas daninhas ou há presença de outros obstáculos, como os resíduos da colheita. Entretanto, os sensores ultrassom não conseguiram detectar estes obstáculos. Como os dados são georreferenciados, podem ser usados para direcionar a verificação a campo nos pontos mais relevantes.

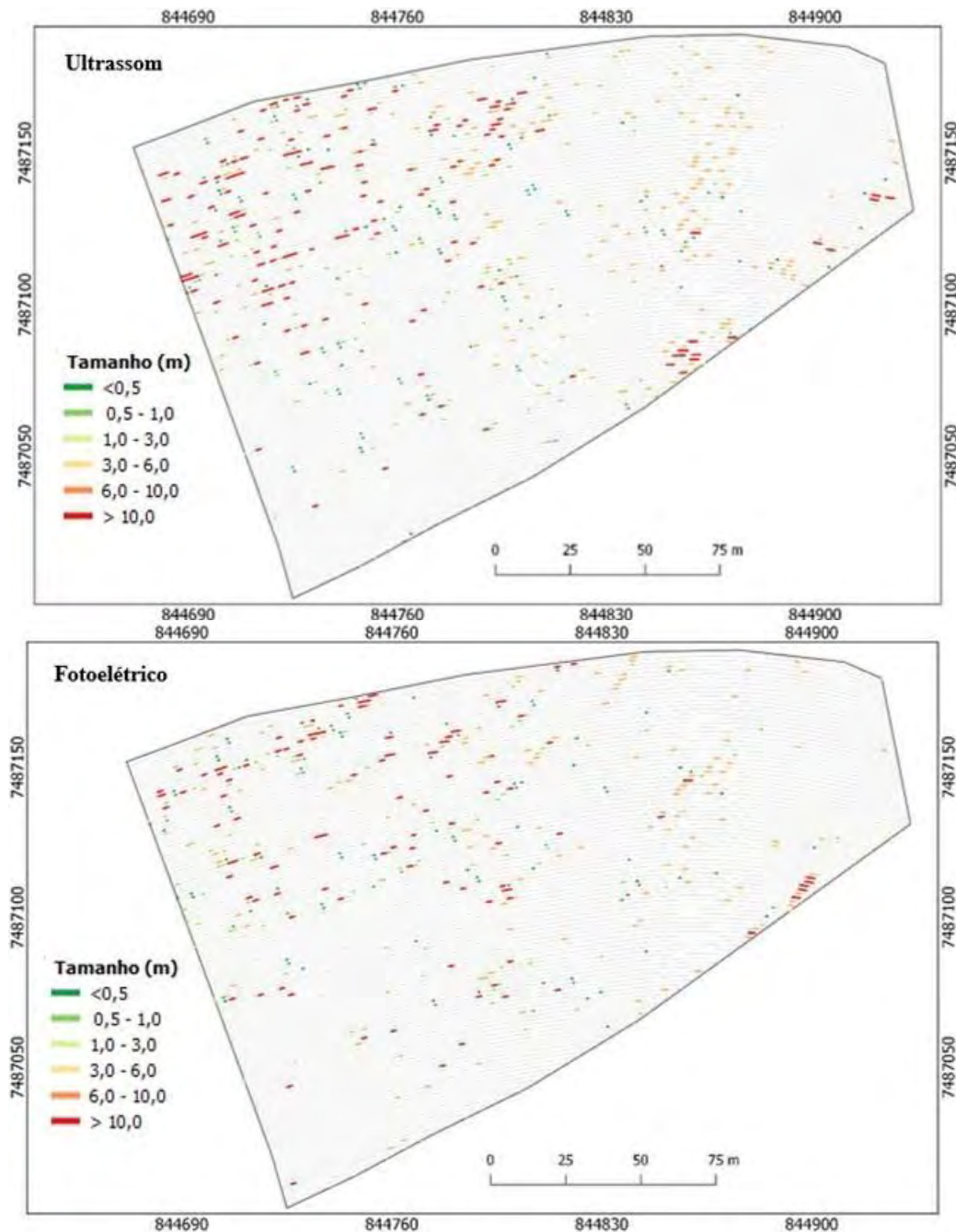


FIGURA 5. Mapas de falhas gerados a partir dos dados dos sensores fotoelétrico e ultrassom para a área 1.

A capacidade do sensor ultrassom em identificar pequenas soqueiras da cultura indica que a fase de desenvolvimento da planta influencia na capacidade do sensor em identificar as falhas, sendo que o sensor ultrassom superestimou o número de falhas em locais com menor desenvolvimento da soqueira. Mesmo se for aceito que o método superestima números de falhas, ele fornecerá evidências de onde a perda de rendimento será mais elevada. Embora há diferença no número de falhas identificadas entre os sensores fotoelétrico e ultrassom, a metodologia de identificação proposta apresenta uma estimativa baseada em todas as linhas da cana-de-açúcar dentro do talhão. Já o método tradicional de avaliação de falhas considera apenas algumas partes de algumas linhas de plantio (STOLF, 1986). De acordo com Souza et al. (2017) existe a possibilidade

de comparação dos mapas de falhas com outros mapas, como mapas de vegetação, mapas de produtividade e mapas de solo e declive, gerando informações adicionais para auxiliar na tomada de decisões.

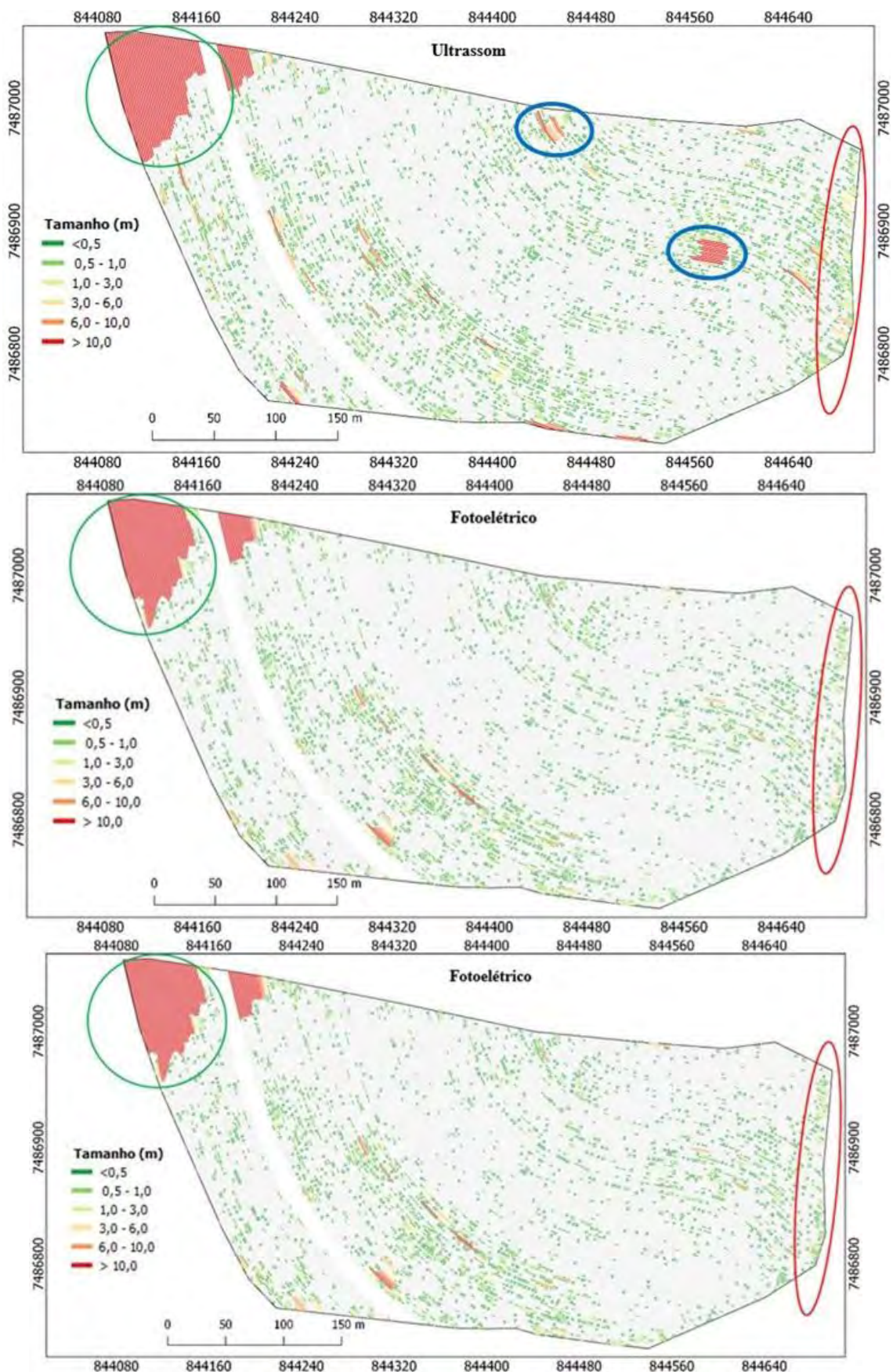


FIGURA 6. Mapas de falhas gerados a partir dos dados dos sensores fotoelétrico e ultrassom para a área 2.

Estes sensores podem ser facilmente acoplados em equipamentos que realizam operações de manutenção do canavial, como pulverização ou adubação, obtendo a informação de falhas sem a necessidade de operação dedicada. Tais sensores podem auxiliar na racionalização da aplicação de insumos somente em locais onde há plantas, reduzindo assim custos de insumos. Outro potencial das informações localizadas de falhas é permitir decidir qual porção da lavoura tem de ser replantada ou renovada, diminuindo assim o custo de implantação.

## CONCLUSÃO

O uso de sensores ultrassom e fotoelétricos juntamente com um receptor GNSS tem potencial para fornecer informações georeferenciadas das falhas presentes nas fileiras da cana-de-açúcar, apresentando alta correlação entre o tamanho real das falhas e o mensurado. Testes em campo demonstram que os sensores são capazes de identificar a presença e a ausência de colmos ao longo da fileira. O sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao sensor fotoelétrico devido a sua restrição de identificar alvos de tamanhos pequenos. Os sensores identificaram e mensuram as falhas em áreas com diferentes número de cortes, indicando que a metodologia é aplicável a diferentes áreas com diferentes números de corte e para investigar a evolução das falhas ao longo dos anos de cultivo da cana-de-açúcar, auxiliando na tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, D.S. **Estudos com sensores para a mensuração de falhas nas fileiras de cana-de-açúcar (*Saccharum SSP.*)**. 75p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- BOCCA, F.F., RODRIGUES, L.H.A., ARRAES, N.A.M. When do I want to know and why? Different demands on sugarcane yield predictions. **Agricultural Systems**. v. 135, p. 48–56, 2015.
- MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., DE OLIVEIRA FRANCELINO, H., COELHO, F. C. Factors that affect sprouting and tillering of sugar cane. **Vertices**, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.
- MATSUOKA, S., STOLF, R. **Chapter 5 - sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping**. In: Goncalves, J.F., Correia, K.D. (Eds.), *Sugarcane: Production, Cultivation and Uses*. Nova Science Publishers, p. 137–157, 2012.
- MOLIN, J. P., VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row skips: measurement and mapping. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 347-355, 2016.
- RAY, J.D., SINCLAIR, T.R., GLAZ, B. Sugarcane response to high water tables and intermittent flooding. **Journal of Crop Improvement**, v. 24, p. 12-27, 2009.
- SOUZA, C. H. W., LAMPARELLI, R. A. C., ROCHA, J. V., MAGALHÃES, P. S. G. Mapping skips in sugarcane fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, p. 49-56, 2017.
- STOLF, R. Methodology for gap evaluation on sugarcane lines. **STAB** 4, p. 12–20, 1986.
- SPEKKEN, M., MOLIN, J. P., ROMANELLI, T. L. Cost of boundary manoeuvres in sugarcane production. **Biosystems Engineering**, v. 129, p. 112-126, 2015.

## **UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR DANOS DE BROTAÇÃO EM CANAVIAL POR CURVATURA DE ORIENTAÇÃO E DE PARALELISMO DOS SULCOS**

**RENAN PENEDO<sup>1</sup>, MARK SPEKKEN<sup>2</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba, Fone: (19) 99774-1345, renan.penedo@usp.br

<sup>2</sup> Dr. Engº Agrônomo, Diretor-Pesquisador, SOMO desenvolvimento, Piracicaba-SP, mark@somoagro.com

<sup>3</sup> Engº. Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, jpmolin@usp.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** As falhas de brotação podem tornam-se mais frequentes e extensas com o passar dos anos, agravados, em parte, pela colheita mecanizada. O tráfego indesejado na soca prejudica a brotação da planta, reduzindo produtividade e longevidade do canavial. A hipótese deste trabalho é de que proporção de falhas em uma área de cana soca é maior: (1) nas localidades em que o espaçamento entre linhas desvia do espaçamento ideal e (2) nas localidades em que a curvatura das fileiras se intensifica. Avanços em geoprocessamento levaram a ferramentas comerciais que viabilizam a vetorização de fileiras de cana e falhas em linhas geográficas a partir de imagens de alta resolução obtidas por RPA. O presente trabalho faz uso destas tecnologias, propondo uma metodologia que: 1) extraia, dos arquivos geográficos, um vasto número de localizações de pontos de espaçamento entrelinhas e a angulação entre os vértices dos segmentos de linha; 2) segmente as linhas geográficas de falhas em pequenos trechos para serem identificados na proximidade com os pontos de espaçamento e vértice; 3) quantifique os trechos de falhas por classes de espaçamento e angulação entre vértices. Tal metodologia foi implementada em algoritmo computacional que permite processamento de alta resolução espacial para grandes volumes de dados. A metodologia aqui proposta permitiu quantificar, por consistência de ocorrências, a relação entre os dois fatores de dano mencionados e falhas de brotação sobre vastas áreas, o que seria manualmente oneroso de se obter. Os resultados foram consistentes em encontrar maior ocorrência de falhas nas localidades de espaçamento reduzido, com incrementos de 30 a 70% no comprimento de falhas para estreitamentos de 0,2 m. Foi observada consistência de resultados entre diferentes áreas, em concordância com a hipótese estabelecida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Falhas em cana-de-Açúcar, Controle de tráfego, Sensoriamento de vegetação, VANT.

### **A METHOD TO QUANTIFY RATOON DAMAGE IN SUGARCANE PRODUCTION CAUSED BY PLANTING ORIENTATION AND DEVIATIONS OF PARALLELISM ALONG ROWS**

**ABSTRACT:** Sugarcane gaps along rows often become more frequent and longer along years, partially because of mechanized harvesting. The undesired traffic affects the new growth of plant, the productivity and longevity of the cane field. The hypothesis of this work is that the proportion of gaps in a sugarcane area is greater in: (1) locations where the row-spacing deviates from the desired width, and (2) locations where the curvature of the rows intensifies. The machine wheels/caterpillars traffic between the crop rows and are dependent on the accuracy its of parallelism. Advances in geoprocessing led to commercial tools that enable vectorization of cane lines into geographic lines from high-resolution images by RPA. The present work makes use of these technologies and proposes a methodology to: 1) extract, from geographic files, a vast number of locations with measurements of width between rows (MWR) and the angle between row-line vertices; 2) break the geographic lines of vegetation gaps into small segments to be identified near the MWR and the line vertices; 3) quantify the small segments by classes of row-spacing and curve intensity. Such methodology was implemented in a computational algorithm that allows the processing of high spatial resolution images over large data volumes. The methodology proposed here allowed to quantify, by data volume consistency, the relation between the two damaging factors and the vegetation gaps over vast areas, which would be manually expensive to obtain. The results were consistent in finding greater occurrence of faults in the small spaced localities, with increments of 30 to 70% in the length of faults for narrowings of 0.2 m. Consistency was observed of results between different areas, in agreement with the established hypothesis.

**KEYWORDS:** Sugarcane gaps, Controlled Traffic Farming, Vegetation Sensoring, RPA

## INTRODUÇÃO

Os campos de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) são renovados, em média, a cada cinco anos. Um importante requisito para alta produtividade é uma boa uniformidade de rebrotação do canavial, a qual é comprometida devido a falhas de brotação ao longo das fileiras de cana, causadas por plantio inadequado, restrições hídricas no plantio, danos durante a colheita, tráfego indesejado de máquinas sobre a soqueira, pragas/doenças, entre outros fatores (CONAB, 2018).

Uma metodologia de campo consagrada para determinação de falhas, é o método proposto por Stolf (1986) que consiste na mensuração do comprimento das falhas ao longo das linhas de plantio. Em resposta ao lento e fatigante processo de mensuração manual de falhas em campo, e o advento das tecnologias de sensoriamento, veículos terrestres foram desenvolvidos e testados para rápida detecção da presença de plantas (ALVARES et. al, 2008; MOLIN E VEIGA, 2016). Ainda assim, a despeito de sua acurácia, tais procedimentos exigem circulação de veículos por toda a plantação, custos por instrumentação de máquinas, (possível) operação adicional, e perigo de maiores danos de tráfego ao canavial.

Levantamentos da CONAB (2018), sugerem o percentual de colheita mecanizada de cana-de-açúcar no país em 90,2%, o que denota intenso tráfego por colhedoras e transbordos nas áreas produtoras. Santos et al. (2013) constataram que falhas de brotação podem tornam-se mais frequentes e densas ao longo de colheitas subsequentes de um canavial, agravados pela mecanização. O tráfego indesejado na soca prejudica o novo crescimento da planta, reduzindo produtividade e longevidade do canavial. Paula e Molin (2013) estudaram o impacto do tráfego indesejado na lavoura, encontrando sua influência na compactação do solo, resultando em menor produtividade.

Enquanto os desvios laterais de tráfego nas colhedoras e transbordos prejudicam eventualmente o canavial, os erros de tráfego no plantio levam ao contínuo amassamento da soca nas localidades em que o espaçamento entrelinha se desvia do estabelecido. Baio (2007) sugere a irregularidade do espaçamento entre linhas na cana-de-açúcar como a principal causa de danos à brotação do canavial no ano seguinte.

Trabalhos, tecnologias e métodos foram aplicados para detecção de falhas e, de forma distinta, para a mensuração de erros de paralelismo de tráfego. Porém, a despeito de hipóteses quanto à relação causa-efeito destes dois fatores, há escassez de trabalhos relacionando quantitativamente o os erros de paralelismo em fileiras de cana-de-açúcar com a presença/intensidade de falhas de brotação.

Outro agravante do tráfego indesejado são as curvas ao longo dos sulcos/fileiras do canavial. As limitações dos rodados das máquinas de se desalinham sob curvatura, e conseqüentemente consumirem maior largura transversal de tráfego, levam ao amassamento das culturas. Spekken et al. (2014) propuseram métodos algorítmicos para mensuração do desalinhamento do tráfego de máquinas, apontando como agravantes a intensidade do esterçamento na curvatura e a maior distância entre eixos do veículo traçado.

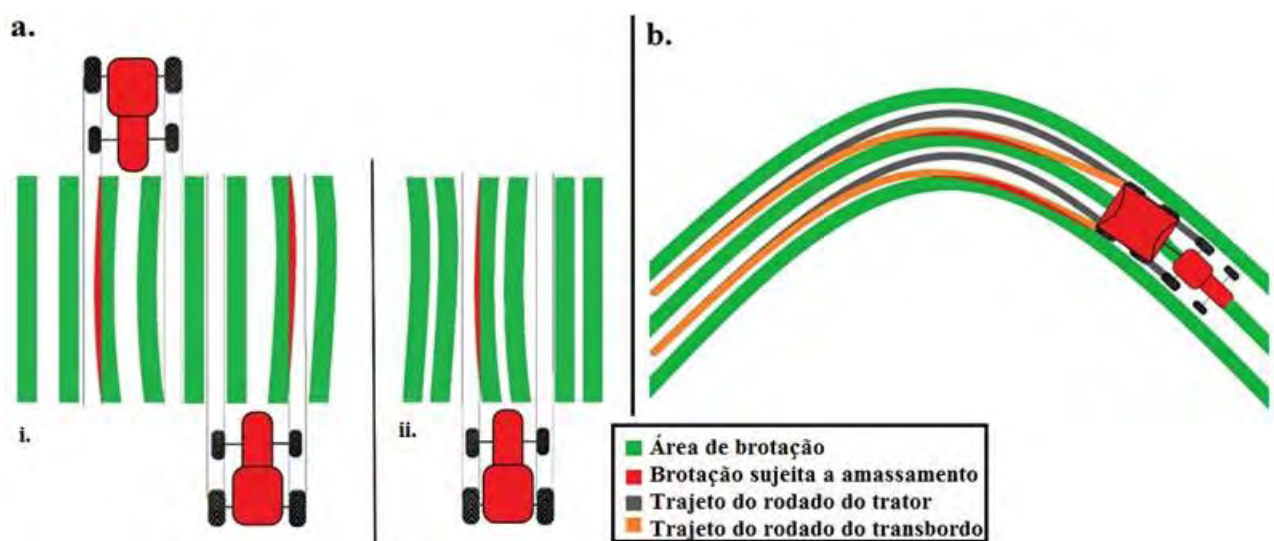


Figura 1 – Em “a”, exemplo do efeito do paralelismo em relação ao tráfego na indução de falhas em plantio de espaçamento simples (i) e espaçamento duplo alternado (ii). Em “b”, efeito da curvatura em relação ao tráfego e danos à soqueira.

A despeito de trabalhos de redesenho dos sulcos de plantio em cana-de-açúcar visando maior eficiência (Spekken et al., 2016), a relação entre a curvatura de fileiras e seu respectivo dano à soqueira de cana (levando à falhas de brotação) ainda não foi estudada.

A Figura 1 ilustra a relação dos aspectos de qualidade de paralelismo entrelinhas, tráfego de máquinas e danos à soqueira de cana. Em 1a, observa-se o dano à soqueira em duas configurações de espaçamento distintos (i – espaçamento simples contínuo, e ii – espaçamento duplo alternado). Em 1b observa-se o efeito da curvatura ao longo da fileira de cana e o potencial dano causado à brotação.

Avanços em geoprocessamento levaram a ferramentas que viabilizam a vetorização de fileiras de cana e falhas em linhas geográficas a partir de imagens de alta resolução obtidas por RPAs. Segundo Abdel-Rahman (2008), com o advento das imagens de satélite civil e utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), a agricultura se tornou um grande campo de aplicação para o sensoriamento remoto. RPAs podem fornecer imagens com alta resolução espacial (poucos centímetros por pixel), permitindo que as imagens sejam adquiridas em momentos ideais para os fins desejados, com grande velocidade de aquisição e menores custos. Souza et al.(2017) utilizando-se de imagens obtidas por RPA propuseram métodos de identificação de falhas de brotação. O presente trabalho faz uso destas tecnologias, propondo uma metodologia para mensurar e quantificar, a partir de grandes volumes de dados espaciais, os danos em brotação de cana-de-açúcar por desvios de paralelismo e orientação curvilínea no plantio.

## MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo matemático foi criado que utiliza dados de arquivos geográficos vetorizados de linhas-fileiras e falhas de vegetação. A descrição metodológica é dada a partir do fluxograma ilustrado na Figura 2.

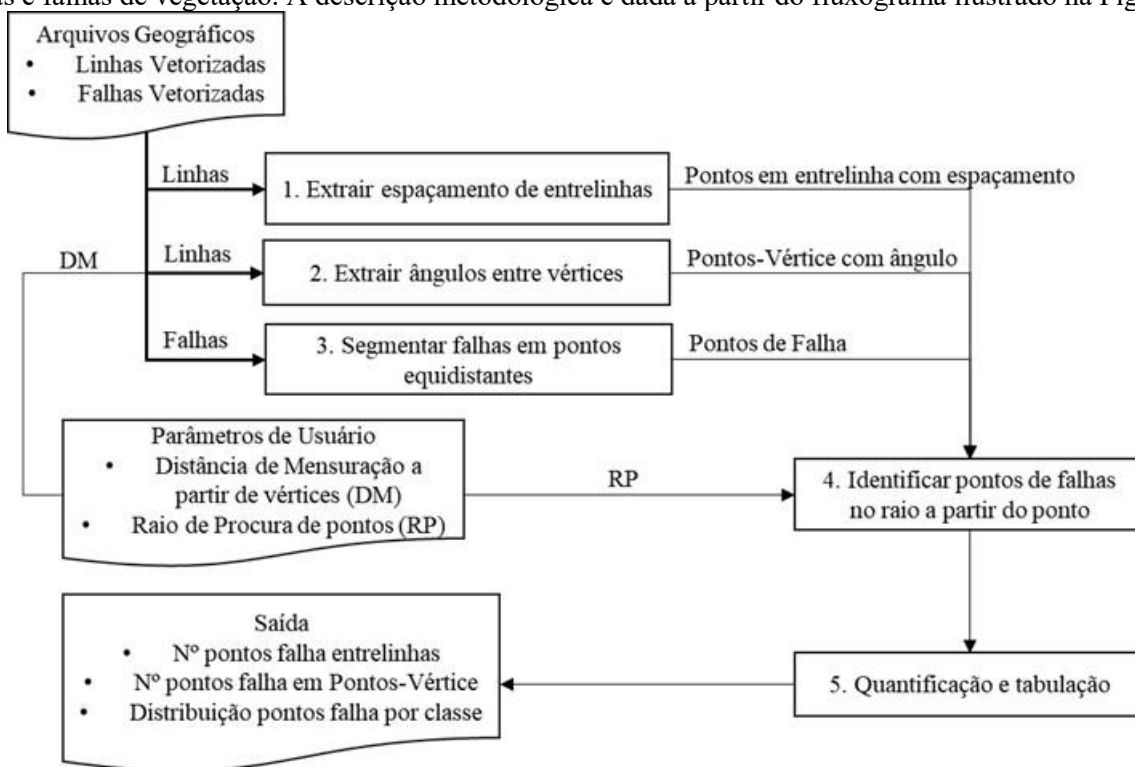
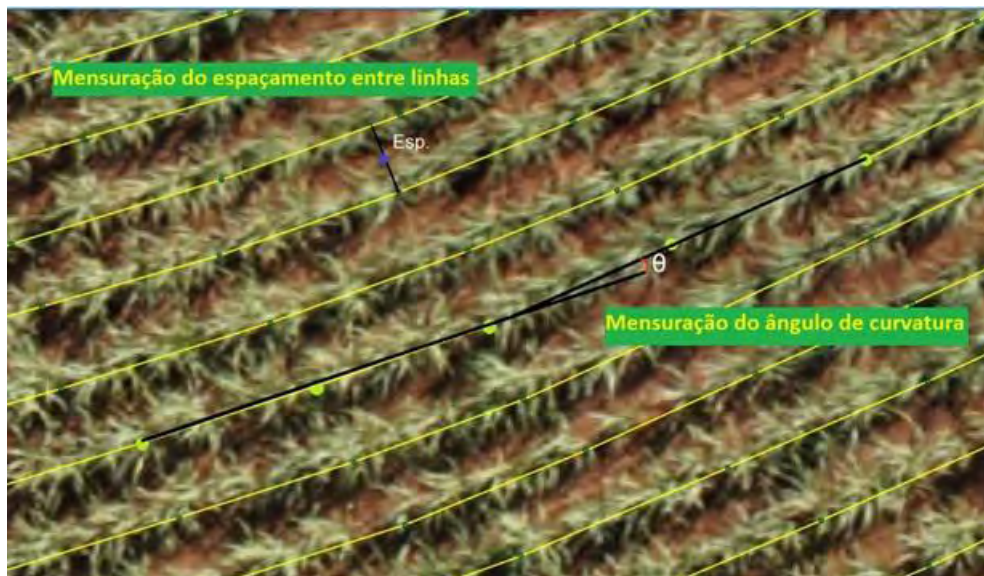


FIGURA 2. Fluxograma do modelo conceitual da metodologia proposta. (DM: Diâmetro de Mensuração a partir de vértices; RP: Raio de Procura de pontos).

O processo 1 faz uso de uma modificação do algoritmo proposto por Spekken et al. (2014) para mensuração de distância euclidiana entre ponto-e-linha em dados cartesianos. Esse método permite que o espaçamento seja obtido a partir de um ponto, pela sua distância perpendicular, até o segmento de linha transversal mais próximo.





No processo 2,

os ângulos de esterçamento ao longo de uma fileira são obtidos por meio da variação de direção de segmentos em um vértice, sendo que os segmentos possuem distância de mensuração (DM) definida pelo usuário. A FIGURA 3 ilustra a obtenção destes dois parâmetros pelos processos 1 e 2.

FIGURA 3. Exemplos da mensuração do espaçamento entre linhas e ângulos de curvatura.



No Processo 3,

os dados geográficos dos segmentos de falha são fragmentados em pontos equidistantes, em intervalos de 0,1 m. Tal procedimento influencia no Processo 4, que procura pelos pontos-falha localizados no exato raio a partir de uma certa localização (um vértice de angulação, ou um ponto de espaçamento entre linha mensurado), evitando que falha de grande comprimento seja atribuída a mais de um ponto de procura. Isso pode ser observado na Figura 4, onde apenas dois pontos fragmentados de falha encontram-se no raio de uma entrelinha mensurada.

FIGURA 4. Exemplificação da segmentação das falhas e da quantificação do número de pontos falha dentro da área de influência.

A quantificação e tabulação dos dados obtidos (Processo 5) é feita com a criação de classes de espaçamento entre linhas e de ângulos de curvatura na fileira. É obtida a quantidade média de pontos de falhas encontradas nos raios de cada local (espaçamento e vértice de linha). Considerando cada ponto com a distância equidistante de 0,1 m, é quantificado o comprimento médio de falhas em cada classe. O modelo foi implementado em um aplicativo por um algoritmo computacional desenvolvido na plataforma livre Lazarus-IDE (*Free-Pascal initiative*). Um sistema de alocação espacial em índice permite rápida identificação dos pontos de falha fragmentados ao redor de qualquer referência espacial. Os dados obtidos pelo algoritmo exportam duas listas distintas: uma lista de todas as localizações de entrelinha medidos com seu respectivo espaçamento e o número de pontos de falha obtido ao redor deste; e uma lista de todos os vértices dos

segmentos de linha que compõe fileiras do canavial com sua respectiva angulação e os respectivos números de pontos de falha ao redor destes.

A tabulação dos dados foi feita em planilha Microsoft Excel™ para a separação de classes de espaçamento entre linhas e de ângulos entre vértices. O modelo aqui proposto faz uso de arquivos vetorizados para extração de informações. Assim sendo, não há discriminação no modo como estas informações são extraídas (seja por sensores próximos trafegando ao longo das linhas ou reconstrução de vetores a partir de imagem). Para este trabalho, as fileiras-linha vetorizadas de cana-de-açúcar e as respectivas falhas ao longo destas foram obtidas a partir de imagens de RPAs pelo método proposto por Spekken et al. (2018). O método faz uso de classificação radiométrica e OBIA (*Object-Based Image Analysis*) para orientar a reconstrução de fileiras-linha de vegetação. O processamento fez uso de imagens de câmeras RGB acopladas em RPAs. Essas imagens foram submetidas a processamentos e padronizadas a resolução de 0,1 m x 0,1 m de tamanho de pixel. Um estudo de caso ilustra, em passos, a obtenção dos dados com localização de área é fornecida. Porém, para as demais áreas exploradas nos resultados, os proprietários das imagens não permitiram a divulgação da localização. As áreas são de cana soca, porém não foi fornecido o número de colheitas realizadas. Duas configurações de espaçamento de plantio foram analisadas nos estudos, sendo estas: espaçamento simples (1,5 m entrelinhas) e duplo-alternado (duas fileiras próxima de 0,9 m + 1,5m entrelinhas).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Exemplo de exploração do modelo proposto

Uma área localizada na proximidade de (cidade próxima) nas coordenadas de  $-49.050440^\circ$ ,  $-21.142265^\circ$ , com uma área de 6,55 hectares ocupada por cana-soca implantada no espaçamento de 1,5 m foi submetida à extração de fileiras-linha, falhas-linha e ao modelo aqui proposto. Uma visualização da área e das suas respectivas linhas e falhas vetorizadas extraídas é provida na Figura 5.

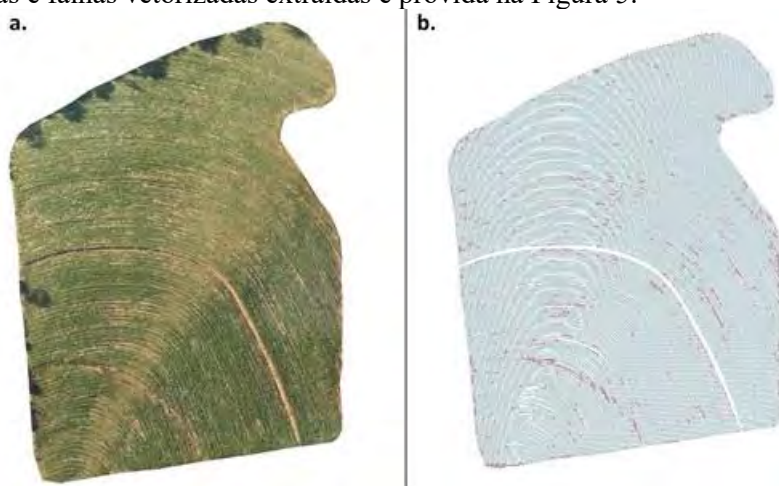


Figura 5 – Ortomosaico da área explorada no estudo de caso (a). Fileiras e Falhas provenientes do processamento da imagem (b).

Foram extraídos 43.090 m de fileiras-linha e 1.120 m de falhas-linha ao longo da área. Foram extraídos aproximadamente 19 mil pontos mensurados de espaçamento entrelinhas e identificados 10 mil pontos-vértice para ângulo de curvatura.

Nas mensurações entre linhas, 40,1%, 29,3%, 16,2%, 11,1% e 3,2% das fileiras de cana na área tiveram desvios de espaçamento mensurados entre 0-5, 5-10, 10-15, 15-25 e acima de 0,25 m, respectivamente. A Figura 6 apresenta a distribuição, em histograma, relação dos fatores aqui considerados no comprimento de falhas.

Foi observado que, nos locais em que houve estreitamento de 0,2 m e 0,4m no espaçamento houve elevação de 38,1% e 210,0%, respectivamente no comprimento médio de falhas em relação ao espaçamento correto; a elevação do espaçamento em 0,2 m e 0,4 m também elevaram o comprimento de falhas em 50,3% e 395,8%.

Em relação à linha retilínea (angulação entre  $0,0^\circ$  a  $1,0^\circ$ ), a angulação com intervalos de  $4,0-5,0^\circ$  tiveram incremento em relação ao comprimento médio de falhas em 138,9%.

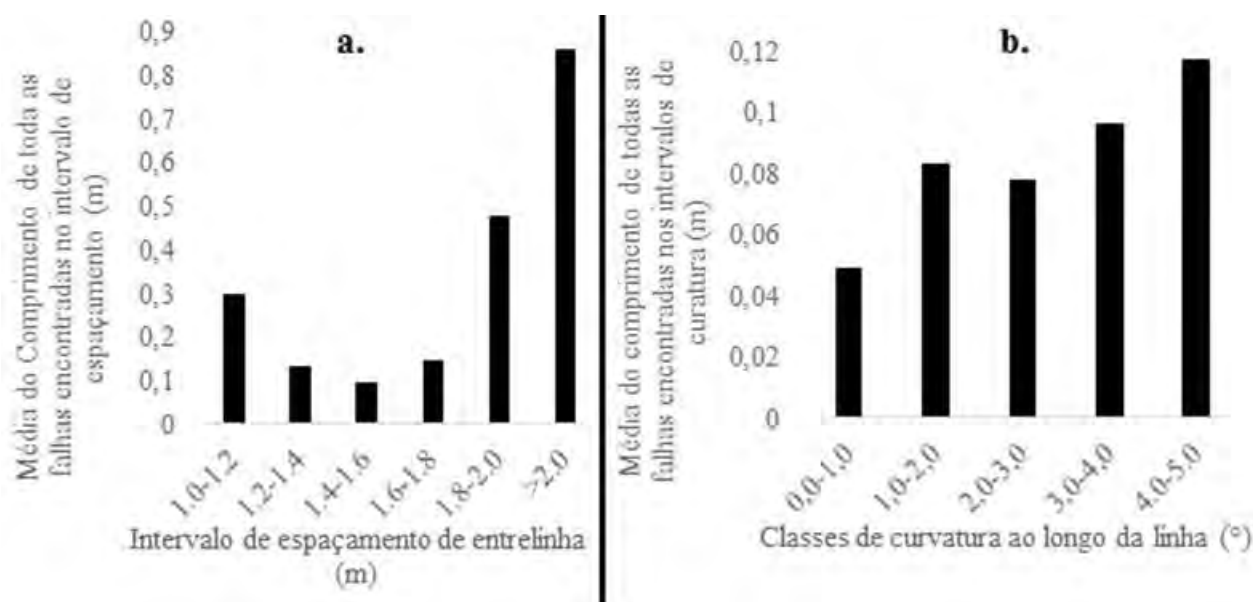


FIGURA 6. Gráfico de: a.) comprimento de falhas em relação ao espaçamento entre fileiras-linha; e b.) gráfico do comprimento falhas em relação à angulação do ponto-vértice.

### Resultados de aplicação do modelo em escala

Foram submetidos 9 estudos de caso (EC) à metodologia proposta pelo atual trabalho, sendo seis áreas em configuração de plantio de espaçamento simples (ES) e três áreas de espaçamento duplo alternado (ED).

Tabela 1. Relação dos estudos de caso (imagens/talhões) com seus dados extraídos (linhas e falhas), aplicados ao modelo.

ID Estudo de caso (talhão)	Área total (ha)	Comprimento de fileiras-linha de cana-de-açúcar (m)	Comprimento de falhas-linha de vegetação (m)
EC1-ES	90,22	599,85 10 <sup>3</sup>	13,80 10 <sup>3</sup>
EC2-ES	72,23	387,00 10 <sup>3</sup>	11,93 10 <sup>3</sup>
EC3-ES	19,28	166,10 10 <sup>3</sup>	10,31 10 <sup>3</sup>
EC4-ES	122,08	551,15 10 <sup>3</sup>	100,11 10 <sup>3</sup>
EC5-ES	32,79	218,19 10 <sup>3</sup>	79,20 10 <sup>3</sup>
EC6-ES	110,24	732,01 10 <sup>3</sup>	282,25 10 <sup>3</sup>
EC7-ED	159,9	1.226,19 10 <sup>3</sup>	137,34 10 <sup>3</sup>
EC8-ED	276,77	2.246,26 10 <sup>3</sup>	255,39 10 <sup>3</sup>
EC9-ED	206,3	1.313,97 10 <sup>3</sup>	105,62 10 <sup>3</sup>

A Tabela 1 contempla a dimensão do levantamento feito neste trabalho. Um comprimento acima de 7.400 quilômetros de fileiras-linha de cana foi submetido a análise. Tal levantamento abrange a totalidade das áreas; portanto, dados não foram sujeitos a delineamento experimental ou estatístico para extrapolação das descobertas sobre as mesmas áreas.

Para quantificação da relação entre espaçamento entrelinha e falhas de brotação, foram definidas classes de espaçamento com intervalos de 0,2m. Esse valor foi tomado com base na segurança dos fatores de desvios do centro de vegetação do canal, variação de distância dentro do pixel da imagem e variação do espaçamento entrelinhas ao longo de um único segmento (retilíneo) em uma curvatura.

Na Tabela 2 são demonstradas as classes de intensidade de desvio de espaçamento aqui utilizadas, sendo o intervalo de cada classe de 0,2 m. Estas são identificadas com o intervalo de desvios de espaçamento entrelinha em relação ao planejado, sendo “R” uma identificação para os intervalos em que o espaçamento reduz e “A” para os intervalos em que o espaçamento aumenta.

Tabela 2. Classes de definição dos espaçamentos entrelinha, número de mensurações realizadas para cada estudo de caso (áreas), número de ocorrências de espaçamento (OC) e média do comprimento de todas as falhas (CF) encontradas para cada classe.

ID Estudo de caso	Número de mensurações de espaçam.	Classes de espaçamento entrelinha									
		0.5-0.3 R		0.3-0.1 R		0.1 R – 0.1 A		0.1-0.3 A		0.3-0.5 A	
		OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF
EC1-ES	317,39 10 <sup>3</sup>	565	0,34	34969	0,16	245144	0,11	34660	0,12	1100	0,16
EC2-ES	196,21 10 <sup>3</sup>	1159	0,74	27512	0,18	136313	0,09	29062	0,13	1215	0,28
EC3-ES	75,13 10 <sup>3</sup>	801	0,61	11629	0,50	42346	0,29	18277	0,27	1515	0,32
EC4-ES	166,42 10 <sup>3</sup>	1599	1,42	22138	1,25	95269	0,96	43057	0,75	3274	0,65
EC5-ES	108,22 10 <sup>3</sup>	493	0,63	32622	0,20	73391	0,13	1644	0,28	43	0,87
EC6-ES	353,83 10 <sup>3</sup>	408	0,53	31762	0,31	253805	0,18	30942	0,19	443	0,29
EC7-ED	303,75 10 <sup>3</sup>	5373	1,23	60354	0,64	170227	0,47	58539	0,18	6794	0,57
EC8-ED	594,95 10 <sup>3</sup>	1661	2,34	51631	1,28	191955	0,93	65483	1,02	5153	1,13
EC9-ED	356,72 10 <sup>3</sup>	1459	3,63	48465	1,59	210241	1,14	52997	1,11	2760	1,17

Pode-se observar as variações do comprimento médio do total de falhas entre as classes. Este comprimento é resultante obtido a partir de um grande número de observações/ocorrências, que provê robustez aos valores. Pode-se notar também que, a despeito da tendência de maior comprimento de falha nos desvios do espaçamento correto, estes são coerentes apenas dentro de um mesmo estudo de caso

O espaçamento entrelinhas é apenas um causador de falhas, mas não o único. Outras questões como tráfego irregular de máquinas no pós-plantio, condição de umidade de solo durante o tráfego (que leva a facilidade de deformação e dano), número de colheitas realizadas sobre uma área e o fenômeno da curvatura de linhas são também fatores de tráfego que levarão à variação na intensidade de dano.

Similarmente, a Tabela 3 mostra a distribuição das classes, mensurações e ocorrências encontradas. Linhas retilíneas foram, neste trabalho, tomadas como os vértices com angulação igual ou inferior a um grau (1°). Esta referência foi tomada como marco para comparação dos impactos em falhas de brotação sob crescente curvatura (Figura 8).

Tabela 3. Classes de definição do ângulo do ponto-vértice, número de mensurações realizadas para cada estudo de caso (áreas), número de ocorrências dentro do intervalo de angulação (OC) e média do comprimento de todas as falhas (CF) encontradas para cada classe.

ID Estudo de caso	Número de pontos- vértice.	Classes de ângulo do ponto-vértice									
		0°-1°		1°-2°		2°-3°		3°-4°		4°-5°	
		OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF
EC1-ES	165,80 10 <sup>3</sup>	142316	0,07	142316	0,08	13001	0,10	2891	0,14	684	0,19
EC2-ES	104,07 10 <sup>3</sup>	84104	0,02	84104	0,10	11205	0,12	3488	0,18	1168	0,19
EC3-ES	42,28 10 <sup>3</sup>	30975	0,01	30975	0,22	5703	0,29	2309	0,34	787	0,33
EC4-ES	122,02 10 <sup>3</sup>	96273	0,17	96273	0,71	14064	0,76	4637	0,84	1370	0,91
EC5-ES	58,30 10 <sup>3</sup>	315753	0,04	315753	0,29	1213	0,23	273	0,20	99	0,39
EC6-ES	192,75 10 <sup>3</sup>	292713	0,13	292713	0,08	17132	0,16	4745	0,16	1447	0,16
EC7-ED	173,46 10 <sup>3</sup>	237332	0,54	237332	0,23	27744	0,58	18586	0,59	11575	0,60
EC8-ED	328,47 10 <sup>3</sup>	258423	1,29	258423	1,46	34742	1,86	12654	2,37	5108	2,89
EC9-ED	192,33 10 <sup>3</sup>	278359	1,09	278359	0,64	22861	1,28	8919	1,41	3319	1,52

A partir da Figura 7, observa-se que a redução do espaçamento entrelinha elevaram o comprimento de falhas consistentemente em todos os estudos de caso aqui avaliados. O aumento do espaçamento também promoveu esta elevação, com poucas exceções (que não são intensas). Como esperado, os danos são acentuados com maior desvio do espaçamento correto. Outros fatores de variação na indução de falhas (apontadas anteriormente) se mostram claramente entre os estudos de caso no gráfico, não permitindo uma extrapolação de fórmula universal do impacto do paralelismo no plantio. Porém a consistência dos resultados aponta para a relação causa e efeito, que pode se tornar-se ainda mais robusta mediante um maior volume de dados processados e (se possível) com metadados providos (número de cortes, presença de piloto automáticos nas máquinas que trafegam o talhão, etc).

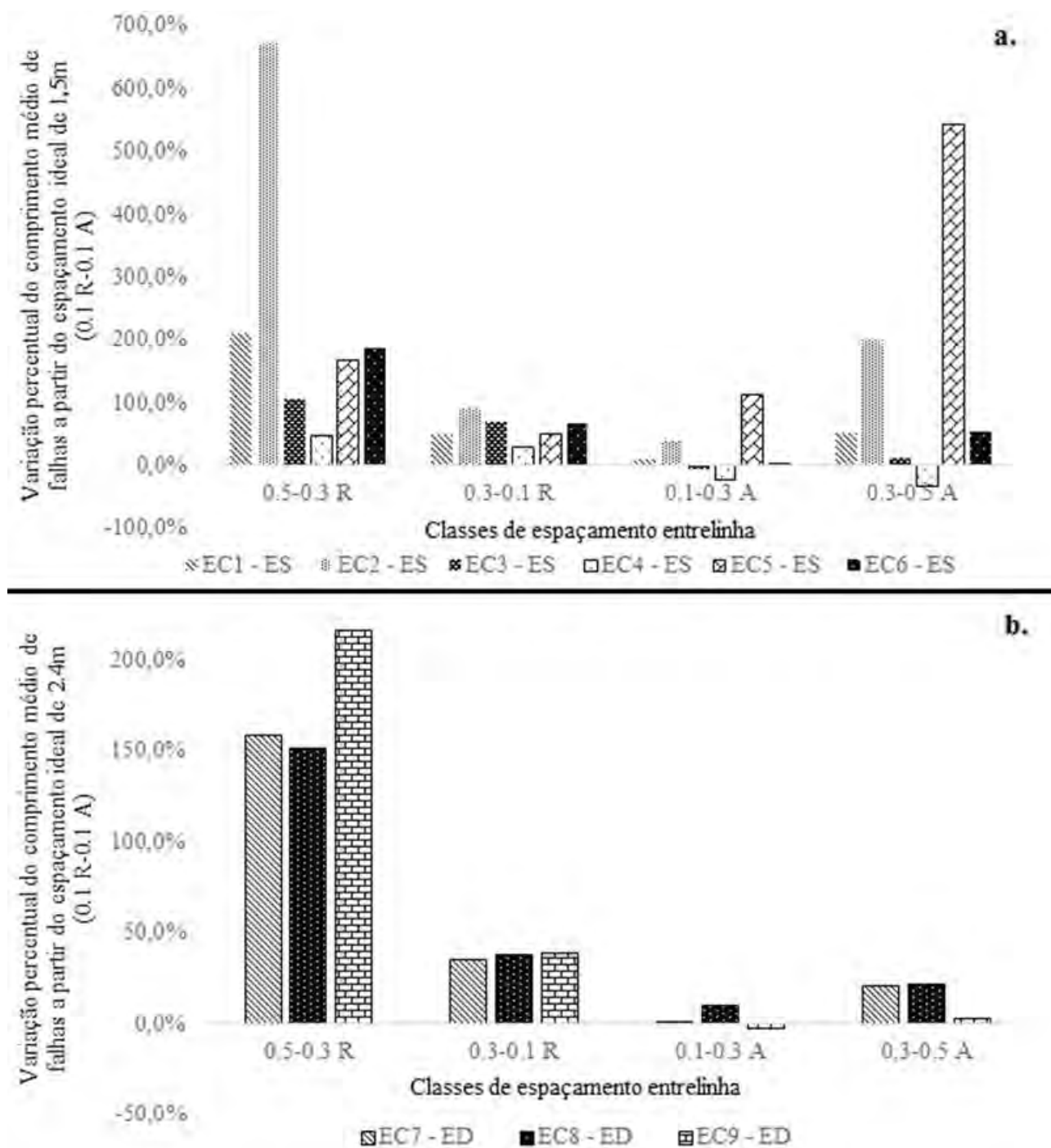


Figura 7. Impacto percentual do comprimento de falhas por desvios em referência ao espaçamento correto (0.1 R - 0.1A) para os estudos de caso analisados.

A redução do espaçamento mostrou-se sempre danosa em todos os estudos de caso, sendo que o caso de menor impacto ainda elevou comprimento de falhas em 29,8% em uma redução de 0,2m no espaçamento. Tais valores se mostram como subsídio importante para os tomadores de decisão do setor canavieiro para a aquisição de tecnologias de orientação de máquinas.

Os gráficos da Figura 8 mostram um geral incremento do percentual de falhas sob crescente curvatura. Este percentual, para os estudos de caso analisados, nunca se mostrou menor que o espaçamento retilíneo, alcançando picos significativos de elevação de falhas.

Os grandes acréscimos de comprimento de falhas, encontrados em alguns estudos de caso (para ambos os fatores aqui estudados), demandam atenção do setor canavieiro pelo seu impacto. Decisões para replantio de canavial estão sendo considerados pelo setor apesar de onerosas, mas resultados aqui apresentados mostram que tais intervenções podem ser irrelevantes se o tráfego e orientação das linhas não forem considerados.

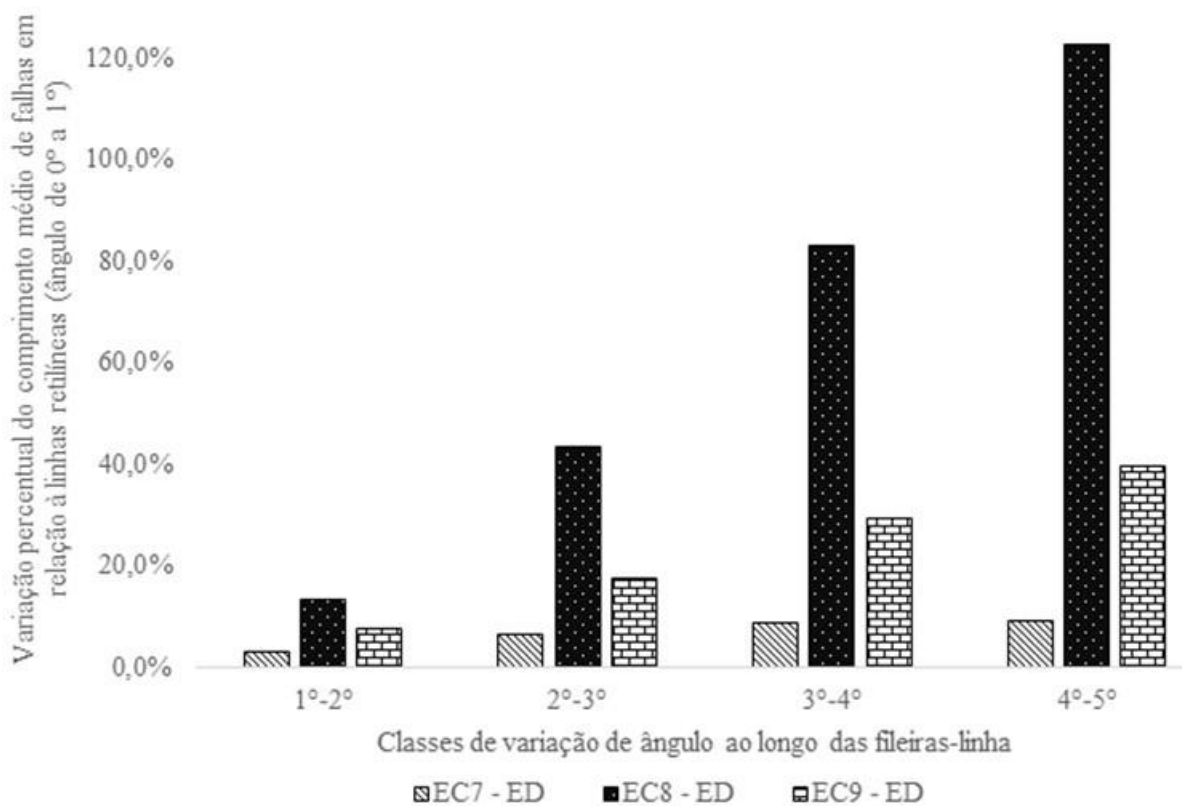
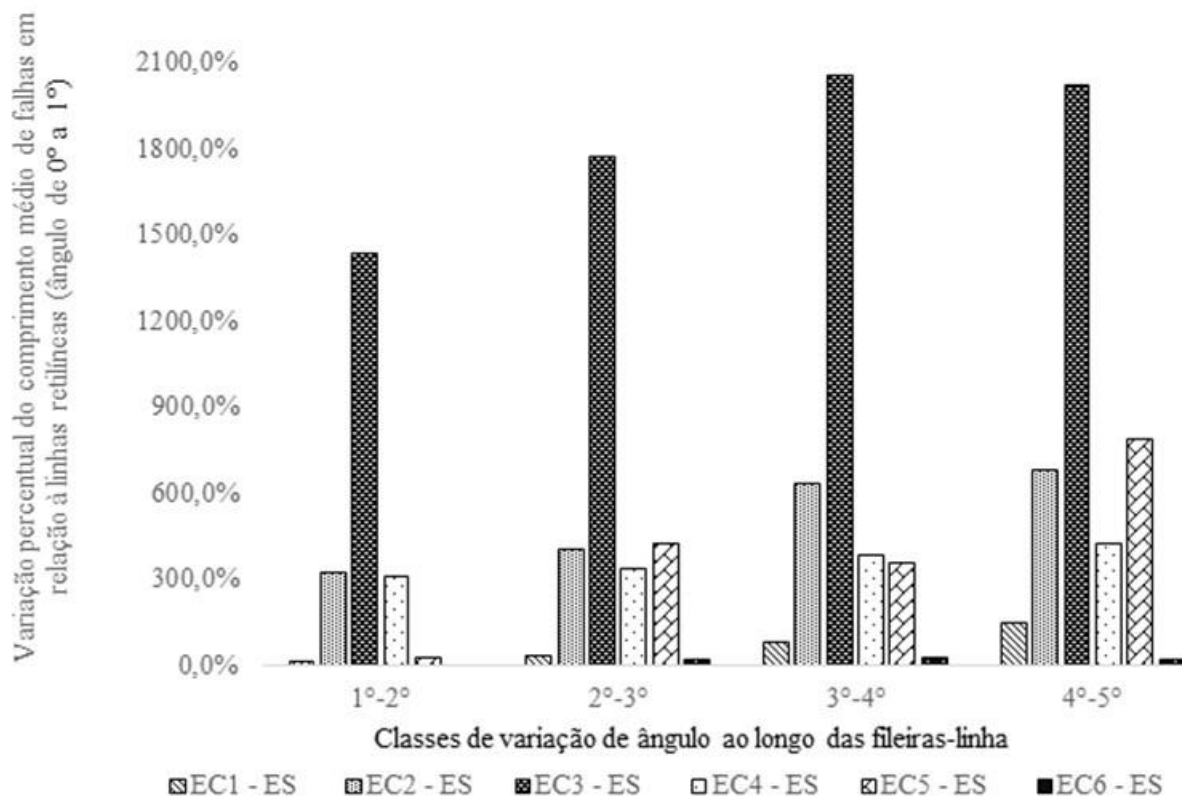


Figura 8 – Impacto percentual do comprimento de falhas por elevação na curvatura ao longo das fileiras-linha, em referência à linhas retilíneas (0 -1° de angulação).

## Sumário e apontamentos

Os estudos de caso fornecidos para processamento pelo modelo são, em sua maioria, proprietários de entidades diversas. Não foram fornecidos dados que contribuiriam para a hipótese do trabalho como: políticas e tecnologias de controle de tráfego nas áreas, número de cortes, e condição do solo no ato de colheita. Entretanto, a partir da análise nos estudos de caso, concluímos que há elevação consistente das falhas de brotação em localidades de espaçamento entrelinhas reduzido, e quase-consistente em espaçamento aumentado para todos os estudos de caso aqui analisado. Os impactos de erro de espaçamento são significativos, mostrando elevação no comprimento de falhas da ordem de 30% para os casos de menor impacto em desvios de 0,2m. Similarmente, a elevação da curvatura mostrou impacto consistente na elevação das falhas. Alguns estudos de caso mostraram alta sensibilidade quanto aos fatores aqui estudados, indicando que negligenciar a qualidade do paralelismo das linhas e de sua configuração curva podem ter efeitos custosos na longevidade e produtividade do canavial. Grandes variações na intensidade dos impactos encontrados precisam de fornecimento adicional de dados para normalizar os resultados (um canavial submetido ao tráfego em sua quarta colheita terá mais impacto de danos do que em sua primeira). Entre os fatores de desvios de tráfego não considerados neste trabalho, ainda estão aqueles causados pelos deslizamentos de curta distância dos implementos trafegando em áreas declivosas.

## CONCLUSÕES

O modelo implementado, mostrou-se uma ferramenta rápida e funcional. Os dados de entrada são simples e requerem (como esperado) acurácia com a realidade. Estudos de sensibilidade para definição do raio de procura ao redor dos fatores de falha ainda devem ser trabalhados. Os resultados defendem consistentemente a hipótese de que erros de paralelismo e curvatura em fileiras induzem ao aumento de falhas. Esses fatores resultaram em aumentos em falhas de vegetação partindo de 30% a 2100% maiores em relação a espaçamento ideal e trajeto retilíneo.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E.M.; AHMED, F.B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: A review of the literature. *International Journal of Remote Sensing* (Vol 29: 3753-4767) (2008)
- ALVARES, C. A.; DE OLIVEIRA, C. F.; VALADÃO, F. T.; MOLIN, J. P.; SALVI, J. V.; FORTES, C. Sensoriamento remoto no mapeamento de falhas de plantio em cana-de-açúcar. Congresso Brasileiro de Agricultura De Precisão, 2008, Piracicaba. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão 2008. Piracicaba: ESALQ/USP, 467-481.
- BAIO, F. H. R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. *Precision Agriculture*, (2012) Vol:13 141-147.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 3º Levantamento - Safra 2017/18. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_08\\_09\\_08\\_38\\_cana\\_dezembro\\_novo.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_dezembro_novo.pdf) (2018). Acessado em 26/05/2018.
- DE SOUZA, C. H. W.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; MAGALHÃES, P. S. G. Mapping skips in sugarcane fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Computers and Electronics in Agriculture* (2017) Vol:143 49-56.
- MOLIN, J. P.; VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. *Ciência e Agrotecnologia*. Vol:40 347-356. (2016).
- PAULA, V. R.; MOLIN, J. P. Assessing damage caused by accidental vehicle traffic on sugarcane ratoon. *Applied Engineering in Agriculture*, 29(2):161-169, 2013.
- SANTOS, M. A. L.; SILVA, S.; ZOCOLER, J. L.; TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUSA, J. S. Avaliação de falhas na brotação da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica. *Agropecuária Científica no Semiárido*. Vol:9 30-35. (2013).
- SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. A method to evaluate paralelism for machine logged positions. *International Conference on Robotics and Associated High-technologies and Equipment for Agriculture and Forestry (RHEA)* Vol 2 227-237 (2014).
- SPEKKEN, M.; DE BRUIN, S.; MOLIN, J. P.; SPAROVEK, G. Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 124: 194-210, (2016).
- SPEKKEN, M.; MOLIN, J. P. Uav images as a source for retrieval of machine tracks and vegetation gaps along crop rows. *14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*. (2018).
- STOLF, R. Methodology for gap evaluation on sugarcane lines. STAB Piracicaba 1986.

## **USO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE ATAQUES DE *Spodoptera frugiperda* NO MILHO EM FUNÇÃO DA PERDA DE ÁREA FOLIAR**

**DENNER BORGES REZENDE<sup>1</sup>, CARLOS ALBERTO MATIAS DE ABREU JUNIOR<sup>2</sup>, GEORGE DEROCO MARTINS<sup>3</sup>, ODAIR JOSÉ MARQUES<sup>4</sup>, LAURA CRISTINA MOURA XAVIER<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Discente do curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo – MG, Fone: (34) 99665-5801, denner.borges@hotmail.com

<sup>2</sup> Discente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo – MG. Fone (34) 988642663, carlosalberto0103@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor, Doutor, Faculdade de engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo-MG. Fone: (34) 99214-4106, deroco@ufu.br

<sup>4</sup> Professor, Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo – MG, Fone: (34) 99100-1401, ojmarques@ufu.br

<sup>5</sup> Discente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo – MG. Fone (34) 992737038, xavier.lauramoura@gmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018

**RESUMO:** A *Spodoptera Frugiperda* (Smith) (lagarta-do-cartucho) é uma das principais pragas do milho, com a intensificação da agricultura, os cultivos sucessivos possibilitam maior infestação pela praga, devido ao maior número de gerações emergentes ao longo do ano. Isso levou ao surgimento de populações resistentes a inseticidas e culturas transgênicas. Pesquisas de campo para iniciar tratamentos com inseticidas são demoradas e exaustivas. Assim, pensando em agilidade e qualidade, neste trabalho foi utilizado uma aeronave remotamente pilotada (ARP) equipado com uma câmera RGB e uma câmera MAPPING 3 para capturar imagens de uma lavoura de milho, com o objetivo de estimar o índice de área foliar (IAF) de um talhão infestado por *S. Frugiperda*. Para tanto, foram aplicados seis tratamentos, sendo: T1 (água - testemunha) e de T2 a T6 inseticidas diferentes. Todos os tratamentos foram aplicados ao entardecer, com auxílio de um cilindro de CO<sub>2</sub> acoplado à barra de pulverização com quatro bicos. Durante o ciclo da cultura do milho foram realizadas várias avaliações: determinação do índice de área foliar (IAF), severidade do ataque da praga, de acordo com a tabela Davis, voos para aquisição das imagens. Os modelos radiométricos para estimativa do IAF foram obtidos a partir de modelos de regressão linear compostos pelas bandas que melhor correlacionaram com os parâmetros medidos. Os resultados obtidos demonstraram eficiência e maior precisão na estimativa do IAF para o modelo radiométrico composto pela a banda do infravermelho próximo (IVP) Na câmera MAPPING 3. Nesta ocasião, o RMSE calculado foi de 885,0714 cm<sup>2</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Milho; Lagarta-do-cartucho; Aeronave Remotamente Pilotada; Índice de Área Foliar.

### **USE OF IMAGES FOR ATTACK DETECTION OF *Spodoptera frugiperda* IN CORN UNDER FUNCTION OF LOSS OF FOLIAR AREA**

**ABSTRACT:** *Spodoptera Frugiperda* (Smith) (cartridge-caterpillar) is one of the main pests of maize, with the intensification of agriculture, the successive crops allow greater infestation by the pest, due to the greater number of emergent generations during the year. This has led to the emergence of populations resistant to insecticides and transgenic crops. Field research to begin treatments with insecticides is time consuming and exhaustive. Thus, thinking of agility and quality, in this work was used a remotely piloted aircraft (ARP) equipped with an RGB camera and a MAPPING 3 camera to capture images of a maize crop with the objective of estimating the leaf area index (LAI) of a field infested by *S. frugiperda*. Six treatments were applied: T1 (control water) and T2 to T6 different insecticides. All treatments were applied at dusk, using a CO<sub>2</sub> cylinder coupled to the spray bar with four nozzles. During the corn crop cycle, several evaluations were performed: determination of leaf area index (LAI), severity of the pest attack, according to the Davis table, flights for



acquisition of images. The radiometric models for the estimation of LAI were obtained from linear regression models composed by the bands that best correlated with the measured parameters. The obtained results demonstrated efficiency and greater accuracy in the estimation of the LAI for the radiometric model composed by the near infrared band (IVP) in the MAPPIR 3 camera. On this occasion, the RMSE calculated was 885.0714 cm<sup>2</sup>.

**KEYWORDS:** Corn; *Cartridge Caterpillar*; Remotely Piloted Aircraft; Foliar Area Index.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o segundo cereal mais produzido no Brasil. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), para a safra de 2017/2018 a estimativa de produção do grãos de milho corresponde a 39% da produção nacional de grãos e a cultura ocupa 27% da área cultivada no país, levando a crer que a cadeia produtiva do cereal e uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, a demanda crescente no mercado indica maior produtividade para os próximos anos é o principal ingrediente para a produção de rações, dada a importância na competitividade do mercado brasileiro de carnes, a produção do grão tem aumentado gradativamente (especialmente na segunda safra). O consumo humano de milho ocorre principalmente de forma indireta, na forma proteína animal (ovos, carnes e leites e seus derivados).

Com o surgimento de novas tecnologias a produção vem aumentando mais a cada ano, porém o uso exagerado ou não racional da tecnologia de milho híbrido geneticamente modificado com o gene *Bt* (*Bacillus thuringiensis*), para o controle de lepidópteros, sobretudo da *S. frugiperda*, tem ocasionado a seleção de populações resistentes da praga (BERNARDI et al., 2017). Este fato tem minado a tecnologia *Bt*, com a qual se objetivava manter a praga sobre controle e reduzir o uso de inseticidas nas lavouras de milho. Para Ota et al. (2011) um dos fatores preponderantes para determinar o nível de ataque da lagarta do cartucho e constituição genética do híbrido de milho escolhido, no entanto com o passar do tempo essa ideia de materiais geneticamente modificados vem sendo questionada, devido ao elevado custo de produção pelo controle ineficiente da praga. Ataques de lagartas-do-cartucho vem sendo registrados em vários locais e diferentes materiais com o gene *Bt*, sendo assim novos estudos estão sendo executados a fim de solucionar a dúvida.

Segundo Cruz et al. (1999), os prejuízos causados pela *S. frugiperda* anualmente chegam na casa de milhões de dólares. Os danos provocados pela praga são mais expressivos a partir da fase de cartucho (estádio fenológico V8), conseqüentemente afetando a produtividade final e também diminuindo o índice de área foliar (IAF) levando ao menor enchimento de grãos (CRUZ e TURPIN, 1983; CRUZ et al., 1999). Assim, novas ferramentas de monitoramento da praga se fazem necessárias, a fim de evitar o uso irracional de inseticidas sobrepostos à tecnologia *Bt*. Entre essas ferramentas, o uso de imagens aéreas, correlacionadas com características agrônômicas das plantas pode contribuir para uma agricultura mais racional.

A agricultura de precisão vem sendo uma grande aliada ao mundo agrícola principalmente para levantamentos agrônômicos como potencial de produtividade do solo, mapeamento de áreas irrigadas e a detecção de doenças e ataque de pragas em diversas culturas. Com o auxílio de câmeras especiais acopladas em aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), o monitoramento agrícola se torna viável e com um custo relativamente baixo comparado a mão de obra humana, além de aumentar a eficiência no processo produtivo (QUEIROZ et al., 2000).

O uso de drones na agricultura tem focado em sensores baseados na espectroscopia de reflectância, ou seja, em medidas da reflexão da radiação eletromagnética (REM) após interação com diferentes superfícies de diferentes comprimentos de ondas do chamado espectro refletida, mais especificamente na área do visível e do infravermelho próximo (IVP). Como indicadores de estresse, os sensores se dividem entre sensores que detectam a transpiração e a redução da absorção de CO<sub>2</sub> na planta ou na redução da fotossíntese (JORGE e INAMASU, 2014)

O padrão espectral da vegetação prove uma série de padrões para identificar o estágio fisiológico e de saúde das plantas. Em comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético, reflectância (medida proporcional da radiação refletida por um objeto) da vegetação está relacionada com os pigmentos fotossintéticos como a clorofila a, clorofila b, xantofilas, antocianinas e carotenoides (COCHRANE, 2000; CHISHOLM, 2001). Nas imagens podemos enxergar a banda do visível, porém, algumas respostas como por exemplo a resposta de stress nutricional, estruturas do dossel como folhas atacadas por pragas e doenças são melhores vistas pelo IVP. Sensores dessa natureza são capturados geralmente por câmeras multiespectrais que trocam a banda do azul pela do IVP, ou seja, assim as bandas são trocadas de azul, verde e vermelho, por

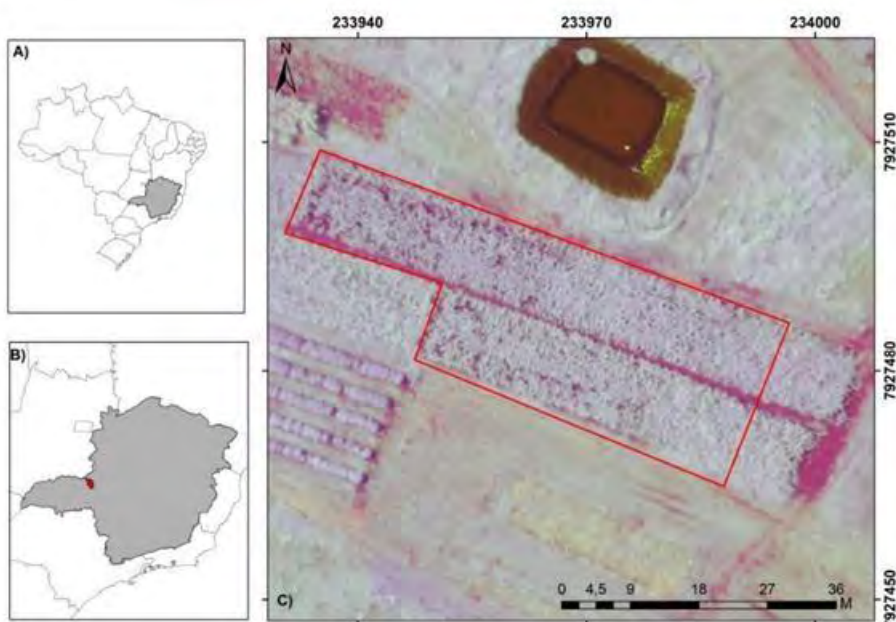
verde, vermelho e IVP, tendo essa configuração a possibilidade criar índices de vegetações que são possíveis avaliar partes o dossel de grandes lavouras.

Desse modo, objetivou com este trabalho estabelecer uma correlação entre as imagens áreas capturadas do topo do dossel das plantas de milho e a perda da área foliar devido aos danos da *Spodoptera frugiperda*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área do experimento

O experimento foi instalado, no período da safrinha de 2018, na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo. Na Figura 1, está representado o mapa de localização espacial da área de estudo, que pertence a região do Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais, apresenta altitude aproximada de 908 m. A região destacada por vermelho na imagem indica o local onde foi realizado o experimento, sendo cada um dos blocos da plantação subdivididos para a aplicação de diversos tratamentos. O solo da área é caracterizado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa.



**Figura 1.** Mapa de Localização: (A) Estado de Minas Gerais em destaque no mapa do Brasil. (B) Município de Monte Carmelo em destaque no mapa de Minas Gerais e Brasil. (C) Talhões de milho destacando a área de estudo em uma imagem MAPPIR 3 falsa cor.

### Instalação e condução do experimento

O delineamento foi em blocos com tratamentos casualizados, contendo dois híbridos de milho (um convencional SHS4080® da Santa Helena Sementes e um transgênico Fórmula Viptera® da Syngenta Seeds) e seis tratamentos fitossanitários, descritos a abaixo, com quatro repetições, totalizando em 48 parcelas. Cada parcela tem dimensões de 6,0 x 2,0 m (12 m<sup>2</sup>), contendo quatro linhas de plantas, sendo a área útil composta pelas duas linhas centrais com dimensões de 5,0 x 1,0 (5 m<sup>2</sup>).

Os tratamentos foram constituídos de: uma testemunha sem aplicação de inseticidas (apenas água), três inseticidas químicos e dois inseticidas biológicos, aplicados no mesmo dia, sempre ao entardecer/anoitecer, a saber: T1 – (testemunha), T2 – bifentrina 180 g L<sup>-1</sup>; zetacipermitrina 200 g L<sup>-1</sup> (Hero®), dose de 200 mL ha<sup>-1</sup>, T3 – tebufenozide 240 g L<sup>-1</sup> (Mimic®), dose de 300 mL ha<sup>-1</sup>, T4 – chlorfenapyr 240 g L<sup>-1</sup>, dose de 750 mL ha<sup>-1</sup> (Pirate®), T5 – espinosade 480 g L<sup>-1</sup> (Tracer®), dose de 100 mL ha<sup>-1</sup> e T6 – lambda-cialotrina 250 g L<sup>-1</sup> (Kaiso 250CS®), dose de 30 mL ha<sup>-1</sup>.

Todos os produtos foram preparados em taxa de aplicação equivalentes para 200 L de calda por ha, sendo a aplicação realizada com auxílio de um cilindro de CO<sub>2</sub> e uma barra com quatro pontas de

pulverização, totalizando uma faixa de aplicação de 1,5 m de largura, de modo que as duas linhas centrais receberam os tratamentos em dose cheia.

As aplicações foram realizadas logo após a primeira avaliação de danos da praga (estádio V3), em que foi observado o ataque da *S. frugiperda*, como raspagem e furos de acordo com a metodologia de avaliação de Davis e William (1989), sendo que o controle foi realizado ao se atribuir a nota 2 ou superior em qualquer uma das parcelas. A partir da primeira aplicação dos tratamentos fitossanitários, a escala de Davis foi utilizada apenas para verificação da eficiência dos tratamentos.

Durante o ciclo da cultura foram realizados todos os tratos culturais preconizados pelos órgãos oficiais de pesquisa para a cultura de acordo com as necessidades da cultura, respeitando os estádios fenológicos (escala de RITCHIE, HANWAY e BENSON, 1993) da mesma, considerando desde a semeadura até a maturidade fisiológica ( $R_6$ ) (EMBRAPA, 2012).

Mensurou-se a área foliar (AF) logo após a constatação dos estádios  $V_4$ ,  $V_{10}$  e  $V_T$ . Para tanto, foram avaliadas cinco plantas ao acaso em cada parcela, sendo mensurado o comprimento total e a largura do meio da folha, em centímetros, de todas as folhas de cada uma das plantas. Para o cálculo da AF, foi empregada a equação 1, proposta por Francis (1969):

$$AF = 0,75 * \left( \frac{C}{100} * \frac{L}{100} \right) \quad (1)$$

Onde: AF: área foliar ( $m^2$ ); C: comprimento da folha (cm); L: largura da folha (cm).

Em seguida, o IAF será calculado a partir das medidas de AF, conforme a equação 2:

$$IAF = \left( \frac{AF}{e1 * e2} \right) \quad (2)$$

Onde: IAF: índice de área foliar; e1: espaçamento entre plantas (m); e2: espaçamento entre linhas de plantas (m).

Após a determinação da data da primeira aplicação dos tratamentos fitossanitários, as plantas (no estágio V4) foram monitoradas no 7º dia após a aplicação (DAA1), em seguida após a segunda aplicação o monitoramento aconteceu no 7º e 15º (DAA2), respectivamente nos estádios V5 e V8.

O monitoramento consistiu da avaliação de cinco plantas por parcela, atribuindo a cada planta notas na escala de Davis, sendo utilizada para verificar severidade de ataque, sendo o resultado final a razão da somatória das notas pelo número de plantas avaliadas em cada parcela. As coordenadas geográficas de cada planta avaliada foram georreferenciadas para a correlação das variáveis medidas *in situ*, com os valores de reflectância da imagem obtida por drone.

#### *Captura e processamento das imagens aéreas*

O processamento de imagens conhecido também como PDI (processamento de imagens digital). Segundo Crósta (1993), é uma forma de extração de dados de imagens usando o sensoriamento remoto para uma futura observação ou avaliação. As imagens aéreas são de baixo custo e, portanto, mais acessíveis aos interessados em estudos mais detalhados de pequenas áreas. São fotografias coloridas, permitem visão tridimensional que facilitam a interpretação e o mapeamento necessário ao planejamento territorial, tanto no meio rural quanto no meio urbano. Para uma boa visualização dessas imagens e muito importante que seja feito o mosaico das fotos capturadas para assim poder ser feito um planejamento e monitoramento das áreas de interesse podendo até diagnosticar crescimento de cidades ou até mesmo de áreas agricultáveis e, também analisar recursos naturais (MARCHETTI e GARCIA, 1977). São, conforme o método tradicional, imagens geradas da concatenação de fragmentos de várias imagens aéreas em papel, recortadas e sistematicamente coladas, com o propósito de formar uma imagem global da área fotografada. Ultimamente tem-se estudado a confecção de mosaicos feitos a partir de imagens digitalizadas (ELMIRO, 1994). O uso da confecção de mosaicos a partir de imagens digitalizadas hoje e o meio mais utilizado, porém o mesmo método explicado por Elmiro (1994).

Através do mosaico das imagens da ARP, foi determinada qual banda possuía maior correlação com o IAF calculado em campo, para que a partir disso fosse estabelecida a regressão linear, a fim de gerar uma equação que modelasse o IAF das imagens aerofotogramétricas (equação 3). Para extrair os valores de reflectância da imagem, foi gerado um arquivo *shapefile* através das coordenadas mensuradas em campo, de

125 plantas, que foram selecionadas de forma aleatória. Dessa forma, foi possível garantir a correlação do IAF de cada planta com seu respectivo valor espectral. O método do coeficiente de correlação de Pearson foi o modelo estatístico utilizado para avaliar a correlação entre a imagem e os dados mensurados em campo.

$$IAF = -7369 + IVP * 69 \quad (3)$$

Onde: IAF: índice de área foliar; IVP: Valores de reflectância do infravermelho próximo.

Para testar a validade da equação, assim como sua acurácia, foi selecionada uma amostra aleatória de 25 elementos para calcular o RMS (*Root Medium Square*), através da equação 4.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^j \frac{(x_o - x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Onde: RMSE = Erro médio quadrático;  $x_o$  o valor de referencia;  $x_i$  o valor calculado e n o número de elementos.

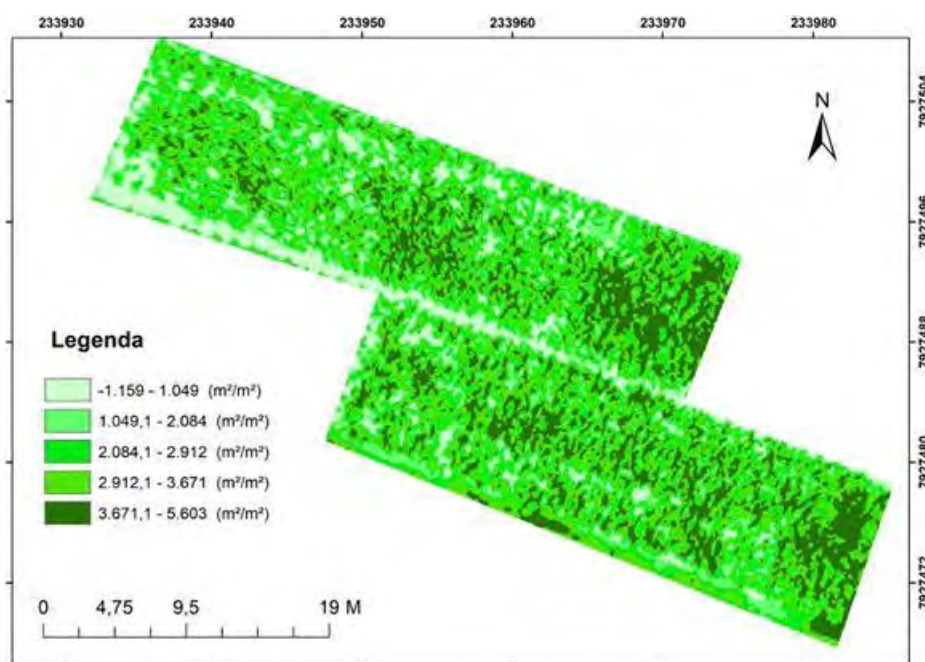
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o valor da correlação de Pearson entre as bandas da câmera MAPPPIR 3 e o IAF.

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de Pearson entre as bandas da imagem e o IAF.

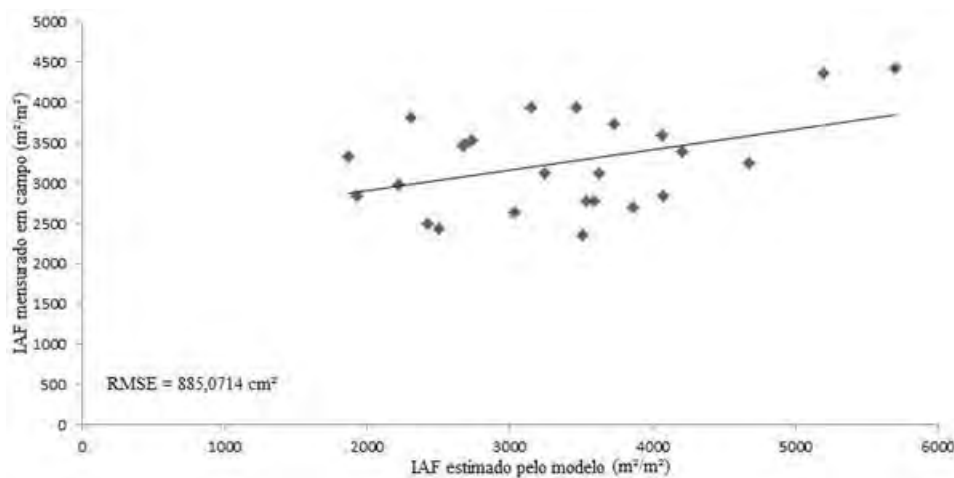
Banda	IAF
IVP	0,550
Verde	0,545
Vermelho	0,516

A reflectância das bandas nas imagens mostrou melhores índices de correlação com a banda espectral do verde, e do IVP (Tabela 1), sendo a segunda a escolhida para determinar a equação. A banda do vermelho também apresentou boa correlação com o IAF, porem esta obteve o menor índice dentre as três bandas da imagem. O mapa gerado apresenta os valores de IAF calculados através da equação 3



**Figura 2.** Mapa de IAF gerado através da equação de regressão linear em função do IVP.

Os valores negativos no mapa são referentes a “ruídos” na imagem, e não ao valor espectral das plantas. Para Danelichen et al. (2016) que estima o IAF através de imagens orbitais, esses ruídos são um dos fatores que provavelmente influenciam na diferença encontrada entre o cálculo do índice com dados mensurados em campo e em modelos.



**Figura 3.** Gráfico de RMSE para a variação do erro ao longo das amostras (equação 3).

O gráfico de RMSE (Figura 3) apresenta os pontos plotados referentes aos valores mensurados em campo de IAF, no eixo das ordenadas, e valores estimados de IAF pelo modelo, no eixo das abcissas. A reta do gráfico transcreve o comportamento das variações entre cada valor, calculado e mensurado em campo. O RMSE obtido foi de 885,0714 cm<sup>2</sup>, que é equivalente a uma folha de 8 cm de largura por 100 cm de comprimento. Dessa forma, no que tange a aplicabilidade da fórmula, os resultados apresentaram valores satisfatórios, e condizentes com o determinado em campo, constatando a validade do modelo.

Por meio do mapa gerado foi possível observar a perda do IAF, podendo também identificar os tratamentos e assim servindo como embasamento para tomadas de decisões. O modelo gerado a partir da equação do IAF apresentou bons resultados, pois as plantas com injúrias apresentaram uma resposta espectral menor que as plantas saudáveis, o que interfere diretamente no valor de IAF calculado por este modelo, uma vez que este apresenta o IVP como variável, pois apresentou uma maior correlação sobre as demais bandas.

## CONCLUSÃO

Obeve-se uma correlação satisfatória entre o IAF e as imagens aerofotogramétricas. O método estabelecido é eficiente para o monitoramento dos danos da *Spodoptera frugiperda* em lavoura de milho. Como observado na tabela das correlações dentre todas as bandas testadas a de melhor correlação foi a do IVP.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Uberlândia e também a MR AGROPESQUISA.

## REFERÊNCIAS

BERNARDI, Daniel et al. Selection and characterization of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to MON 89034 × TC1507 × NK603 maize technology. **Crop Protection**, v. 94, p. 61-64, 2017.

CHISHOLM, L. A. **Characterisation and evaluation of moisture stress in *E. camalduensis* using hyperspectral remote sensing**. Sydney: University of New South Wales, 15 p. 2001.

COCHRANE, M. A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 10, p. 2075-2087, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431160050021303>>. Acesso em: 15 Jul 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 7º levantamento Safra 2017/2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

CRÓSTA, A. P. Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto. Campinas São Paulo: IG/UNICAMP, 1993.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M.L.C.; OLIVEIRA, A.C.; VASCONCELOS, C.A. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, v.45, p.293-296, 1999.

CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Yield impact of larval infestation of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) to mid-whorl growth stage of corn. **Journal of Economic Entomology**, v.76, p.1052- 1054, 1983.

DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes et al. Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. **Ciência e Natura**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.1352-1360, 28 set. 2016. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x19917>.

DAVIS, F. M.; WILLIAMS, W. P. Methods used to screen maize for and to determine mechanisms of resistance to the southwestern corn borer and fall armyworm. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON METHODOLOGIES FOR DEVELOPING HOST PLANT RESISTANCE TO MAIZE INSECT, 1989, México. **Proceedings...** México: [s.n.], 1989. p. 101-108.

ELMIRO, M. A. T. **Técnicas de processamento digital de imagens para aplicações no mapeamento por carta-imagem**. São José dos Campos: INPE, 1994. 130p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 2006. 306p.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E.A. Rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v.9, n.5, p.537-539, 1969.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 109-134. 2014.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1977. 257p.

OTA, Érika do Carmo et al. Desempenho de cultivares de milho em relação à lagarta-do-cartucho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p.850-859, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n4/18.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

Queiroz, D.M.; Dias, G.P.; Mantovani, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L.(ed.) **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV. 2000. p.1-41.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n. 48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.

## **UTILIZAÇÃO DE SENSOR LiDAR NA CULTURA DO CAFÉ: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE PLANTAS**

**FELIPPE HOFFMANN SILVA KARP<sup>1</sup>, RODRIGO GONÇALVES TREVISAN<sup>2</sup>, ANDRÉ FREITAS COLAÇO<sup>3</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrônoma, Laboratório de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981231210, felippe.karp@usp.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando, Laboratório de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, CSIRO Agriculture and Food, Adelaide, Austrália

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A tecnologia LiDAR vem sendo estudada para aplicação em diversas culturas perenes e arbóreas, por exemplo, laranja, maçã e oliveira. Sendo o café uma cultura perene e arbórea, há um potencial de utilização desta tecnologia. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros geométricos obtidos pelo sensor em um campo comercial de produção de café em diferentes datas de coleta. Utilizou-se de um sensor LiDAR e um receptor GNSS com correção RTK para coleta de dados na colheita e na floração da cultura. A partir dos dados coletados, obteve-se mapas de volume, altura e porosidade de plantas. Os alcances da dependência espacial obtidos na análise geoestatística foram baixos para todas as variáveis ( $A < 5$  m). As maiores correlações entre os mapas gerados foram obtidas na relação entre altura e volume dentro da mesma época de coleta, com valores de 0,66 na colheita e 0,75 na floração. Observou-se baixa correlação entre os mapas obtidos na colheita e na floração ( $r < 0,56$ ). Conclui-se que a utilização do sensor LiDAR permitiu a obtenção de dados consistentes e que podem ser empregados no manejo da cultura do café, além disso, o mapa de porosidade de plantas apresenta potencial de ser utilizado para aumentar a eficiência da pulverização, contudo, novas pesquisas são necessárias para explorar essa oportunidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** volume de copa, modelagem 3D, porosidade de planta

### **USE OF LiDAR SENSOR IN COFFEE: EVALUATION OF THE SPATIAL VARIABILITY FOR PLANTS GEOMETRIC PARAMETERS**

**ABSTRACT:** The use of LiDAR technology in different perennial and tree crops, such as citrus, apple and olive, have been studied. Coffee is a perennial and tree crop, thus, there is a potential use of this technology. Therefore, the aim of this project was to evaluate the spatial variability for plant geometric parameters obtained by a LiDAR sensor in a commercial orchard. For data collection, a LiDAR sensor and a GNSS with RTK correction was used. Two different stages of the culture were chosen for data collection, the stages are harvest and bloom. The data obtained was processed and volume and height maps were obtained. Moreover, a plant porosity map was generated. The semivariogram ranges obtained for an exponential model were very low for all the variables studied. Moreover, the highest correlation obtained was between the height and volume maps inside the same collection date, 0.66 and 0.75, for harvest and bloom, respectively. Besides that, there are some correlation among the others maps for different data collection date. Overall, consistent data was obtained from the sensor and could be used to manage the coffee orchard and in order to the low range of the semivariograms, the use of a sensor is the best alternative to obtain good coffee plant geometric parameters data. Moreover, the porosity map presented a potential to be used in order to raise the spray efficiency, however, it is necessary more researches to explore this opportunity.

**KEYWORDS:** canopy volume, 3D surface reconstruction, plant porosity

### **INTRODUÇÃO**

A tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se baseia na emissão de um feixe luz laser em uma determinada direção. Por meio do tempo entre a emissão e recepção deste feixe, obtêm-se a distância

entre o sensor e o objeto. Os autores DEL-MORAL-MARTÍNEZ et al. (2015) propuseram uma metodologia de aquisição de dados para utilização de LiDAR 2D na agricultura, em que o sensor é montado em um veículo e os dados obtidos do sensor são georreferenciados utilizando um GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Por meio desta metodologia é possível a obtenção de nuvens de pontos e criação de modelos tridimensionais das plantas no campo (Figura 1). Esse sistema tem sido referenciado na literatura como MTLs (*Mobile Terrestrial Laser Scanner*).



FIGURA 1. Nuvem de pontos obtida com sensor LiDAR para a cultura da laranja (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015)

Com base nas nuvens de pontos obtidas pelo MTLs, alguns parâmetros geométricos das plantas podem ser obtidos, tais como altura, volume, densidade foliar e outros. Estes parâmetros podem ser utilizados, por exemplo, para o manejo da irrigação e poda de culturas (SANZ-CORTIELLA et al., 2011), pulverização em taxa variável de calda e aplicação de fertilizantes baseada em volume de plantas (GIL et al., 2013; ZAMAN et al., 2005). Sendo assim possível realizar uma aplicação mais eficiente e até mesmo reduzir impactos ambientais, aplicando apenas o necessário.

Portanto, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de aplicar esta tecnologia em algumas culturas, como é o caso da cultura da laranja (COLAÇO et al., 2017), uva (ARNÓ et al., 2013; RINALDI et al., 2013; LLORENS et al., 2011), maçã (WALKLATE et al., 2002; WALKLATE et al., 2003), oliveira (MOORTHY et al., 2011; MIRANDA-FUENTES et al., 2015; ESCOLÀ et al., 2015), culturas perenes e de porte arbóreo ou arbustivo. Sendo o café uma cultura de alto valor agregado, perene e de porte arbóreo, há potencial de utilização desta tecnologia.

Sendo assim, na cultura do café poderia ser avaliada a possibilidade de realização do manejo de podas, pulverização e aplicação de fertilizantes baseada na altura e volume das plantas obtidas por sensor LiDAR. Além disso, quando se trata da pulverização, a deposição da calda é um dos fatores de grande importância para uma aplicação eficiente. De acordo com DUGA et al. (2015) uma das características da planta que mais se correlaciona com a deposição da calda na planta é a porosidade, uma variável importante a ser mapeada. Segundo KARP et al. (2018) existe um potencial para utilização do sensor LiDAR para a determinação da porosidade para a cultura do café.

Contudo, a poda é uma prática que vem sendo muito adotada na cultura do café, por facilitar o manejo e colheita, controle de severidade de doenças e obter maiores produtividades (SILVA et al., 2016). Sendo assim, esta prática poderia comprometer a variabilidade espacial das características geométricas das plantas, já que durante a poda as plantas são uniformizadas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo preliminar da utilização de sensores com tecnologia LiDAR para a cultura do café, avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros geométricos obtidos pelo sensor em um campo comercial em diferentes datas de coleta e gerar um mapa de porosidade de plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas utilizando um sensor LiDAR LSM200 (SICK, Waldkirch, Alemanha) com ângulo de escaneamento de 180°, resolução angular 1°, taxa de aquisição de 75 Hz, com medida de distância máxima de 8 m e resolução de 1 mm. De acordo com o manual do sensor, nestas configuração, o erro na medida distância obtida pelo sensor é de  $\pm 5$  mm. Para obtenção das coordenadas foi utilizando receptor GNSS GR-3 (Topcon, Tokyo, Japão) com correção RTK (*Real Time Kinematic*), com taxa de aquisição de 10 Hz e acurácia de  $\pm 10$  mm quando utilizada a correção. Sendo as taxas de coletas entre o



sensor e o GNSS diferentes, durante a coleta foi necessário realizar uma interpolação das coordenadas no domínio do tempo. A coleta foi realizada por meio de um software desenvolvido na linguagem de programação Python 2, em que os dados do GNSS e do sensor eram coletados de forma sincronizada.

A área utilizada se localiza no município de Rio Paranaíba – MG, na Fazenda Vereda, com coordenadas 19°22'35,40"S e 46°22'10,15"O. A cultivar plantada é a *Coffea arabica* L. cv. Catuaí 144, com espaçamento de 3,8 m x 0,6 m, sendo a área de aproximadamente 2 ha. Duas coletas foram realizadas, uma antes da colheita (24 de junho de 2017) e outra durante a floração (19 de outubro de 2017). Esta área teve a poda realizada no ano de 2011, com o intuito de formatar as plantas para a colheita utilizando máquinas.

A Figura 2 apresenta a estrutura e disposição dos equipamentos utilizada durante as coletas. O método utilizado para a coleta, processamento, obtenção das nuvens de pontos, cálculo do volume e altura é o mesmo descrito por COLAÇO (2017). Contudo, cada fileira da cultura foi separada em seções, cortes transversais à fileira da cultura (Figura 3), com largura de 0,2 m (três seções por planta) e apenas o algoritmo Convex Hull, da biblioteca rgeos do software R, foi utilizado para cálculo do volume das plantas.



FIGURA 2. Estrutura e disposição dos equipamentos utilizados durante a coleta dos dados

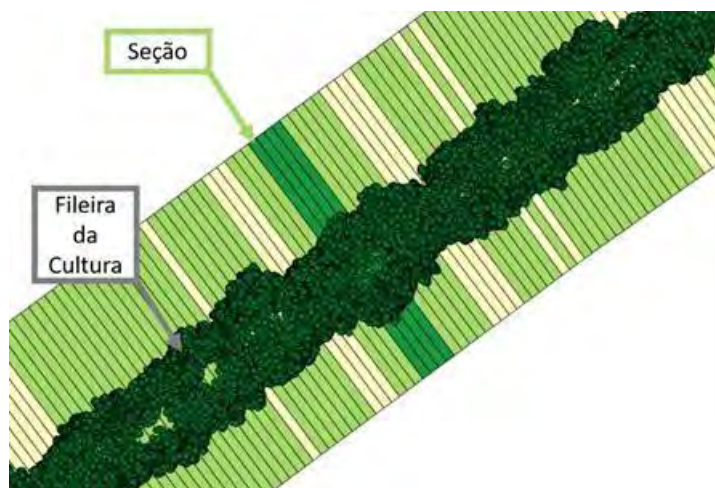


FIGURA 3. Seções transversais à cultura utilizadas para o cálculo da altura e volume da cultura

Após a realização da coleta e o processamento dos dados no software R (v. 3.4.2), a altura e volume das seções foram obtidos e o centroide de cada uma das seções foi extraído utilizando o software QGIS (v. 2.14.13). Posteriormente, os dados foram filtrados conforme o critério da média mais ou menos dois desvios padrão. Então, para cada uma das coletas foram geradas as estatísticas descritivas para altura e volume das seções e realizada a interpolação por krigagem utilizando o software R. Por fim, gerou-se uma matriz de correlações entre os resultados obtidos e uma classificação utilizando o algoritmo kmeans do software R foi realizada para cada variável, gerando mapas com duas classes.

O cálculo e geração dos mapas de porosidade, baseou-se na definição de porosidade apresentada por DUGA et al. (2015) em que a porosidade da planta é definida pela razão entre os espaços livres e aqueles ocupados pelos galhos e folhas. Logo, considerou-se como sendo porosidade, para cada uma das faces da cultura, o feixe de laser emitido pelo sensor que atingisse um objeto a uma distância maior que a distância entre o sensor e a linha central da cultura (Figura 4). Portanto, as nuvens de pontos obtidas foram processadas sem a utilização de um filtro de distância máxima utilizado no método proposto por COLAÇO (2017). Sendo assim, utilizando o software R calculou-se a porosidade por meio da razão entre os pontos que excederam a distância entre o sensor e a linha central da cultura e os pontos que atingiram as diferentes partes da planta.

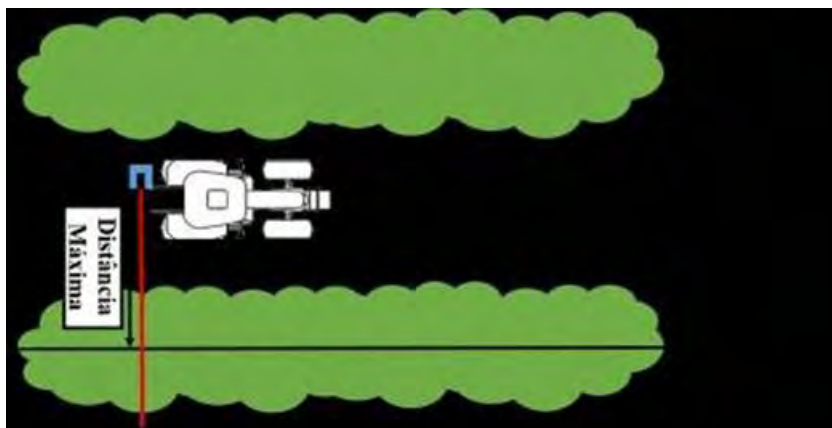


FIGURA 4. Ilustração da máxima distância considerada para determinação de porosidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados de altura e volume para as épocas de colheita e floração após a realização da filtragem. Verifica-se que tanto a altura quanto o volume são menores na época de floração do que os na colheita. Este fato pode estar relacionado à bienalidade do cafeeiro. De acordo com CAMARGO E CAMARGO (2001) o cafeeiro favorece o crescimento vegetativo em um ano e no outro a produção de frutos. Quando se realizou as coletas na época da colheita, o cafeeiro estava em ano de baixa produção (favorecimento de crescimento vegetativo), ou seja, plantas mais altas e volumosas. Já na época de floração, o cafeeiro estava entrando em um ano de alta produção (favorecimento da produção de frutos). Ou seja, maior parte da energia do cafeeiro é direcionada para a floração e produção de frutos e não desenvolvimento vegetativo, o que em conjunto com um volume irregular de precipitação que estava ocorrendo durante a floração, pode explicar essa redução na altura e volume das plantas.

TABELA 1. Estatística descritiva para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Altura na Colheita	2,91	0,19	2,92	2,41	3,37	6,55
Volume na Colheita	0,78	0,12	0,79	0,48	1,06	15,77
Altura na Floração	2,77	0,16	2,78	2,34	3,16	5,76
Volume na Floração	0,70	0,12	0,71	0,43	0,97	16,68

\* C.V. = coeficiente de variação

Na Figura 4 são apresentados os histogramas para cada uma das variáveis apresentados na Tabela 1. Os histogramas apresentam distribuição muito próxima à distribuição normal, possuindo formatos parecidos entre si. Na cultura da laranja, COLAÇO (2016) encontrou histogramas com dois diferentes picos, ocasionados por um grande número de plantas pequenas existentes em alguns talhões. Portanto, diferentemente do resultado encontrado na cultura da laranja, o cafeeiro possui uma maior uniformidade quanto à altura e volume das seções, gerando os histogramas apresentados na Figura 5.

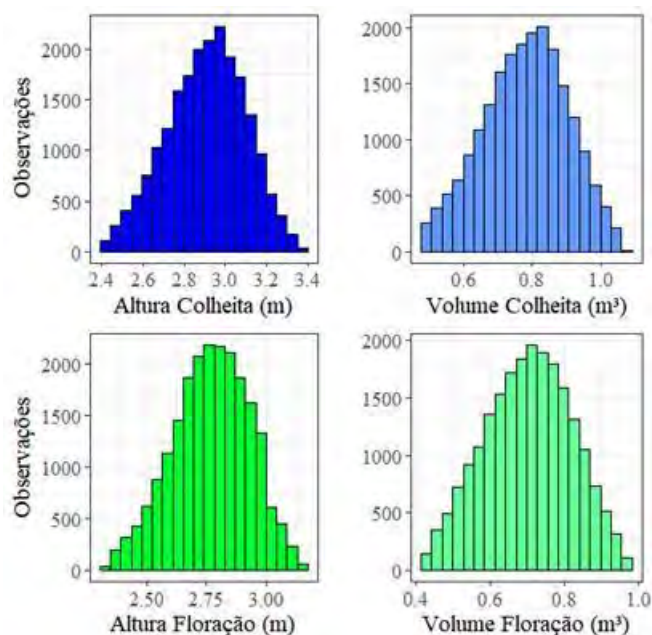


FIGURA 5. Histogramas para as variáveis volume e altura referente às épocas de coleta (colheita e floração).

O ajuste da krigagem foi obtido utilizando o modelo exponencial para todas as variáveis e épocas de coleta. A Tabela 2 apresenta os resultados da análise geoestatística obtida. É possível perceber um alcance muito baixo para todas as variáveis. Isso está relacionado à mudança de volume e altura de uma planta para outra, dependência espacial limitada à curtas distâncias, o que indica a necessidade da utilização de sensores para obtenção destes parâmetros geométricos estudados para que se tenha uma boa representação da variabilidade espacial. Além disso, é possível concluir que para as duas épocas de coleta, dentro do alcance a dependência espacial é alta, já que efeito pepita é baixo. Os mapas obtidos a partir da krigagem são apresentados na Figura 3.

TABELA 2. Análise geoestatística para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	C0*	C1*	A (m)*
Altura na Colheita	0,0014	0,032	5,3
Volume na Colheita	0,0008	0,014	4,5
Altura na Floração	0	0,026	4,0
Volume na Floração	0,0004	0,013	3,8

\* C0 = efeito pepita; C1 = dependência da variabilidade espacial; A = alcance;

Na Figura 6A é possível perceber alguma correlação entre altura e volume dentro de uma mesma época de coleta. Além disso, visualmente há uma correlação entre os mapas obtidos na colheita e floração. Ainda, algumas regiões com plantas menores e de menor volume são coincidentes nos quatro mapas apresentados. A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação dos dados apresentados na Figura 6A e as correlações entre altura e volume, em uma mesma data de coleta, se assemelham muito aos coeficientes encontrados por COLAÇO (2016) para a cultura da laranja. Além disso, apesar de as correlações encontradas entre os mapas serem baixas, quando realizada a classificação dos mapas em dois níveis, verificou-se que muitas regiões são coincidentes. Apenas as classes geradas para a variável altura na colheita é que difere das demais (Figura 6B).

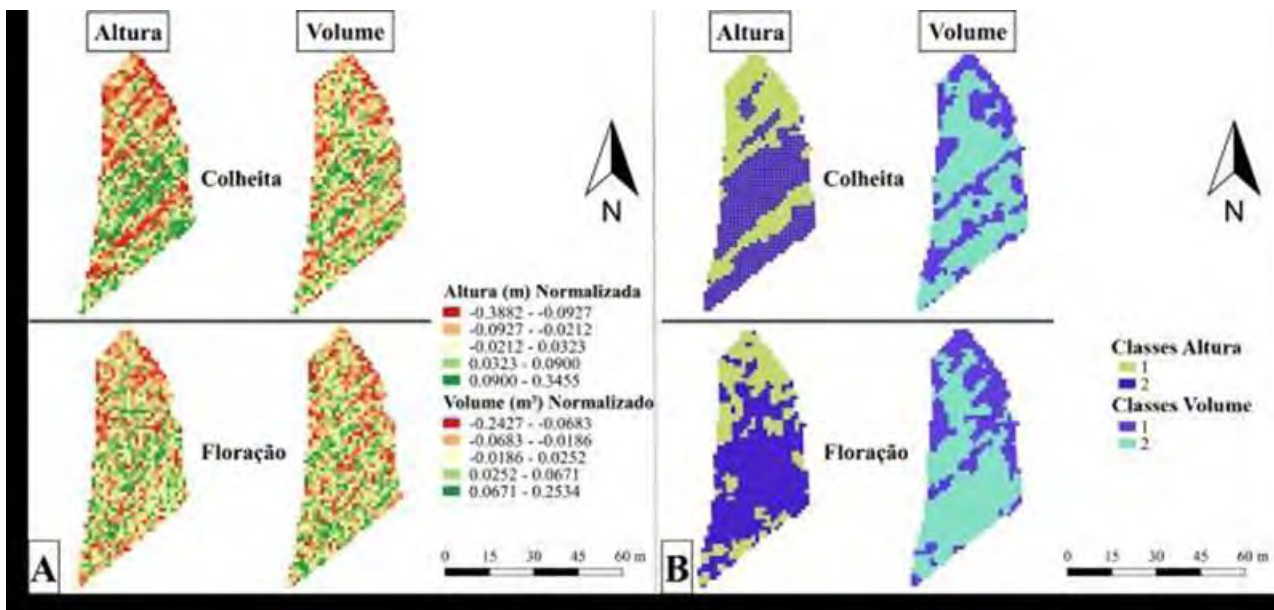


FIGURA 6. A- Mapas para as variáveis volume e altura referente as épocas de coleta (colheita e floração). B- Classificação em dois níveis de cada uma das variáveis.

TABELA 3. Matriz de correlação para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	Volume na Colheita	Volume na Floração	Altura da Colheita
Volume na Floração	0,51	-	-
Altura da Colheita	0,66	0,45	-
Altura na Floração	0,47	0,75	0,56

A avaliação da porosidade foi realizada apenas para os dados coletados na floração. Com base na Figura 7, é possível afirmar que o sensor LiDAR empregado na cultura do café consegue fornecer dados de porosidade das plantas, confirmando o potencial de utilização deste sensor para esta finalidade apresentado por KARP et al. (2018). A Figura 7B apresenta uma aproximação de uma região do mapa da Figura 7A, as duas linhas de pontos existentes de cada lado da linha da cultura correspondem às duas faces das plantas lidas pelo sensor e a imagem em destaque apresenta nuvem de pontos referente aquela região apontada. Com base nesta figura é possível concluir que os dados de porosidade gerados são fiéis ao que se pode observar a partir da nuvem de pontos. A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva dos dados de porosidade.

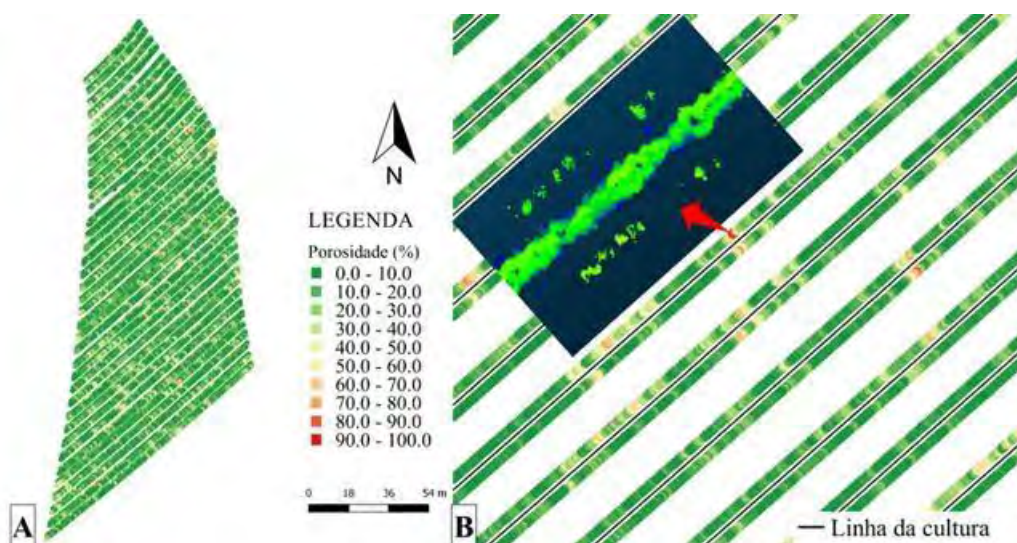


FIGURA 7. A- Mapa de porosidade para os dados coletados na floração. B-Aproximação de uma região do mapa da Figura 5A e apresentação da nuvem de pontos de uma das linhas

TABELA 4. Estatísticas descritivas dos dados de porosidade na floração.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
Porosidade Floração (%)	11,0	13,5	6,1	0	100

Com base na Tabela 4 e no mapa apresentado na Figura 7A é possível concluir que nesta área existe variabilidade da porosidade de plantas, com locais em que não há porosidade, ou seja, os pontos não ultrapassaram a linha da cultura e outros locais com porosidade de 100%. Contudo a porosidade média da área é de 11%, portanto os resultados comprovam a necessidade de desenvolver um método de aplicação que considere a porosidade nos cálculos para pulverização e assim avaliar se há uma diferença significativa na deposição de calda quando levado em consideração os dados obtidos. Além disso, é necessário o desenvolvimento de uma metodologia para que os dados de porosidade obtidos pelo sensor sejam avaliados.

## CONCLUSÃO

A utilização do sensor LiDAR permitiu a obtenção de dados consistentes e que podem ser utilizados para o manejo da cultura do café. Além disso, a partir da análise da dependência espacial, é possível concluir que os parâmetros geométricos dos dados do campo comercial estudado possuem uma variação planta a planta, o que confirma a necessidade da utilização de sensores para obtenção de dados confiáveis. Observou-se baixa correlação entre os mapas obtidos na colheita e na floração ( $r < 0,56$ ). Por fim, o mapa de porosidade de plantas apresenta potencial de ser utilizado para aumentar a eficiência da pulverização, contudo, novas pesquisas são necessárias para explorar essa oportunidade.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de Iniciação Científica (2016/16100-2) fornecida ao primeiro autor e à Fazenda Vereda pela disponibilização da área.

## REFERÊNCIAS

- ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; VALLÈS, J.M.; LLORENS, J.; SANZ, R.; MASIP, J.; PALACÍN, J.; ROSELL, J. R. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 290-306, 2013.
- CAMARGO, A.P. de, CAMARGO, M.B.P de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, p 65-68, 2001.
- COLAÇO, A.F. Mobile terrestrial laser scanner for site-specific management in orange crop. 2016. 87 p. **Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**. Piracicaba, 2016.
- COLAÇO, A. F., TREVISAN, R.G., MOLIN, J.P., ROSSELL-POLO, J.R., ESCOLÀ, A. A method to obtain orange crop geometry information using a mobile terrestrial laser scanner and 3D modeling. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 763, 2017.
- DEL-MORAL-MARTÍNEZ, I., ARNÓ, J., SANZ, R., MASIP-VILALTA, J., & ROSELL-POLO, J. R. Georeferenced scanning system to estimate the leaf wall area in tree crops. **Sensors**, n. 15, v. 4, p. 8382-8405, 2015.
- DUGA, A. T., RUYSEN, K., DEKEYSER, D., NUYTENS, D., BYLEMANS, D., NICOLAI, B. M., & VERBOVEN, P. Spray deposition profiles in pome fruit trees: Effects of sprayer design, training system and tree canopy characteristics. **Crop Protection**, n. 67, p. 200-213, 2015.
- ESCOLÀ, A. MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. A.; RUFAT, A.; ARBONÉS, A.; SANZ, R.; SEBÉ, F.; ARNÓ, J.; MASIP, J.; PASCUAL, M; GREGORIO, M; RIBES-DASI, M.; VILLAR, J. M.; ROSELL-POLO, J.R. A mobile terrestrial laser scanner for tree crops: point cloud generation, information extraction and validation in an intensive olive orchard. In: J.V. Stafford (ed.). **Precision agriculture '15**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2015, p. 337-344.
- GIL, E.; LLORENS, J.; LLOP, J.; FÀBREGAS, X.; ESCOLÀ, A. ROSELL, J. R. Variable rate sprayer. Part 2 – Vineyard prototype: design, implementation and validation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 95, p. 136-150, 2013.
- KARP, F.H.S.; COLAÇO, A.F.; TREVISAN, R.G.; MOLIN, J.P. Canopy parameters in coffee orchards obtained by a mobile terrestrial laser scanner. In: 14th International Conference on Precision Agriculture, 2018, Montreal, Quebec, Canada. **Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture**. Monticello, IL, USA: International Society of Precision Agriculture, 2018.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A. Ultrasonic and LiDAR sensors for electronic canopy

characterization in vineyards: advances to improve pesticide application methods. **Sensors**, v.11, p. 2177-2194, 2011.

MIRANDA-FUENTES, A.; LLORENS, J.; GAMARRA-DIEZMA, J. L.; Gil-Ribes, J. A.; GIL, E. Towards an optimized method of olive tree crown volume measurement. **Sensors**, v. 15, p. 3671-3687, 2015.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Agricultura de Precisão. Oficina de Textos, 2015.

MOORTHY, I; MILLER, JR; BERNI, JAJ; ZARCO-TEJADA, P; HU, B; CHEN, J. Field characterization of olive (*Olea europea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 204–214, 2011.

RINALDI, M. ; LLORENS, J.; GIL, E. Electronic characterization of the phenological stages of grapevine using a LIDAR sensor. In: J.V. Stafford (ed.). **Precision agriculture '13**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013, p. 603-609.

SANZ-CORTIELLA, R; LLORENS, J.; ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; PALLEJÀ, T.; PALACÍN, J; GREGORIO, E.; MARTÍNEZ, I.; ROSELL, J. R. Innovative LiDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. **Sensors**, v. 11, p. 5769-5791, 2011.

SILVA, V. A.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, A. M.; CARVALHO, G. R.; REZENDE, T. T.; FERREIRA, A. D. Recuperação de cultivares de café submetidas ao esqueletamento aos quatro anos e meio de idade. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 55-64, 2016.

ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 21, n. 3, p. 331–336, 2005.

WALKLATE, P.J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; MURRAY, R.A.; BAKER, D.E. Comparison of different spray volume deposition models using LiDAR measurements of apple orchards. **Biosystems Engineering**, v. 82, n.3, p. 253–267, 2002.

WALKLATE, P.J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; MURRAY, R.A. A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. **Annals of Applied Biology**, v. 143, p. 11-23, 2003.

## **VARIAÇÃO TEMPORAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÍNDICES RELATIVOS DE CLOROFILA EM VIDEIRA DE VINHO cv. CHARDONNAY**

**BRUNO R. S. COSTA<sup>1</sup>, HENRIQUE OLDONI<sup>2</sup>, WENDELL A. SILVA<sup>3</sup>, ROBERTO L. MARTINS<sup>4</sup>, LUÍS H. BASSO<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP, bruno.ricardo.silva@hotmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>3</sup> Aluno de graduação em Agronomia, UFPEL, Pelotas – RS.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A degradação da clorofila ocorre em decorrência da ação de fatores ambientais bem como por conta da senescência natural das folhas dada a progressão dos estádios fenológicos das culturas. Em função da diversidade das condições das áreas de produção, alterações nos fatores associados à concentração de clorofila também podem resultar em variações locais nos níveis desse pigmento. O estudo teve como objetivo apresentar a variabilidade temporal e a distribuição espacial dos índices relativos de clorofilas a, b e total (ICA, ICB e ICT, respectivamente) em folhas de videira de vinho cv. Chardonnay, obtidos com o medidor portátil ClorofiLOG, modelo CFL 1030. As medidas foram realizadas em folhas de 346 plantas georreferenciadas de um vinhedo comercial localizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, ao longo do ciclo de produção (aos 41, 57, 64, 78, 85, 99 e 120 dias após a poda – DAP). A estatística descritiva foi aplicada aos índices e modelos de regressão foram ajustados a variação média dos mesmos. Mapas temáticos do ICT foram gerados com base na análise geoestatística e interpolação por krigagem ordinária. Os maiores valores dos índices foram observados em folhas verdes não senescentes, elevando-se desde a fase de início da floração (41 DAP) até o início da fase de maturação (78 DAP), a partir da qual tendem a estabilização. O padrão da distribuição espacial do ICT não se manteve ao longo do ciclo da cultura, apesar de ser possível a delimitação de zonas homogêneas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vitis vinifera* L., pigmentos fotossintetizantes, medidor portátil.

## **TEMPORAL VARIATION AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHLOROPHYLL RELATIVE INDEXES IN GRAPEVINE cv. CHARDONNAY**

**ABSTRACT:** The chlorophyll degradation is caused by the action of environmental factors as well as by the natural senescence of the leaves along the crop phenological stages. Assuming the diversity of conditions in fields, changes in the factors associated with chlorophyll concentration may also result in local variations in the levels of this pigment. This study aimed to present the temporal variability and spatial distribution of the relative indexes of a, b and total chlorophylls (ICA, ICB and ICT, respectively) in leaves of wine vine cv. Chardonnay, from data set collected with the portable meter ClorofiLOG model CFL 1030. The measurements were taken in leaves of 346 georeferenced plants of a commercial vineyard located in Espírito Santo do Pinhal, State of Sao Paulo, Brazil, during the crop cycle (at 41, 57, 64, 78, 85, 99 and 120 days after pruning, DAP). Descriptive statistics was applied to data and regression model were fitted to describe the variation tendency of mean values. Thematic ICT maps were generated based on geostatistical analysis and interpolation by ordinary kriging. The highest values of ICA, ICB and ICT were observed in non-senescent green leaves, increasing from the beginning of flowering (41 DAP) to the beginning of the maturation stage (78 DAP), from which it stabilizes. The spatial distribution pattern of ICT was not maintained throughout the growth cycle, although it is possible to delimit homogeneous zones.

**KEYWORDS:** *Vitis vinifera* L., photosynthetic pigments, hand held meter.

## INTRODUÇÃO

As clorofilas são pigmentos verdes especializados na absorção da radiação luminosa, principalmente nas faixas azul e vermelho do espectro visível, a qual é aproveitada pelas plantas para a conversão em energia química. De acordo com Streit et al. (2005) além da clorofila a, dentre os demais pigmentos envolvidos na fotossíntese destacam-se a clorofila b, os carotenoides e as ficobilinas, sendo esses três últimos denominados acessórios. Apesar de as clorofilas serem os pigmentos mais abundantes nos vegetais, fatores ambientais, a exemplo da luz, da radiação solar, da temperatura e, de mesma maneira, fatores intrínsecos como a metabolização destes compostos durante a senescência das folhas, influenciam a sua degradação (STREIT et al., 2005). Além disso, o teor de clorofila nas folhas é comumente associado a outras características fisiológicas das plantas, a exemplo do seu estado nutricional, o que o torna útil especialmente na estimativa da concentração de nitrogênio (COSTA et al., 2015; ARANTES et al., 2016), podendo ser utilizados também como indicativo do estado hídrico das plantas (SILVA et al., 2014). Desta forma, considerando a importância dos pigmentos fotossintetizantes, em especial das clorofilas nas espécies cultivadas e a sua relação com demais fatores de produção, a medida do seu conteúdo nas plantas pode ser caracterizada como uma informação relevante para subsidiar o manejo das culturas.

A quantificação do teor de clorofilas é geralmente realizada por métodos destrutivos, requerendo a conversão dos valores de absorvância de um extrato foliar, obtidos por espectrofotometria, para valores de concentração de pigmentos, utilizando equações preestabelecidas (RICHARDSON et al., 2002). Contudo, uma alternativa para esta finalidade são os métodos ópticos não destrutivos, baseados no uso de medidores portáteis, os quais fornecem leituras imediatas da intensidade da cor verde das folhas, resultando em leituras associadas ao teor relativo de clorofila. Por conta disso, esses equipamentos também permitem o monitoramento intensivo deste atributo, sendo possível empregá-los para a avaliação da variabilidade temporal e espacial desses pigmentos, possibilitando a análise de sua distribuição espacial a partir da delimitação de zonas homogêneas em áreas de cultivo. Este mapeamento pode ser utilizado para fins de orientação de amostragem e, conjuntamente com a avaliação de outros fatores ambientais, permite uma posterior inferência sobre a eficiência fotossintética da cultura e sobre os possíveis efeitos desta na produtividade.

Desta forma, o estudo teve como objetivo apresentar os resultados da variabilidade temporal e do mapeamento de zonas homogêneas referentes aos índices relativos de clorofila a (ICA), b (ICB) e total (ICT) em cultivo comercial de videira de vinho, cv. Chardonnay ao longo do seu ciclo de produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em pomar comercial de videira de vinho (*Vitis vinifera* L.), cv. Chardonnay, com área de 0,6 ha, pertencente à Vinícola Guaspari, situado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP e localizado nas coordenadas 22° 10' 49,1" de latitude Sul e 46° 44' 28,4" de longitude Oeste, com altitude média de 875 m. O clima da região foi classificado como B3rB'3a" (ROLIM et al., 2007), enquanto o solo da área recebeu a classificação de Argissolo, apresentando textura argilosa (SANTOS et al., 2014). O espaçamento adotado no vinhedo foi de 2,5 x 1,0 m entre fileiras e plantas, respectivamente, sendo estas últimas conduzidas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 em sistema de espaldeira vertical, com tipo de poda de formação denominado cordão Royat unilateral e irrigadas por sistema de gotejamento, dimensionado com uma linha lateral por fileira de planta e dois emissores por planta, com vazão média de 1,88 l h<sup>-1</sup>.

As medidas dos índices relativos de clorofila a (ICA), b (ICB) e a+b ou total (ICT) foram feitas em plantas georreferenciadas, utilizando-se o medidor portátil ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS, Brasil), em intervalos regulares de três plantas ao longo das fileiras de plantio, intercalando-se a cada uma linha, resultando em uma malha composta por 346 pontos amostrais. As medidas dos índices relativos de clorofila foram feitas em duas folhas por planta, sendo estas opostas aos cachos, completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário. Para obtenção dos índices, o medidor utiliza fotodiodos para emissão de três comprimentos de onda: 635, 660 nm (vermelho próximo) e 880 nm (infravermelho próximo). Na sequência, um sensor recebe a radiação transmitida através da folha, resultando em medidas proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). Essas leituras são expressas em unidade arbitrária adimensional. O georreferenciamento das plantas foi obtido por um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA), com correção RTK (*Real Time Kinematic*) e base posicionada no centro da área, atingindo uma distância de até 80 m entre esta e o rover, sendo as coordenadas obtidas utilizando o controlador portátil GRS-1 (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA).



As avaliações foram realizadas em sete ocasiões durante o ciclo da videira, aos 41, 57, 64, 78, 85, 99 e 120 dias após a poda de produção (DAP), durante o período que compreendeu a fase floração até o início da maturação dos cachos, sendo consideradas em cada data de avaliação as medidas tomadas em folhas diferentes, porém de mesma localização no dossel da planta (terço inferior do ramo). A análise estatística descritiva foi aplicada ao conjunto de dados do ICA, ICB e ICT utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017). A dispersão dos dados em torno da média foi classificada com base nos valores do coeficiente de variação (CV), sendo considerada baixa ( $CV \leq 15\%$ ), moderada ( $15 < CV \leq 35\%$ ) ou alta ( $CV > 35\%$ ), de acordo com Wilding (1985). A análise da variação temporal se deu pela avaliação da tendência de oscilação dos valores médios do ICA, ICB e ICT ao longo do período considerado, sendo ajustadas equações de regressão para fins de descrição dos padrões de disposição das médias. Para avaliação da variabilidade espacial do teor de pigmentos a análise geoestatística foi aplicada, considerando apenas aos dados do ICT, por meio da estimativa de semivariogramas experimentais e ajuste de modelos teóricos a estes, tendo como critério de escolha o valor da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), para a caracterização da dependência espacial dos dados medidos. Os mapas de distribuição espacial do ICT foram gerados por meio da krigagem ordinária (WEBSTER e OLIVER, 2007). O grau de dependência espacial (GDE, %) foi calculado pela razão entre os parâmetros do semivariograma efeito pepita e patamar (semivariância total), sendo a dependência espacial classificada, segundo Cambardella et al. (1994), como forte ( $GDE < 25\%$ ), moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ) e fraca ( $GDE \geq 75\%$ ). A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa Vesper 1.62 (MINASNY et al., 2005) e os mapas de temáticos foram produzidos utilizando o programa QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015), considerando o método de quebras naturais (otimização de Jenks) para a classificação dos valores interpolados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume os resultados da estatística descritiva referente aos dados dos índices relativos de clorofila nas folhas de videira em cada data de avaliação.

TABELA 1. Estatística descritiva dos dados dos índices relativos de clorofila a (ICA), b (ICB) e total (ICT) medidos em folhas de videira cv. Chardonnay em diferentes dias após a poda (DAP).

DAP	IC	n <sup>(a)</sup>	Parâmetros estatísticos <sup>(b)</sup>							
			Média	Med	Mín	Máx	s	CV (%)	Ck	Cs
41	ICA	346	22,88	22,68	12,55	32,05	3,37	14,71	-0,216	-0,056
	ICB	346	5,96	5,95	2,95	9,75	1,31	21,97	-0,577	0,271
	ICT	346	28,85	28,80	15,50	40,65	4,50	15,59	-0,322	0,013
57	ICA	343	26,65	26,95	14,85	31,90	2,33	8,75	2,600	-0,991
	ICB	343	9,03	9,10	3,95	14,75	1,62	17,98	-0,015	-0,033
	ICT	343	35,67	36,05	20,25	46,65	3,85	10,78	0,921	-0,507
64	ICA	344	29,91	30,40	21,05	47,50	2,62	8,77	6,333	0,533
	ICB	344	9,64	9,60	1,60	20,10	1,74	18,08	4,195	0,444
	ICT	344	39,55	39,93	26,80	55,20	3,83	9,69	1,329	-0,014
78	ICA	346	32,16	32,25	25,35	37,55	1,93	5,99	0,405	-0,483
	ICB	346	10,03	10,05	5,95	19,00	1,29	12,90	6,166	0,889
	ICT	346	42,19	42,60	32,30	51,30	2,85	6,76	0,655	-0,500
85	ICA	344	31,23	31,50	25,20	34,50	1,54	4,94	1,369	-0,960
	ICB	344	10,13	10,20	3,25	14,15	1,42	14,03	0,898	-0,245
	ICT	344	41,36	41,43	32,20	48,55	2,66	6,42	0,550	-0,550
99	ICA	346	30,12	30,15	25,65	34,35	1,56	5,17	-0,049	-0,008
	ICB	346	10,06	10,00	6,70	15,05	1,27	12,62	0,440	0,400
	ICT	346	40,18	40,05	32,90	48,70	2,65	6,60	0,157	0,110
120	ICA	344	32,62	32,80	23,15	38,05	1,87	5,73	1,813	-0,475
	ICB	344	9,40	9,40	5,55	16,20	1,26	13,43	2,196	0,427
	ICT	344	42,02	42,30	29,75	50,50	2,87	6,84	0,949	-0,394

<sup>a</sup> n: número de plantas amostradas. <sup>b</sup> Med: mediana; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ck: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria.

A normalidade da distribuição dos dados referentes aos índices de clorofila em todas as datas de avaliações foi verificada em função dos valores semelhantes das medidas de tendência central (média e mediana), além dos valores de assimetria próximos de zero. De acordo com os valores do CV (%), a variabilidade dos dados obtidos em todas as datas de avaliação foi classificada como baixa ( $CV \leq 15\%$ ) ou moderada ( $15 < CV \leq 35\%$ ). Em razão do valor do CV (21,97%), a menor homogeneidade da distribuição dos dados foi relacionada às medidas do ICB realizadas aos 41 DAP, embora esta mesma tenha sido classificada com moderada. O menor CV (5,73%) foi relacionado à avaliação do ICA realizada aos 120 dias.

A Figura 1 apresenta a tendência de variação dos valores médios dos índices de clorofila avaliados ao longo do ciclo da videira, a partir da fase de floração, sendo representada pelos valores estimados conforme modelos de regressão. Observou-se que a variabilidade geral dos valores durante o período de avaliação apresentou um padrão ascendente, com tendência a estabilização e diminuição em relação ao avanço das fases fenológicas da cultura. Por essa razão, modelos não lineares, mais especificamente funções quadráticas ( $Y_i = b_0 + b_1X + b_2X_i^2 + e_i$ ), foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados às séries de dados por descreverem de forma razoável a orientação na qual as médias dos três índices foram dispostas ao longo do tempo. A Tabela 2 apresenta as estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais de regressão ajustados à variação média dos índices de clorofila, além das medidas de associação entre as variáveis.

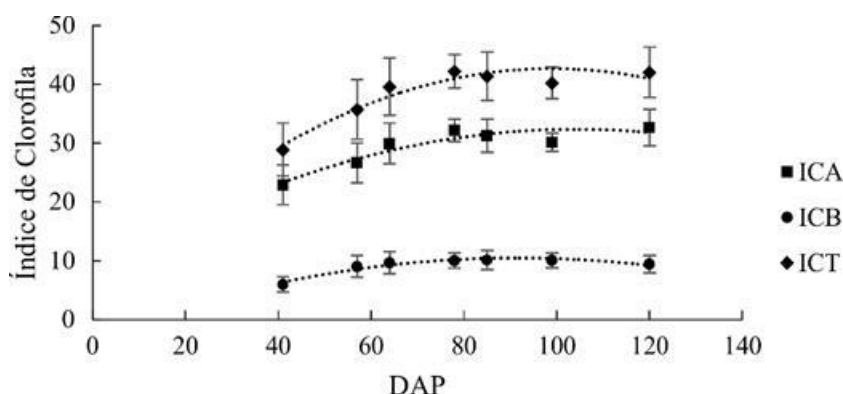


FIGURA 1. Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) dos índices relativos de clorofila a (ICA), b (ICB) e total (ICT) medidos em folhas de videira cv. Chardonnay em diferentes dias após a poda (DAP) e linhas de tendência polinomial.

TABELA 2. Parâmetro das equações polinomiais de regressão ajustadas para descrição da tendência de variação média dos índices de clorofila a (ICA), b (ICB) e total (ICT) medidos em folhas de videira cv. Chardonnay em diferentes dias após a poda (DAP).

Índice	b0	b1	b2	Pr (>F)	r	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> ajustado
ICA	7,6383	0,4749	-0,0023	0,0172	0,9322	0,8690	0,8035
Pr (> t)	0,2597	0,0357	0,0709				
ICB	-2,9834	0,2936	-0,0016	0,0037	0,9692	0,9393	0,9090
Pr (> t)	0,1509	0,0026	0,0040				
ICT	4,6549	0,7685	-0,0039	0,0080	0,9543	0,9106	0,8659
Pr (> t)	0,5242	0,0118	0,0223				

b0, b1 e b2: parâmetros estimados do modelo quadrático de regressão  $Y_i = b_0 + b_1X + b_2X_i^2 + e_i$ ; r: coeficiente de correlação múltipla; r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; r<sup>2</sup> ajustado: coeficiente de determinação ajustado.

De acordo com a análise de variância dos modelos de regressão, o teste F confirmou a existência de uma relação significativa entre os índices de clorofila e os estádios fenológicos da cultura da videira, denotados pelos dias após a poda de produção, assumindo um nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Valores elevados dos coeficientes de correlação múltipla e de determinação ajustado confirmam a intensidade da associação entre as variáveis e a qualidade do ajuste dos modelos, respectivamente. Com exceção da equação de regressão referente à variação do ICA, o efeito quadrático foi considerado significativo adotando-se  $\alpha = 0,05$ , justificando o ajuste do modelo polinomial aos conjuntos de dados do ICT e ICB, sendo esses apropriados para representar a tendência de variação média dessa variável. Conforme os resultados obtidos, foi possível admitir que a inclusão do efeito curvilíneo descrito pelos modelos relaciona-se com a degradação natural da clorofila em função do tempo, ou seja, da idade das folhas, uma vez que não foi possível avaliar o efeito de outras condições ambientais ou intrínsecas das plantas relacionadas à decomposição desses

pigmentos. De modo condizente com os resultados obtidos nesse trabalho, a variação do conteúdo de clorofilas em folhas de videira cv. Pinot Noir relacionadas a sua idade e posição na planta foi descrita por Bertamin e Nedunchezian (2002). Contudo, o efeito de outras variáveis nas medidas dos índices de clorofila pode ser inferido em razão das oscilações, principalmente referentes ao ICA e ICT, uma vez que foram identificados valores médios superiores aos 64 e 78 DAP e inferiores aos 99 DAP, em relação àqueles estimados pelas linhas de tendência, além do aumento dos valores médios em ocasião posterior a esta última, aos 120 DAP. Conforme os valores simulados pelas equações que representam as linhas de tendência de variação, as maiores médias previstas para o ICA, ICB e ICT seriam observadas aproximadamente aos 104, 92 e 99 DAP, nesta ordem.

No que diz respeito a amplitude total dos dados, menores e maiores valores médios referentes ao ICB e ICT foram identificados aos 41 e 78 DAP, respectivamente. O menor valor médio do ICA também foi identificado aos 41 DAP, porém o valor máximo foi observado aos 120 DAP. Resultados que indicam variação do teor de clorofila em função dos estádios fenológicos, segundo um padrão semelhante ao relatado nesse estudo, também foram observados por demais autores para outras espécies vegetais (MAIA e PIEDADE, 2002; ZHANG et al., 2008; PAULA et al., 2015). Contudo, apesar do comportamento da variação temporal observado nesse estudo, não foi possível identificar a degradação natural da clorofila concomitante à senescência das folhas ao final do ciclo de produção da videira, uma vez que a colheita se deu aos 132 DAP, o que explica a permanência de valores elevados dos índices de pigmentos aos 120 DAP.

De acordo com Arrobas et al. (2014), a redução nos teores de N ao longo do ciclo de produção também pode ser atribuída a remobilização desse nutriente para estruturas perenes da planta, além das perdas para a atmosfera, o que pode ser inferido pela comparação da concentração desse nutriente em folhas cloróticas em relação as folhas verdes e pelo aumento dos teores de N em partes lenhosas da planta, conforme estudo realizado pelos autores. Além da idade das folhas, outra possível explicação para a variação temporal do conteúdo de pigmentos diz respeito ao padrão de demanda de nitrogênio (N) pela videira, uma vez que esse elemento é correlacionado com o teor de clorofila. Esta demanda tende a ser maior entre a fase de brotação e floração, com aumento progressivo do aporte de N do solo ao longo da floração, frutificação e primeira fase de crescimento das bagas, podendo este ser ainda mais elevado após *verasion* ou pintor (KELLER, 2010). A influência da adubação nitrogenada no teor de clorofila e a correlação positiva entre o índice relativo de clorofila e os teores de nitrogênio foliar em variedades de videiras foi observada por Silva (2015), Techio et al. (2011) e Taskos et al. (2015). De outra forma, a elevação mais acentuada dos índices de clorofila no período entre os 41 e 57 DAP em comparação com aquela identificada nos demais intervalos entre as avaliações também pode estar associada com a sensibilidade de resposta das folhas, em diferentes estádios fenológicos, em função da adubação nitrogenada. Lorensini (2014) observou que o aumento do teor de N em folhas de videira cv. Cabernet Sauvignon em resposta ao incremento de N no solo foi mais perceptível na floração em comparação ao início da maturação de frutos, sendo a relação representada por uma função quadrática. Na área em estudo, o início da floração ocorreu aos 37 DAP. Como observado, a partir dos 78 DAP verificou-se que os valores médios dos índices de clorofila permanecem aproximados entre si, com redução na taxa de variação entre as datas de avaliação posteriores a esta.

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes à análise geostatística dos dados do ICT medidos nos diferentes DAP. A análise da variação espacial revelou diferentes padrões de distribuição em relação aos DAP.

TABELA 3. Modelos dos semivariogramas experimentais e seus respectivos parâmetros de ajuste referentes aos dados do índice relativo de clorofila total (ICT) em folhas de videira cv. Chardonnay medido em diferentes dias após a poda (DAP).

DAP	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE (%) <sup>(a)</sup>	RMSE <sup>(b)</sup>
41	Exponencial	17,8	21,4	115,9	83,2 <sup>Fr</sup>	0,190
57	Exponencial	7,8	14,9	4,6	52,5 <sup>M</sup>	0,451
64	Exponencial	10,6	15,6	39,0	68,1 <sup>M</sup>	0,232
78	Esférico	5,9	8,9	43,1	65,9 <sup>M</sup>	0,157
85	Esférico	5,4	7,4	32,0	73,6 <sup>M</sup>	0,232
99	Exponencial	4,1	7,3	28,5	56,6 <sup>M</sup>	0,122
120	Exponencial	5,8	8,4	31,7	69,3 <sup>M</sup>	0,185

<sup>a</sup> GDE: grau de dependência espacial; Fr e M: dependência espacial fraca e moderada, respectivamente, segundo Cambardella et al. (1994). <sup>b</sup> RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio.

O modelo que melhor se ajustou a maioria dos semivariogramas experimentais foi o exponencial, sendo o modelo esférico adotado para os dados referentes aos 78 e 58 DAP. O alcance da dependência espacial dos dados apresentou uma elevada variação nos primeiros dois dias de leituras durante o ciclo da videira (41 e 57 DAP, com 115,9 e 4,6 m de alcance, respectivamente). Nos demais dias de avaliação, a dependência espacial apresentou um alcance entre 28,5 e 43,1 m. Isso sugere que, após o início da fase de floração (a partir pelo menos dos 64 DAP), a variabilidade dos dados na área foi mais estável em comparação aos dados coletados antes disso. A dependência espacial dos dados do ICT foi classificada como fraca segundo Cambardella et al. (1994), apenas para o primeiro dia de avaliação (41 DAP), nos demais dias a dependência espacial foi considerada como moderada. Portanto, a interpolação dos dados coletados após o período inicial de floração utilizando a krigagem pode apresentar menor incerteza (VIEIRA, 2000). A validação dos modelos de ajuste dos semivariogramas pode ser comprovada pela magnitude da raiz quadrada do erro quadrático (RMSE) para todas as datas de avaliação, sendo o menor valor observado aos 99 DAP.

Foi verificada uma baixa estabilidade da distribuição espacial dos dados de ICT, principalmente nos dois primeiros dias avaliados (41 e 57 DAP). A partir dos 64 até os 85 DAP foi observada uma tendência à concentração dos maiores valores deste índice na região central do pomar, resultando em uma maior estabilidade temporal do ICT nesse período (Figura 2). Dessa forma, as zonas homogêneas delimitadas a partir de 64 DAP apresentam maior estabilidade espacial, uma vez que o início da floração e da maturação ocorreu aos 37 e 92 DAP, respectivamente. Dessa forma, a delimitação de zonas homogêneas do teor de clorofila total nas fases de floração e de início de maturação da videira pode servir de orientação para a amostragem de folhas para fins de diagnóstico do estado nutricional da planta uma vez que a avaliação realizada nesse período é considerada mais apropriada. Como afirmado por Arrobas et al. (2014), em estudo realizado com a videira cv. Viosinho Blanc, a época de amostragem afeta o diagnóstico da concentração de nutrientes minerais presentes na planta. Levando em conta a variabilidade do teor de pigmentos na área de cultivo conjuntamente com a análise de propriedades associadas a fertilidade do solo, a exemplo da disponibilidade de elementos minerais, as zonas homogêneas do ICT podem servir para determinação de zonas de manejo de fertilidade em taxas variáveis, incrementando a eficiência da recomendação de adubação no vinhedo.

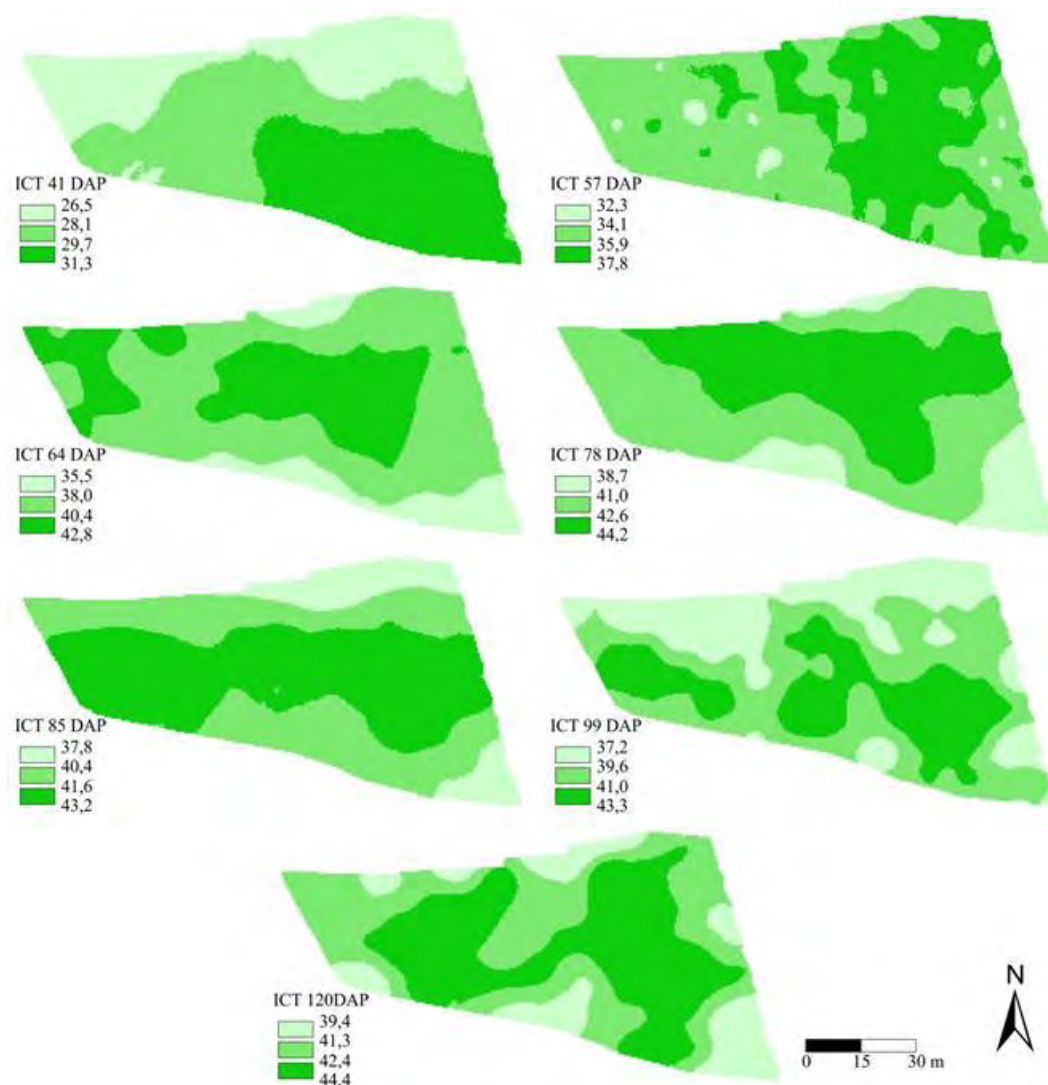


FIGURA 2. Distribuição espacial do índice de clorofila total (ICT) em folhas de videira cv. Chardonnay nos diferentes dias após a poda (DAP).

## CONCLUSÃO

A variabilidade nos índices de clorofila a, b e total em função da idade das folhas foi identificada pelo aumento dos teores relativos dos pigmentos ao longo do ciclo da videira até os 78 DAP, com redução da taxa de variação entre os valores médios a partir dessa ocasião. O índice de clorofila total também apresenta variabilidade espacial ao longo do ciclo de produção. A delimitação de zonas homogêneas dos índices de clorofila pode ser feita após o início da floração (37 DAP, nesse estudo), sendo que uma maior estabilidade espacial e temporal foi obtida a entre os 64 e 85 DAP, em período anterior ao início de maturação dos frutos.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo e apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pela concessão da área de estudo e apoio prestado durante o trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ARANTES, A.M.; DONATO, S.L.R.; SIQUEIRA, D.L.; AMORIM, E.P.; RODRIGUES FILHO, V. Chlorophyll index for real-time prediction of nutritional status of „Prata“ banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.2, p.99-106, 2016.
- ARROBAS, M.; FERREIRA, I.Q.; FREITAS, S.; VERDIAL, J.; RODRIGUES, M.A. Guidelines for fertilizer use in vineyards based on nutrient content of grapevine parts. **Scientia Horticulturae**, v.172, p.191–198, 2014.

- BARBIERI JÚNIOR, E.; ROSSIELLO, R.O.P.; SILVA, R.V.M.M.; RIBEIRO, R.C.; MORENZ, M.J.F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v.42, n.12, dez, 2012.
- BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N. Leaf age effects on chlorophyll, Rubisco, photosynthetic electron transport activities and thylakoid membrane protein in field grown grapevine leaves. **Journal of Plant Physiology**, v.159, n.7, p.799–803, 2002.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOCAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.;
- KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.
- COSTA, J.P.R.; CAPUTTI, G.P.; GALZERANO, L.; SILVA, W.L.; RUGGIERI, A.C.; MALHEIROS, E.B. Relative chlorophyll contents in the evaluation of the nutritional status of nitrogen from xaraes palisade grass and determination of critical nitrogen sufficiency index. **Acta Scientiarum**, v.37, n.2, p.109-114, 2015.
- KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**. San Diego: Academic; 2010, 377p.
- LORENSINI, F. Adubação nitrogenada em videiras jovens e em produção. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2014, 55 p.
- MAIA, L.A.; PIEDADE, M.T. Influência do pulso de inundação na fenologia foliar e conteúdo de clorofila em duas espécies da floresta de igapó da Amazônia Central do Brasil. **Acta Amazonica**, v.32, p.55-64, 2002.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.
- PAULA, S.M.; NAVES, E.R.; FRANCO, I.M.; PADUA, K.J.M.; SILVA, K.R.; FERNANDES, W.P.; OLIVEIRA, D.C.; LEMOS-FILHO, J.P.; MOREIRA, A.S.F.P. Desempenho fotossintético de folhas jovens e maduras de *Vochysia cinnamomea* (Vochysiaceae). **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.591-600, 2015.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- RICHARDSON, A.D.; DUGAN, S.P.; BERLYN, G.P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v. 153, n.1, p.185-194, 2002.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2014.
- SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; VITORINO, H.S.; RHEIN, A.F.L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.173-181, 2014.
- SILVA, A.O. **Disponibilidade de N e K no solo e sua absorção pela videira de vinho fertirrigada no semiárido**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015, 159 p.
- STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005.
- TECHIO, M.A.; MOURA, M.F.; PAIOLI-PIRES, E.J.; TERRA, M.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; SMARSI, R.C. Teores foliares de nutrientes, índice relativo de clorofila e teores de nitrato e de potássio na seiva do pecíolo na videira „Niágara Rosada“. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.2, p.649-659, 2011.

TASKOS, D.G.; KOUNDOURAS, S.; STAMATIADIS, S.; ZIOZIOU, E.; NIKOLAOU, N.; KARAKIOULAKIS, K.; THEODOROU, N.; Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. **Precision Agriculture**, v.16, p.16-98, 2015.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2. ed. Chichester: Wiley and Sons. 2007.

WILDING, L. P. Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In NIELSEN, D.R.; BOUMA, J. (Ed.), **Soil Spatial Variability**. Wageningen: Pudoc. p.166–194, 1985.

ZHANG, S.B.; HU, H.; LI, Z.R. Variation of photosynthetic capacity with leaf age in an alpine orchid, *Cypripedium flavum*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.30, p.381-388, 2008.



**02 a 04**

outubro de 2018

**Expo Unimed  
Curitiba-PR**

**Construção dos dados na era da digitalização agrícola**

# **TRABALHO APRESENTAÇÃO PÔSTER**



## **A UTILIDADE DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA MONITORAMENTO DA CULTURA DO CAFÉ**

**LUANA MENDES GONÇALVES<sup>1</sup>, MARCO THULIO ANDRADE<sup>2</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>3</sup>, DIOGO TUBERTINI MACIEL<sup>4</sup>, PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO FERRAZ<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Mestranda em Engenharia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG, Fone: (035) 3829.4566, luanna\_mendess@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Graduando de Eng<sup>o</sup> Agrícola, UFLA, Lavras - MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, UFLA, Lavras – MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, UFLA, Lavras – MG.

<sup>5</sup> Zootecnista, Professora, UFLA, Lavras – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Dentre as diferentes geotecnologias utilizadas na agricultura de precisão, a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto destacam-se pela rapidez e qualidade dos dados obtidos, podendo ser utilizados em monitoramentos e caracterizações de parâmetros biofísicos de culturas. Desta forma o presente trabalho teve por objetivo testar uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) comercial quanto ao seu potencial para monitoramento da cultura do café com dois planos de voo diferentes. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras, em área cultivada com café espécie *Coffea arabica L.*, utilizando-se uma câmera embarcada em uma RPA. Para a captura das imagens padronizou-se a altura de voo a 30 m de altitude em relação ao solo e velocidade de deslocamento da aeronave constante em 3 m/s, tendo como tratamentos duas combinações de sobreposição das imagens (Recobrimento Horizontal e Recobrimento Vertical), sendo elas 80/80 % e 60/70 %. Com base nos dados obtidos posteriormente ao processamento das imagens, foi possível testar a utilização da RPA comercial, na qual o ortomosaico gerado pôde ser utilizado como ferramenta para o direcionamento de tratos culturais na cultura do café como, por exemplo, identificação da presença de plantas daninhas, identificação de falhas no plantio, alinhamento e uniformidade da lavoura. Pode-se concluir que a menor sobreposição utilizada no planejamento de voo pode ser recomendada pela alta resolução do ortomosaico e pelo menor tempo de processamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ortomosaico; Cafeicultura de Precisão; Sistema de Aeronave não tripulada.

### **THE UTILITY OF AIRCRAFT REMOTELY PILOTED FOR MONITORING COFFEE CULTURE**

**ABSTRACT:** Among the different geotechnologies used in precision agriculture, Photogrammetry and Remote Sensing stand out for the speed and quality of the data obtained, and can be used in monitoring and characterization of biophysical parameters of crops. In this way, the objective of this work was to test a Commercially Remote Piloted Aircraft (RPA) for its potential to monitor the coffee crop with two different flight plans. The experiment was carried out at the Federal University of Lavras, in an area cultivated with coffee species *Coffea arabica L.*, using a camera embedded in an RPA. In order to capture the images, the height of flight at a height of 30 m in relation to the ground and the aircraft's constant speed of movement at 3 m / s were standardized, using two combinations of overlapping of the images (Horizontal Overlay and Vertical Overlay) , being 80/80% and 60/70%. Based on the data obtained after the image processing, it was possible to test the use of the commercial RPA, in which the generated orthosaic could be used as a tool for directing cultural practices in the coffee crop, such as identification of the presence of plants weeds, identification of planting failures, alignment and crop uniformity. It can be concluded that the lower overlap used in the flight planning can be recommended by the high resolution of the orthomotic and the shorter processing time.

**KEYWORDS:** orthomosaick; Precision Agriculture in Coffee Crop; Unmanned Aircraft System (UAS).

**INTRODUÇÃO:** A agricultura de precisão surge como um conjunto de tecnologias que são capazes de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias de manejo, que posteriormente possam vir a ser adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento do processo de produção, podendo maximizar a rentabilidade das colheitas e reduzir os custos de aplicação de insumos, tornando a atividade mais competitiva (CARVALHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2007; SILVA; SOUZA; ALVES, 2008).

De acordo com Tschiedel e Ferreira (2002), a agricultura de precisão pode ser considerada como um amplo conceito, englobando tecnologias e novos conhecimentos de informática, eletrônica, geoprocessamento, entre outros. Este conceito incorpora um grande número de conhecimentos científicos e alta tecnologia, apresentando ao produtor novos termos, conceitos, equipamentos e tecnologias. Dentre as diferentes geotecnologias utilizadas na agricultura de precisão, a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto destacam-se pela rapidez e qualidade dos dados obtidos, como indica Volterrani (2003), que afirma que através de imagens orbitais é possível identificar espécies vegetais, calcular área foliar, biomassa, cobertura do solo ou ainda quantificar teor de nitrogênio, clorofila, água ou ainda deficiência nutricional.

O grande avanço tecnológico permitiu a utilização de aeronaves remotamente pilotadas para a coleta de imagens de pequeno formato com um custo relativamente baixo comparado com técnicas convencionais. O uso de imagens aéreas se apresenta como uma alternativa promissora visto que já são utilizadas na agricultura para mapeamento de culturas, avaliação de áreas cultivadas, e permitem a detecção de diversas deficiências (MOLIN, 2000). Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo testar uma Aeronave Remotamente Pilotada comercial quanto ao seu potencial para monitoramento e aplicabilidades no manejo e tomada de decisão da cultura do café com dois planos de voos diferentes.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em área do Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, cultivada com café espécie *Coffea arabica L.*, cultivar Travessia no espaçamento de 2,60 x 0,60m com coordenadas geográficas, latitude 21°13'33.17"S, longitude 44°58'17.54" WGr. e 936 m de altitude, e teve como objetivo a realização de imageamentos na lavoura cafeeira utilizando-se de câmera embarcada em uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). Foi utilizada a RPA modelo Phantom 3 Professional, que possui Sistema de Posicionamento Global (GPS) integrado cujo controle é realizado por meio de um controle remoto, uma câmera digital acoplada em sua estrutura da marca Sony, modelo EXMOR 1/ 2.3", com resolução de 12 megapixels em cores verdadeiras (Red-R, Green-G, Blue-B), e resolução radiométrica de 8 bits, lente 20 mm com abertura de f/2.8, com tamanho máximo de imagem de 4000 x 3000 pixels e Cartão SD. Para a captura das imagens a altura de voo foi padronizada a 30 m de altitude em relação ao solo, e com velocidade constante de deslocamento da aeronave de 3 m/s, tendo como variações duas combinações de sobreposição das imagens (Recobrimento Horizontal e Recobrimento Vertical), sendo elas 80/80 % e 60/70 %. Para o processamento das imagens, e conseqüentemente criação dos ortomosaicos, foi utilizado um software de processamento de imagem, de modo que as imagens foram identificadas a partir de pontos homólogos formando uma nuvem densa de pontos, possibilitando a reconstrução do modelo e criação do ortomosaico como produto final, e para confecção e layout dos mapas, utilizou-se software de geoprocessamento.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A partir do processamento das imagens, e tendo como resultado final os ortomosaicos da Figura 1, foi possível analisar as imagens geradas. Avaliando as duas sobreposições, como mostradas na Figura 1, revela-se a presença de plantas invasoras nas copas de algumas plantas do cafeeiro. Além disso, com a análise das imagens se faz possível a caracterização da uniformidade da lavoura, na qual na região nordeste da área um bloco de plantas cafeeiras apresentou desuniformidade, além de observar falhas ao longo da lavoura e alinhamento de plantio.

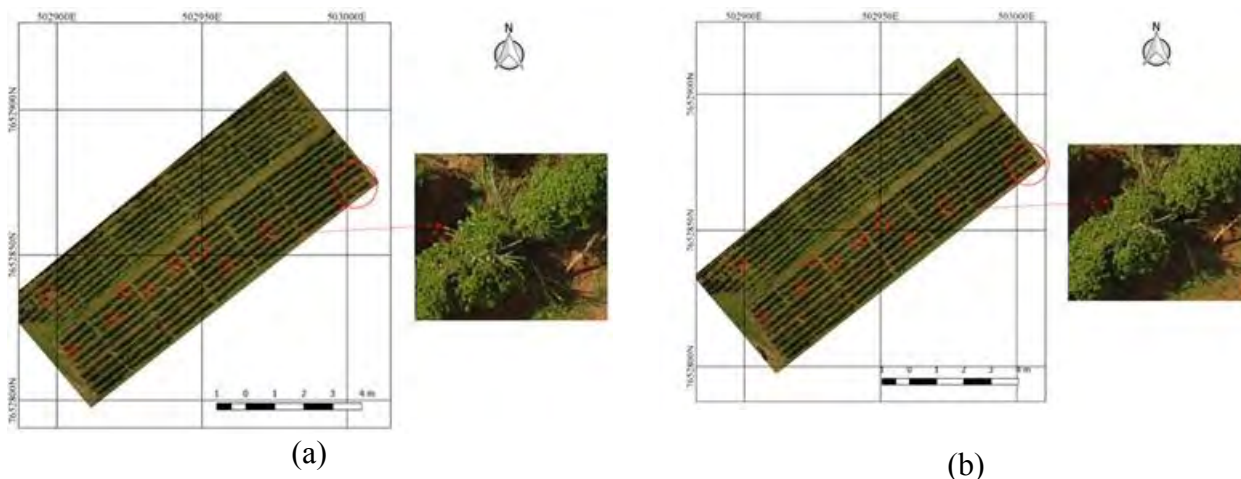


FIGURA 1 - Ortomosaicos obtidos do processamento de imagens de campo com sobreposição vertical/horizontal de (a) 80/80 % e (b) 60/70 % respectivamente.

A partir dos resultados, é justificável a utilização de RPA como ferramenta de direcionamento de tratos culturais com maior assertividade em campo, podendo ser citado o exemplo de aplicação de insumos agrícola à taxa variável. Como apresenta Castaldi et al. (2016), que ao realizar o mapeamento de espécies invasoras para aplicação direcionada de herbicidas na cultura do milho concluíram que o uso de dados de imagens capturadas na pós-emergência no milho por meio de RPA, levou a uma diminuição no uso de herbicida, chegando a uma economia em áreas não tratadas de 14 a 39,2% para pulverização uniforme e economia de 16 a 45 € ha. Fato que justifica a adoção de tais tecnologias também na cultura do café. Analisando os dados descritos na Tabela 1, bem como os resultados do processamento das imagens, é possível concluir que a precisão de resolução das mesmas tem valores inferiores a 1,5 cm/pixel.

TABELA 1. Resultado do processamento das imagens, demonstrando os parâmetros de voo avaliados para as duas sobreposições de recobrimento de imagens.

Sobreposição (%)	Parâmetros de avaliação das imagens			
	Tempo de voo (min)	Número de Imagens	Tempo de Processamento (h)	Resolução Espacial (cm/pixel)
80 x 80	7,88	93	4,79	1,31
60 x 70	5,76	90	4,88	1,33
Parâmetros fixos de voo				
Velocidade (m/s)			3,0	
Altura (m)			30	

A partir dos parâmetros mostrados na (Tabela 1), é possível analisar que a resolução espacial observada nas imagens de campo são bem próximas, tendo apenas uma diferenciação de 0,02 cm/pixel, valor insignificante para o sentido de avaliação aqui observado. Outro ponto relevante é o tempo de voo para cada uma das sobreposições observadas, na qual a sobreposição de 60/70 % fez com que fosse necessário 26,9% menos tempo da RPA para executar o plano de voo de coleta de imagens para a mesma área em questão. Em relação ao tempo de processamento, sabe-se que imagens coletadas com alta sobreposição geram maiores quantidade de pontos e que a nuvem é um dos procedimentos de processamento que demandam maior tempo, sendo diferenciados basicamente pelo numero de imagens e pela qualidade do produto. Entretanto, uma maior qualidade aplicada ao procedimento resulta em uma maior qualidade na geração do modelo. Para ambas as sobreposições avaliadas foram utilizados parâmetros de qualidade elevada, ambas resultando em produtos de alta qualidade, não havendo assim diferença significativa na diferença do tempo de processamento que foi de 0,09 horas ou pouco mais de 5 minutos. Outro ponto que pode ser discutido é em relação à altura de voo da aeronave, que neste caso para ambas as sobreposições avaliadas foi de 30m. A altura de voo das RPA está diretamente relacionada com a resolução espacial das imagens. Nesta situação devido a altura da aeronave estar bem próxima ao alvo possibilitou maior detalhamento da lavoura tendo influência positiva nos produtos finais gerados no processamento. Em estudos realizados por Romero et al. (2015), os autores obtiveram

resolução espacial de 10 cm utilizando uma RPA modelo Phantom 2, com altura de 100m, ou seja, a resolução espacial e o recobrimento da área é diretamente afetada pela altura de voo.

**CONCLUSÃO:** Foi possível testar a utilização da RPA comercial utilizando dois planos de voos diferentes em uma área cafeeira. Foi possível a identificação da presença de plantas daninhas tanto na entrelinha tanto na copa do cafeeiro, identificação de falhas no plantio, alinhamento e uniformidade da lavoura em ambos os planos. Pode-se concluir que a menor sobreposição utilizada no planejamento de voo pode ser recomendada pela alta resolução do ortomosaico e pelo menor tempo de processamento.

**AGRADECIMENTOS:** A UFLA, ao setor de cafeicultura da Universidade e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SISU/MEC/PET pelo no desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

CASTALDI, F.; PELOSI, F.; PASCUCCI, S.; CASA, R. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 76-94, 2017.

CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; BARTHOLO, G. F.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, Â. M.; CARVALHO, A. M. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, jan./fev. 2009.

OLIVEIRA, E. D.; SILVA, F. M. D.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, Z. M. D. Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1826-1830, nov./dez. 2007.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. In: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão – Boletim Técnico**. – Brasília: Mapa/ACS, 2011.

ROMERO, V. R.; VILLAREAL, A. M.; LEÓN, J. L. T.; HERNÁNDEZ, A. H. Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. **Revista Palmas**, v. 36, n. 3, p. 25-41, 2015.

SILVA, F. M. da; SOUZA, J. C. S. de; ALVES, M. C. **Influence of manual harvest in the spatial variability of coffee yield and defoliation along two agricultural harvests**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 9., 2008, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: CIGR, 2008. 1 CD-ROM.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. P. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, jan./fev. 2002.

VOLTERRANI, M. Effects of nitrogen nutrition bermudagrass spectral reflectance. **International Turfgrass Society**, Pisa, v. 10, 2003.

## **ACURÁCIA DA CORREÇÃO RTK VIA NTRIP**

**JOÃO V. M. NICOLETTI<sup>1</sup>, MARCELLO R. A. FRANCHI<sup>1</sup>, LEONARDO F. MALDANER<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (15) 99664 - 9136, [jnicoletti@usp.br](mailto:jnicoletti@usp.br)

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A demanda por correção de sinal dos receptores GNSS em tempo real na agricultura é crescente. A correção do posicionamento utilizando conexão com servidor NTRIP é um serviço oferecido gratuitamente pela RBMC e é um dos métodos alternativos para correção diferencial de sinais dos GNSS utilizados na agricultura. O estudo teve como objetivo medir a acurácia de um GNSS com correção diferencial em tempo real por NTRIP sob condições estáticas e, em seguida, avaliar a viabilidade de uso em campo. Para tal, realizou a coleta de dados em um marco com coordenadas de referência conhecidas utilizando um GNSS compatível. Realizou-se a conexão com o servidor do IBGE localizado em Piracicaba, SP. A estatística descritiva dos erros calculados foi realizada para avaliar o desempenho da correção do sinal. A correção do posicionamento em tempo real utilizando a conexão ao servidor NTRIP pela rede internet GSM teve um erro de paralelismo de 0,072 m. Realizando a conexão pela rede internet Wi-Fi, com pós-processamento, o erro foi de 0,068 m. Em ambos os ensaios houve perda de sinal e interferências. Ainda assim é uma alternativa com excelente custo/benefício agregado, frente ao que está disponível no mercado do sistema GNSS/RTK.

**PALAVRAS-CHAVE:** RBMC, internet, GSM, Wi-Fi.

## **ACCURACY OF RTK DIFFERENTIAL CORRECTION VIA NTRIP**

**ABSTRACT:** There is a growing demand for signal correction of GNSS receivers in real time in agriculture. The kinematic positioning correction using data from internet NTRIP streams it is offered free by RBMC and is one of the alternative methods to differential correction to GNSS signs used in agriculture. The study aimed to measure the accuracy of a GNSS with real time differential correction by internet NTRIP streams under static conditions, and then assess the viability of use in the field. For this purpose, performed data collection at a point with known reference coordinates using a compatible GNSS. Made the connection to the IBGE server located in Piracicaba, SP. Was performed the descriptive statistics of the errors calculated to evaluate the performance of the signal correction. The RTK correction via NTRIP using the caster connection over the GSM internet network had a parallelism error of 0,072 m. The correction with caster connection over the Wi-Fi internet network, with post-processing the error was of 0,068 m. In both assays, there was loss of signal and interference. It is still an excellent cost-benefit alternative to what is available in the GNSS / RTK market.

**KEYWORDS:** RBMC, internet, GSM, Wi-Fi.

**INTRODUÇÃO:** A utilização de Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) na agricultura vem evoluindo, juntamente com a cobertura de internet, possibilitando uma verdadeira revolução na coleta de dados georreferenciados, que passam a ser mais rápidos, precisos e econômicos. Atualmente se destacam as correções diferenciais em tempo real por RTK (Real Time Kinematic) e por satélites geoestacionários (SBAS). Entretanto estes sistemas de correção demandam alto custo, pois necessitam de um segundo receptor GNSS para enviar a correção via rádio para o GNSS móvel, e na aquisição do sinal do satélite

georreferenciado para correção do sinal (Carballido et al., 2014). Uma alternativa de baixo custo é a utilização de correção através de servidores NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol). O NTRIP é um protocolo HTTP desenvolvido com o propósito de substituir a conexão por rádio UHF pela conexão via internet (Costa et al., 2008). No Brasil, este serviço é disponibilizado gratuitamente pelo IBGE através da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) bastando apenas um cadastro rápido (Ribas e Thum, 2014). É um sistema composto por três componentes: *server*, *caster* e *client*. O *client* é um aplicativo instalado em desktop, laptop ou dispositivos portáteis (celular e tablet) que serve para mostrar as correções transmitidas pelo servidor *caster* para um receptor GNSS. De acordo com estudos realizados pelo IBGE, a correções de sinais de GNSS com conexão com servidor NTRIP apresentaram aspectos positivos com exatidão e baixo custo, pois utiliza sinal de internet não havendo necessidade de ter estação de referência. Em contrapartida, este sistema também pode apresentar limitações como a necessidade de uma boa conexão com a internet, o que ainda não é disponível em áreas agrícolas remotas. Com este contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a exatidão da correção diferencial em tempo real utilizando conexão ao servidor NTRIP em um receptor GNSS em condição estática.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Agricultura de Precisão da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, SP. Para a coleta dos dados utilizou-se um receptor GNSS modelo GR-3 (TOPCON, Japão) posicionado na referência com coordenadas 22°42'47,8"S e 47°37'44,9W. Foram realizadas 9 repetições com coleta de dados durante 1 h na condição estática. Estabeleceu-se o intervalo de 1 h entre as repetições para permitir a alteração completa das constelações dos satélites. Dois métodos para correção do posicionamento do GNSS foram testados. No primeiro ensaio a correção do posicionamento do GNSS foi realizada através do pós-processamento das coordenadas. Foi utilizado um computador contendo conexão com a internet através da rede sem fio (Wi-Fi) (Figura 1a). O software Carlson SurvPC (Carlson Software Inc, EUA) foi utilizado para realizar a conexão com o servidor NTRIP do IBGE e realizar a correção das coordenadas enviadas pelo GNSS pela conexão bluetooth. Realizou-se a conexão com o *mountpoint* SPPI, que é a base do IBGE localizada em Piracicaba, SP distante 1,2 km do local do experimento. No segundo ensaio foi realizado a correção do posicionamento com a conexão ao servidor NTRIP no próprio receptor GNSS; assim o receptor emite coordenadas já corrigidas. O modem GSM do receptor GNSS foi ativado para ter acesso à internet, e em seguida colocou-se um *Subscriber Identity Module – SIM Card* (chip) e contratado o serviço de uma operadora telefônica para transferência de dados (Figura 1b). As configurações da conexão com o servidor NTRIP do IBGE foram as mesmas do ensaio anterior.



FIGURA 1. Receptor posicionado sobre um marco com coordenadas conhecidas (A) conectado ao computador via bluetooth no ensaio 1 (B) e o receptor com *SIM Card* no ensaio 2.

Para as ambas metodologias o GNSS gerou dados a uma frequência de 1 Hz e somente foram registradas as coordenadas que receberam correção em tempo real pela conexão com o servidor NTRIP. As coordenadas foram obtidas no formato decimal no Datum WGS84 e foram convertidas em coordenadas métricas (UTM)

para facilitar os cálculos dos erros. Os erros foram calculados conforme a metodologia descrita por Machado et al. (2010):

$$\begin{aligned} \text{Erro}_{\text{Norte-Sul}} &= Y_{\text{GNSS}} - Y_{\text{real}} \\ \text{Erro}_{\text{Leste-Oeste}} &= X_{\text{GNSS}} - X_{\text{real}} \\ \text{Erro}_{\text{GNSS}} &= \sqrt{(\text{Erro}_{\text{Norte-Sul}})^2 + (\text{Erro}_{\text{Leste-Oeste}})^2} \end{aligned}$$

em que  $X_{\text{GNSS}}$  e  $Y_{\text{GNSS}}$  são as coordenadas geradas pelo GNSS e  $X_{\text{real}}$  e  $Y_{\text{real}}$  são as coordenadas de referência. Para os cálculos dos erros no ensaio estático utilizou-se o software MS Excel®. A análise da estatística descritiva dos dados permitiu a obtenção dos valores do erro médio ( $\bar{E}$ ), o valor do erro com 95,0% probabilidade ( $E_{95}$ ) e o coeficiente de variação (CV) para cada repetição em ambos os ensaios.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A dispersão dos  $\text{Erro}_{\text{Norte-Sul}}$  e  $\text{Erro}_{\text{Leste-Oeste}}$  está representada na Figura 2. Em ambos os casos observa-se pequena dispersão dos dados o que indica que há precisão nas coordenadas geradas pelo receptor. Porém, observa-se que nos dois ensaios há um deslocamento dos erros em relação à coordenada de referência, no mesmo sentido, indicando erro de acurácia. O uso da correção em tempo real com servidor NTRIP induziu um erro sistemático nas coordenadas geradas pelo receptor.

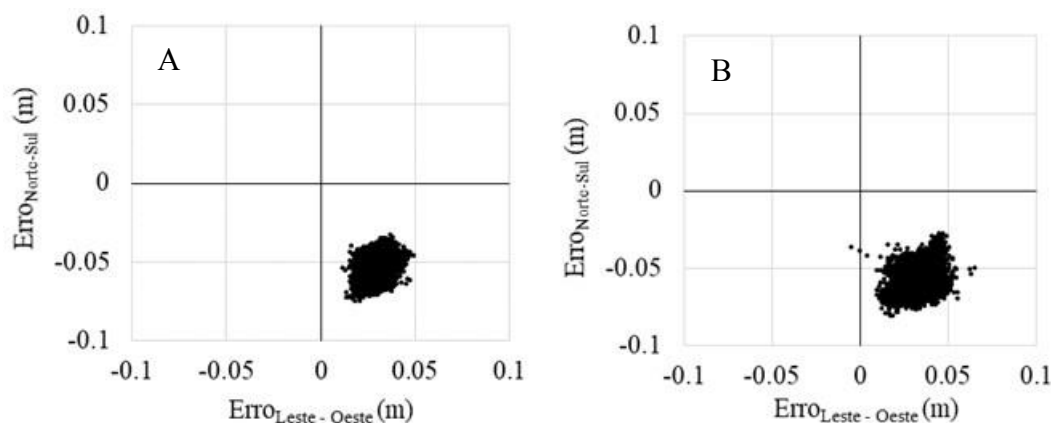


FIGURA 2. Dispersão dos  $\text{Erro}_{\text{Norte-Sul}}$  e  $\text{Erro}_{\text{Leste-Oeste}}$  para o ensaio com pós-processamento (A) e usando conexão na rede GSM (B).

Baixos valores de CV indicam pequena variação dos dados em todas as repetições realizadas (Tabela 1), o que indica que o GNSS apresentou alta precisão. Para o ensaio com a correção das coordenadas no computador, o GNSS apresentou  $E_{95}$  médio de 0,065 m. Já no ensaio com correção com conexão GSM o  $E_{95}$  médio foi de 0,072 m.

TABELA 1. Valores do erro calculado para o ensaio estático utilizando conexão via GSM e pós-processadas com conexão Wi-Fi.

Repetição	GSM			Pós-processamento		
	$\bar{E}$	$E_{95}$	CV	$\bar{E}$	$E_{95}$	CV
	m			%		
R1	0,069	0,073	4,07	0,057	0,062	4,86
R2	0,064	0,068	7,84	0,057	0,062	4,86
R3	0,065	0,069	3,92	0,058	0,062	4,82
R4	0,063	0,073	8,06	0,057	0,062	5,69
R5	0,065	0,068	5,65	0,058	0,063	5,64
R6	0,065	0,071	5,19	0,067	0,074	6,49
R7	0,068	0,077	9,36	0,060	0,068	7,56
R8	0,068	0,075	6,18	0,063	0,072	8,51
R9	0,068	0,073	4,51	0,057	0,063	5,41
Média (m)		0,072			0,065	

Observando as variações dos  $\text{Erro}_{\text{GNSS}}$  para cada ensaio em relação ao tempo de coleta, fica nítida a limitação de se trabalhar com conexão de internet, tanto por rede WiFi ou por rede GSM (Figura 3 e 4). Observa-se que houve grande quantidade de dados perdidos devido à não recepção de sinal de internet para correção do sinal do GNSS (linhas vermelhas). É notável a restrição do uso ao campo por conexão Wi-Fi, visto ser inviável estabelecer sinal em toda a lavoura. Já utilizando conexão com a rede GSM houve uma menor perda de dados corrigidos. Há uma menor constância de aquisição de dados com conexão por Wi-Fi. Essa continuidade se deve ao fato que a oferta de sinal GSM é espacialmente mais abrangente e constante, enquanto para o Wi-Fi obteve-se pausas intermeadas no processo de aquisição de dados. Apesar da perda de sinal, o método de correção de sinal em tempo real por conexão ao servidor NTRIP apresenta alta acurácia, e com suporte adequado para uso em campo é uma ótima opção por ter baixo custo e apresenta resultado semelhante aos sistemas de correção disponíveis no mercado.

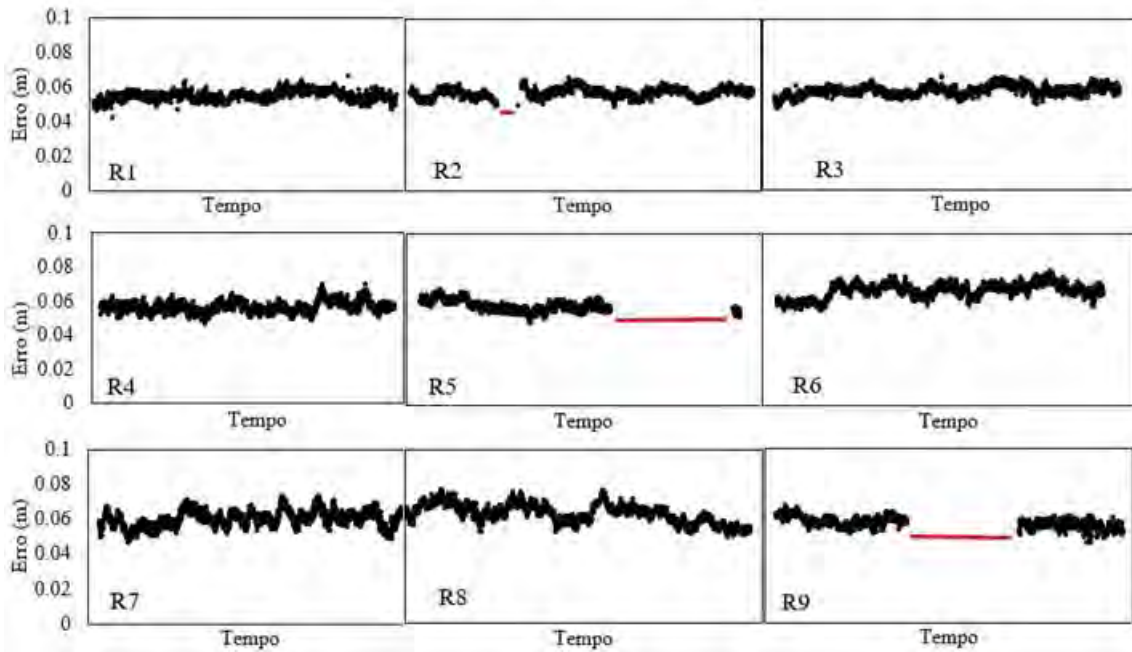


FIGURA 3. Variação do erro de paralelismo ( $\text{Erro}_{\text{GNSS}}$ ) em função do tempo de coleta usando pós-processamento.

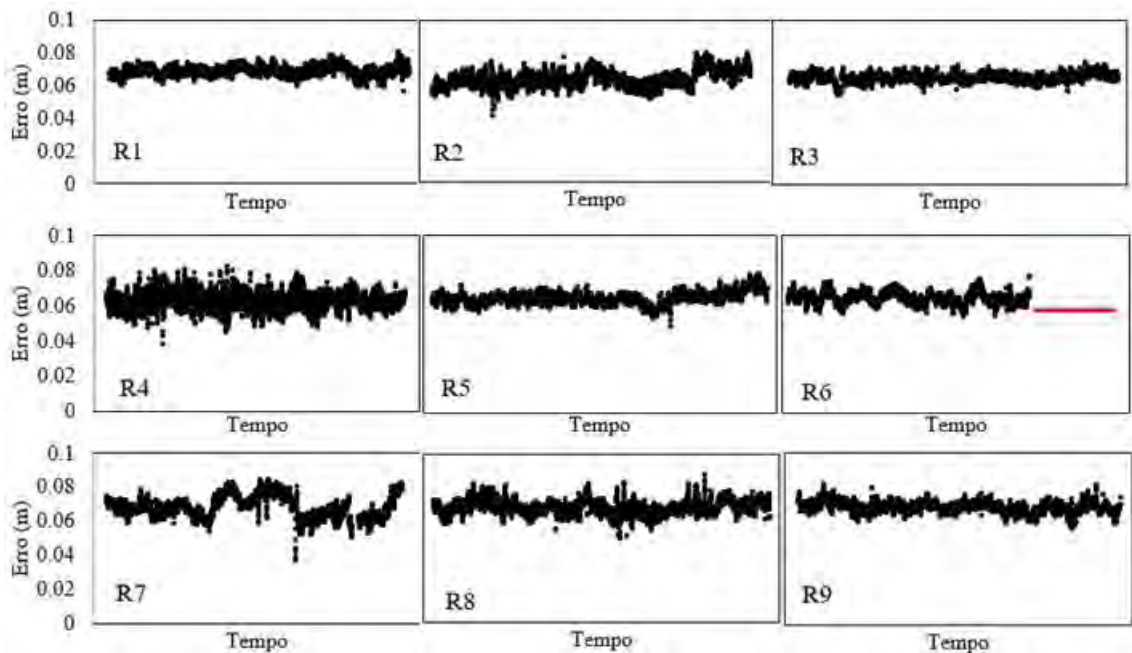


FIGURA 4. Variação do erro de paralelismo ( $\text{Erro}_{\text{GNSS}}$ ) em função do tempo de coleta usando conexão GSM.



**CONCLUSÃO:** O GNSS apresentou acurácia semelhante aos sistemas de correção disponíveis no mercado. Durante a realização dos ensaios houve perda de sinal na conexão com internet, com descontinuidades na coleta de dados. Utilizando conexão GSM houve menor perda de dados, pois possui maior distribuição espacial e constância de sinal no local do experimento. A correção em tempo real por NTRIP mostrou ser uma boa alternativa de correção de sinal GNSS de baixo custo.

## **REFERÊNCIAS**

CARBALLIDO, J.; PEREZ-RUIZ, M.; EMMI, L.; AGUERA, J. Comparison of positional accuracy between RTK and RTX GNSS based on the autonomous agricultural vehicles under field conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 30, n. 3, p. 361–366, 2014.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; MOURA JUNIOR, N. J. de; ABREU, M. A.; DA SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, PE, 2008.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, 2010.

RIBAS, A.A., THUM, A.B. A utilização da tecnologia RTK NTRIP: análise da viabilidade do uso para georreferenciamento de imóveis rurais. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas, São Leopoldo - RS, 2014.

## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PERFIS TEMPORAIS DE ÍNDICE VEGETATIVO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR OBTIDOS POR SENSORES ORBITAIS DE MÉDIA E BAIXA RESOLUÇÃO ESPACIAL**

**BRUNA MARTINS PAIXÃO<sup>1</sup>, LUIZ HENRIQUE PEREIRA<sup>2</sup>, SERGIO DOS ANJOS FERREIRA PINTO<sup>3</sup>, ALEXANDRE LOMBARDO MONTANHA<sup>4</sup>, MATEUS VIDOTTI FERREIRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduanda em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro – SP. Fone: (15) 997669818, bruna.mp@live.com.

<sup>2</sup> Geógrafo, Pesquisador na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos, ESALQ/Tec, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981565469, luiz.pereira@idgeo.com.br.

<sup>3</sup> Geógrafo, Prof., Depto. Planejamento Territorial e Geoprocessamento, UNESP, Rio Claro – SP. Fone: (19) 981565469, sanjos@rc.unesp.br.

<sup>4</sup> Graduando em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro – SP. Fone: (11) 985072226, alombardom@hotmail.com.

<sup>5</sup> Geógrafo, Pesquisador na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos. ESALQ/Tec, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981565469, mateus.vidotti@idgeo.com.br.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Nesta pesquisa foi realizada a comparação de padrões dos perfis temporais de crescimento vegetal em áreas de cana-de-açúcar no período de 2017. Tais perfis foram gerados a partir do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos talhões estudados, obtidos através de imagens Sentinel-2b e Landsat8, que serviram como base para o primeiro perfil, que será comparado com um segundo, gerado através de dados NDVI coletados a partir dos satélites AQUA E TERRA (sensor MODIS) na plataforma SATVeg da Embrapa Informática Agropecuária. Foi possível analisar se ambas as fontes de dados podem ser capazes de se complementar nos estudos relacionados à dinâmica temporal de crescimento vegetal ou se apresentam diferenças expressivas. Os talhões estudados estão distribuídos em área correspondente a quatro municípios do Estado de São Paulo (SP): Cravinhos, Luís Antônio, Serra Azul e São Simão. Composto a Região Metropolitana de Ribeirão Preto, tais municípios refletem o potencial sucroalcooleiro presente na mesma, demonstrando a importância de se garantir a qualidade do monitoramento e gerenciamento dessas culturas, que podem ser auxiliados através de técnicas de sensoriamento remoto, que revelam dados importantes a respeito do comportamento e estado das plantações. Sendo assim, aliado a características espaciais e temporais, o sensoriamento remoto torna-se essencial para uma gestão agrícola de qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, índice de vegetação, análise multitemporal, abordagem multisensor

### **COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TEMPORAL PROFILES OF VEGETATIVE INDEX IN SUGARCANE AREAS OBTAINED BY ORBITAL SENSORS WITH MEDIUM AND LOW SPATIAL RESOLUTION**

**ABSTRACT:** In this research we made a comparison between patterns of temporal profiles of vegetative index in sugarcane plots, during the year of 2017. The patterns were generated using the normalized difference vegetation index (NDVI) of the studied areas, obtained from Sentinel-2b and Landsat8 images, which were the base for the construction of the first pattern, that was compared with a second pattern, generated by the NDVI collected from AQUA AND TERRA (MODIS sensor) satellites on the Embrapa's SATVeg platform. It was possible to analyse if both data sources can be used together in studies related to the temporal dynamics of plant growth or if presents significant differences. The studied plots are distributed in an area corresponding to four cities in the State of São Paulo (SP): Cravinhos, Luís Antônio, Serra Azul and São Simão. Those cities are part of the Metropolitan Region of Ribeirão Preto, reflecting the sugarcane potential and showing the importance of the quality on the monitoring and managing of those crops, which can be helped by remote sensing techniques, that are capable to show important data about the behavior and

current state of the crops. So, with spatial and temporal characteristics, the remote sensing is essential for a good agricultural management.

**KEYWORDS:** remote sensing, vegetation index, multitemporal analysis, multisensor approach

**INTRODUÇÃO:** O monitoramento e/ou mapeamento de áreas agrícolas torna-se eficiente com a utilização de dados obtidos através de satélites, pois utilizando as faixas espectrais adequadas para tais finalidades e considerando o comportamento espectral das culturas de forma integrada aos critérios temporais, é possível obter informações fundamentais para tais processos, como área plantada, produtividade e outros atributos fundamentais. (ROSA, 2007). Dessa forma, torna-se essencial o conhecimento a respeito de características e comportamentos biofísicos das culturas através de dados de sensoriamento remoto, o que envolve a utilização de índices de vegetação, que são capazes de indicar dados sobre a atividade da vegetação, envolvendo, por exemplo, a radiação fotossinteticamente ativa absorvida. (JENSEN, 2009). Um índice com grande potencial de aplicação no setor agrícola seria o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), pois segundo Pontes (2005), o mesmo favorece estudos sobre a dinâmica da cobertura vegetal, possibilitando um panorama a respeito das condições das plantas analisadas, servindo para estimativas de produtividade e uma série de outras aplicações que garantem a qualidade do monitoramento das culturas. Através de uma visão integrada dos elementos anteriormente desenvolvidos, este trabalho objetiva comparar o padrão dos perfis temporais de crescimento vegetal em áreas de cana-de-açúcar extraídos de imagens Sentinel-2b e Landsat8, com os padrões gerados a partir de dados obtidos pelos satélites AQUA E TERRA (sensor MODIS) disponibilizados pelo serviço SATVeg da Embrapa Informática Agropecuária para uma série temporal de 1 ano, considerando o cenário de 2017. Espera-se que os resultados obtidos sejam capazes de revelar o potencial de utilização e integração de diferentes fontes de dados como método alternativo para a avaliação do desenvolvimento vegetal.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As culturas de cana-de-açúcar estudadas estão localizadas em área compreendida por quatro municípios do Estado de São Paulo (SP), Cravinhos, Luís Antônio, Serra Azul e São Simão. Tais municípios fazem parte da Sub-Região 1 da Região Metropolitana de Ribeirão Preto, que segundo a Emplasa (2018), possui por meio da Rodovia Anhanguera localização estratégica em relação às Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas e também, ao Porto de Santos, pela Imigrantes. A região é considerada um polo na indústria sucroalcooleira, possuindo localização privilegiada em relação aos maiores centros consumidores de etanol, além de concentrar empresas agrícolas industriais e empresas que atendem ao mercado interno e externo de alimentos, atraindo também, eventos internacionais relacionados à área, como o Agrishow. O processo de escolha da área de estudo teve início a partir da espacialização dos cultivos de cana-de-açúcar no estado de São Paulo no ano de 2013, produzida pelo INPE. Com o apoio do Google Earth, foi possível verificar se atualmente tais áreas prosseguiram com essa atividade, influenciando indiretamente na escolha das mais apropriadas. Em seguida, foram obtidas imagens Landsat8 e Sentinel-2b de todos os meses referentes a 2017, através da plataforma EarthExplorer da USGS (*United States Geological Survey*). Essas imagens abarcavam com totalidade todas as áreas de cana-de-açúcar contidas no arquivo de espacialização do INPE anteriormente descrito e contavam com pouca ou nenhuma presença de nuvem. A partir da utilização do software ArcMap 10.5, as imagens selecionadas foram sobrepostas, gerando apenas uma imagem resultante, que era capaz de destacar as áreas com menos incidência de nuvens considerando todo o período de um ano. A área mais propícia para o estudo foi a referente aos quatro municípios da Região Metropolitana de Ribeirão Preto, em que foram coletadas algumas amostras da cultura para a análise. Considerando as amostras selecionadas, juntamente com as imagens do ano de 2017, foram gerados também no software ArcMap 10.5, os NDVIs para todos os meses. O seu cálculo considera valores de reflectância e absorção das bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), estimando com qualidade as condições biofísicas das culturas. (ZANZARINI, PISSARRA, BRANDÃO, TEIXEIRA, 2013). Os seus valores variam entre -1 e 1, sendo que a vegetação está associada a valores positivos e as nuvens, água se relacionam com valores próximos à zero e negativos. (RIZZI, 2004). Em seguida os dados referentes aos NDVIs gerados, como por exemplo, a média, foram exportados e compilados em uma única tabela, possibilitando a geração do padrão do perfil temporal de crescimento vegetal das áreas, expresso no formato de gráfico e caracterizado por uma curva contendo a variação das médias temporalmente. Através da plataforma SATVeg da Embrapa, foi possível obter informações de NDVI da área de estudo conforme dados obtidos pelos satélites AQUA E TERRA (sensor MODIS), considerando também, o período temporal de um ano (2017). Essas informações também foram exportadas em tabelas e compiladas, objetivando a geração de um novo padrão do perfil temporal de crescimento vegetal nos mesmos moldes do anterior, para que assim,

fossem feitas comparações entre os dois. Se as curvas geradas fossem discrepantes, os produtos não poderiam ser utilizados em conjunto, caso contrário, poderiam ser complementares, mostrando que o SATVeg seria uma fonte de dados alternativa para avaliar o desenvolvimento vegetal.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A partir dos valores médios de NDVI obtidos através da plataforma SATVeg da Embrapa, considerando os dados de todas as amostras de cana-de-açúcar selecionadas para a análise, foi possível estabelecer um primeiro perfil temporal de índice de vegetação, considerando todos os meses do ano de 2017, representado pela Figura 1. Observa-se o detalhamento da curva e a suavização das feições.

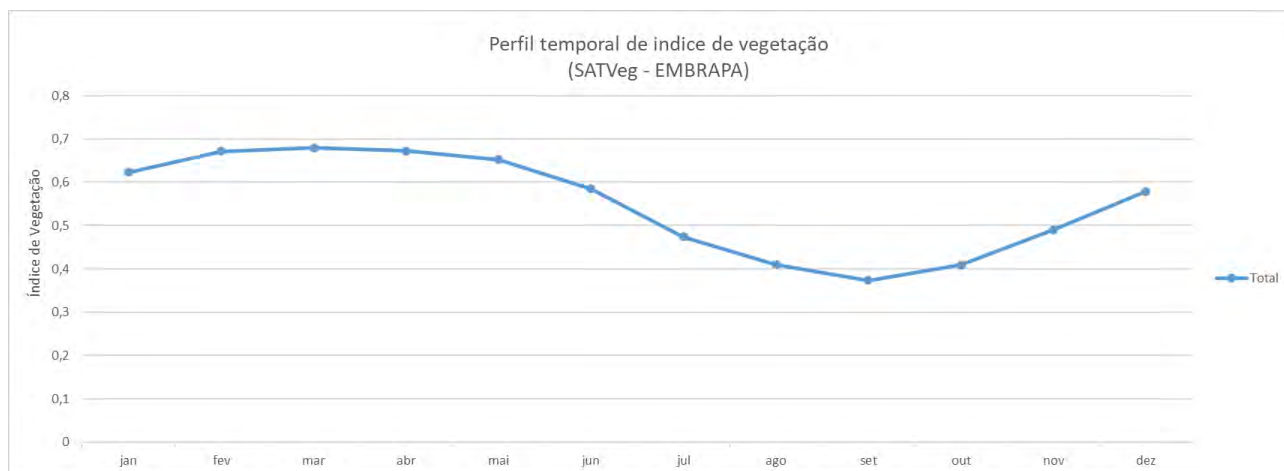


FIGURA 1. Perfil temporal do índice de vegetação obtido por meio da plataforma SATVeg da Embrapa.

Ao analisar a curva gerada na Figura 1, é possível observar a concentração dos valores mais altos de NDVI a partir de janeiro, que correspondem ao crescimento da planta com elevado vigor vegetativo, se estendendo até maio, com início da fase de maturação e queda dos valores devido à perda de água (maior concentração de açúcar). Os valores inferiores a 0,4 indicam a área colhida com resíduos vegetais sobrepostos ao solo. A partir de outubro inicia-se novo ciclo, com rebrota e perfilhamento da cana. A Figura 2 apresenta também a variação dos valores médios de NDVI considerando os dados de todas as amostras de cana-de-açúcar selecionadas para a análise, porém, dessa vez, obtidos partir de Imagens Landsat8 e Sentinel-2b. Observa-se a geração de um segundo perfil temporal de índice de vegetação, caracterizado por variações mais abruptas da curva, causados por possíveis interferências ou ruídos, como por exemplo, sombra e nuvem.



FIGURA 2. Perfil temporal do índice de vegetação obtido por meio de imagens Landsat8 e Sentinel-2b.

Considerando a curva gerada no segundo perfil (Landsat8 + Sentinel-2b), atentamos para o fato de que os dados referentes aos meses de janeiro e agosto não estão presentes na mesma. O alto índice de nuvens nas datas de obtenção das imagens durante tais meses gerou dificuldades de visibilidade das amostras

selecionadas, incapacitando a geração de seus respectivos NDVIs sem que ocorresse total influência direta em seus valores. Apesar de uma cautelosa seleção de imagens favoráveis para o estudo, puderam ocorrer pequenas influências de nuvens e sombras nos valores gerados. Há uma visível queda de valores que ocorre gradativamente de fevereiro a abril, sofrendo aumento no mês de maio e voltando a cair cada vez mais até setembro. A partir de outubro os valores começam a subir, também gradativamente. A partir dos diferentes perfis gerados, foi possível a comparação dos valores de NDVI obtidos para as áreas selecionadas, considerando as diferentes fontes de dados utilizadas (SATVeg Embrapa e Landsat8 + Sentinel-2b), caracterizada pela Figura 3. Deve-se destacar, a partir da comparação, que não há discrepância significativa de valores médios mensais, sendo que os índices obtidos são bastante semelhantes. Observa-se também que vários índices obtidos a partir do SATVeg são maiores do que os índices obtidos através do Landsat e Sentinel.

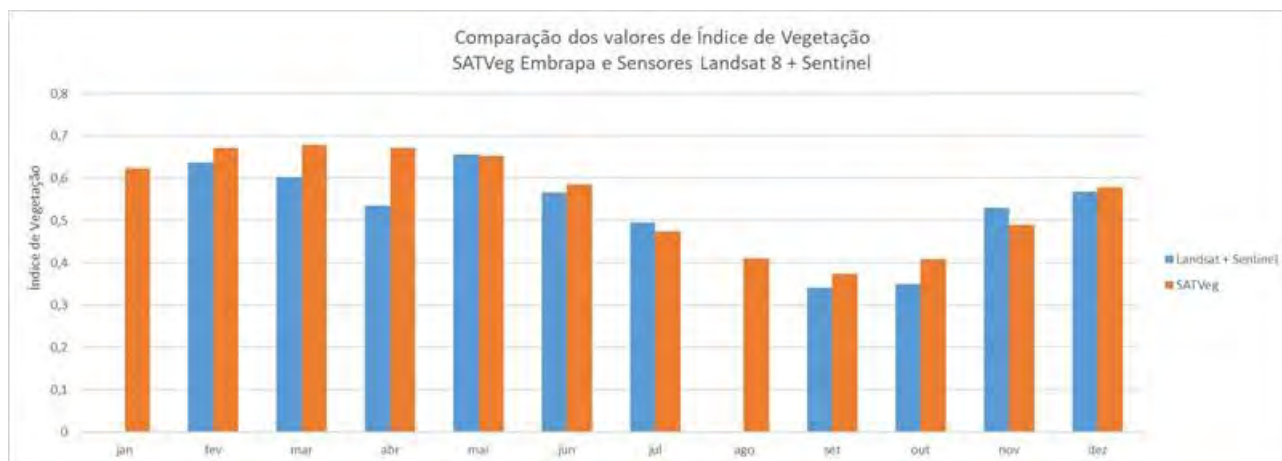


FIGURA 3. Comparação entre os valores de índice de vegetação, considerando as diferentes fontes de dados.

A Figura 4 apresenta quatro perfis temporais de NDVI de talhões individualizados no mesmo período, extraídos a partir de imagens Landsat-8 e Sentinel-2b, permitindo uma análise mais específica dos resultados gerados e uma comparação mais focada entre os diferentes perfis gerados.

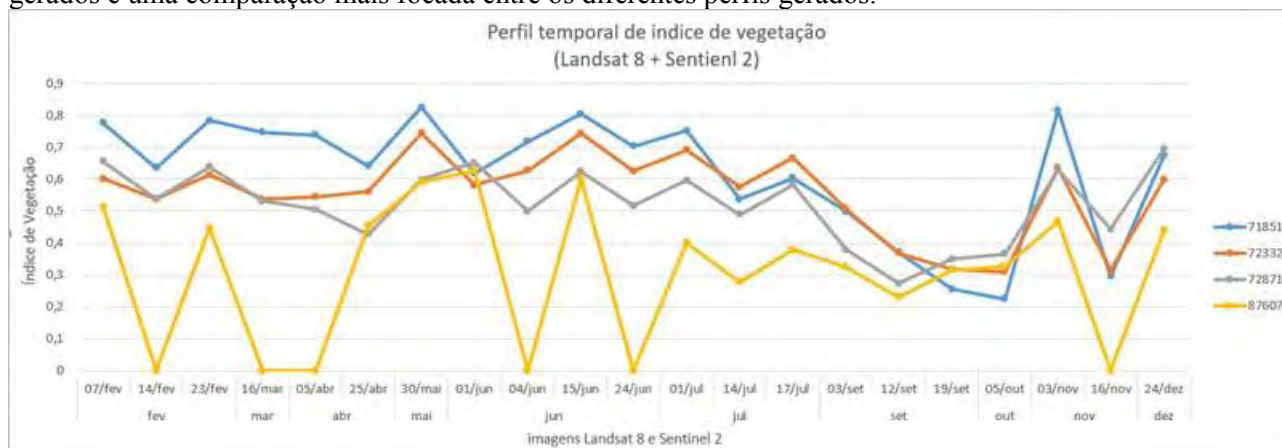


FIGURA 4. Perfil temporal de índice de vegetação em talhões individualizados (Landsat8 e Sentinel-2b).

Percebe-se na Figura 4 a semelhança de comportamento NDVI entre os talhões estudados no decorrer do ano de 2017, apresentando em sua maioria quedas e aumentos concomitantes. O talhão de número 87607 apresentou um comportamento semelhante aos outros ao se considerar os momentos de queda e aumento dos índices, exceto pelas variações abruptas muito altas e diferenciadas em relação aos mesmos, geradas pelos pontos de inflexão presentes curva, que correspondem à presença de nuvens. Considerando a similaridade de resposta entre os produtos mencionados, a Figura 5 apresenta o perfil vegetativo derivado da integração das duas fontes de dados, considerando uma análise média de seus valores.

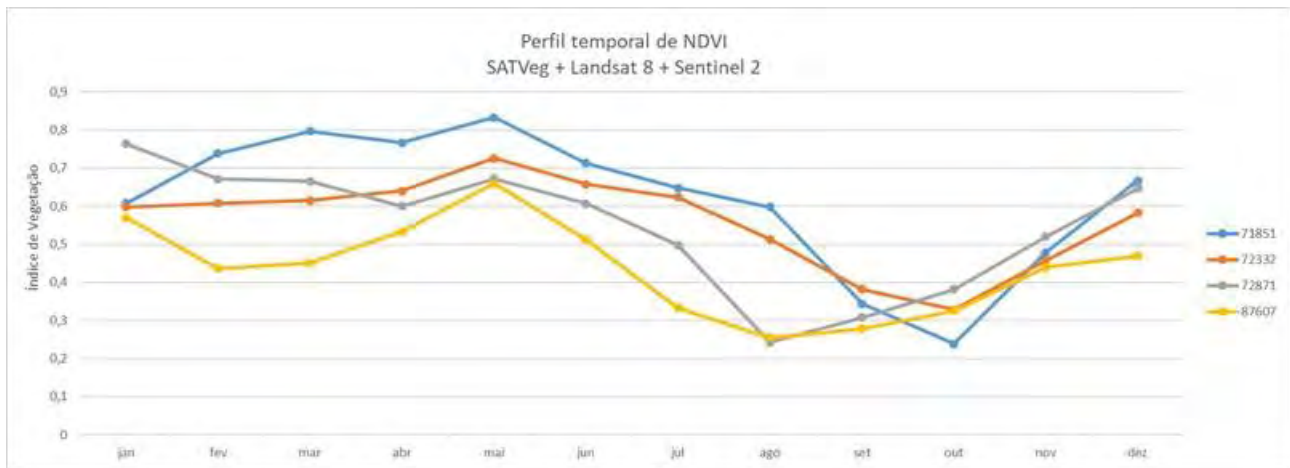


FIGURA 5. Integração entre diferentes fontes de dados. Perfil vegetativo derivado de sensores de média resolução espacial (Landsat8 e Sentinel-2b) e baixa resolução espacial (TERRA E AQUA).

Apesar de algumas diferenças de variação, nota-se de uma forma geral na Figura 5 o comportamento NDVI semelhante entre os talhões estudados ao se utilizar de forma integrada os dados obtidos através do SATVeg com os dados Sentinel-2b, evidenciando a possibilidade de integração dos dados obtidos nas duas diferentes fontes.

**CONCLUSÃO:** Considerando os objetivos apresentados neste trabalho e a metodologia adotada, pode-se concluir que os dados fornecidos pelo produto SATVeg da Embrapa apresentam grande similaridade com as curvas vegetativas extraídas de imagens dos satélites Landsat8 e Sentinel-2b. Desta forma, pode-se considerar a possibilidade destas fontes de dados se complementarem em estudos que abordam a dinâmica temporal do desenvolvimento vegetal, gerando uma maior quantidade de dados para tais estudos e apresentando outras possibilidades de aquisição dos mesmos quando ocorrem interferências, como por exemplo, de nuvens. Assim, o monitoramento das culturas torna-se mais confiável, otimizando e aprimorando a análise temporal e conseqüentemente, garantindo uma melhor qualidade no seu gerenciamento.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos à Fapesp, que por meio do financiamento do projeto de Pesquisa “Sistema de monitoramento remoto de alta frequência para gestão da qualidade do canavial e previsão da produtividade agrícola”, processo número: 2017/08449-8, possibilitou horizontes para o desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- EMPLASA. **Região Metropolitana de Ribeirão Preto.** Disponível em: < <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMRP> > Acesso em: 20 de abril de 2018.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- PONTES, P. P. B. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR).** Goiânia. INPE. p.217 –224. 2005.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 212 p. 2004.
- ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia, MG: EDUFU, 2007.
- ZANZARINI, F.V.; T.C.T, PISSARRA; F.J.C, BRANDÃO; D.D.B TEIXEIRA, 2013. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 608 – 614, 2013.



## ANÁLISE DE ERROS A PARTIR DE RELATÓRIO DE APLICAÇÃO EM TAXAS VARIÁVEIS

GUILHERME RIBAS<sup>1</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>2</sup>, RODRIGO TREVISAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Bolsista IC CNPq, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba, SP., Fone: (11) 991930110, guilherme.ribas@gpribas.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba, SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba, SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A análise de mapas do aplicado ou “as-applied”, de maneira geral, é subutilizada e o potencial dela está no entendimento que para a tecnologia de tratamento localizado necessita-se garantir que as recomendações calculadas sejam aplicadas. A partir das análises desses mapas pode-se aferir as dimensões e distribuições dos erros, fundamentais para o completo entendimento da operação e consequentemente da gestão da variabilidade exercida. No entanto para tais análises são necessários pós processamentos. Neste trabalho objetivou-se a aferição das dimensões dos erros e a identificação de possíveis padrões de sua distribuição. Utilizou-se mapas do aplicado obtidos em distribuição de calcário por duas diferentes máquinas, ambas com dosador volumétrico, em áreas de produção no estado do Mato Grosso, Brasil. A análise dos mapas permitiu a quantificação dos erros e a identificação dos padrões e especificidades de cada equipamento, oferecendo dados para uma possível classificação da qualidade das operações e a criação de possíveis medidas corretivas.

**PALAVRAS-CHAVE:** tratamento localizado; arquivos do aplicado; distribuição de insumos

### ANALYSIS OF ERRORS FROM AS-APPLIED FILES ON VARIABLE RATE APPLICATIONS

**ABSTRACT:** As-applied files analysis is generally underutilized, and its potential lies in the understanding that for localized treatment technology it is necessary to ensure that the calculated recommendations are applied. From the analysis of these files one can measure the dimensions and distributions of the errors, fundamental for the complete understanding of the operation and consequently of the variability management. However, post-processing is required for such analyzes. In this work the objective was to measure the dimensions of errors and identify possible patterns of their distribution. It was used the files of the applied one obtained in limestone distribution by two different machines, both with volumetric metering, in production areas in the state of Mato Grosso, Brazil. The analysis of the files allowed the quantification of the errors and the identification of the standards and specificities of each equipment, offering data for a possible classification of the quality of the operations and the creation of possible corrective measures.

**KEYWORDS:** localized treatment; as-applied files; inputs distribution

**INTRODUÇÃO:** Na agricultura moderna, uma das ferramentas mais utilizadas para o gerenciamento da variabilidade espacial das lavouras é a distribuição de insumos em taxas variáveis (VRT, sigla em inglês). Tal técnica utiliza mapas de recomendação de aplicação, suprindo as necessidades provenientes da variabilidade de cada unidade de produção e equipamentos com a capacidade de alterar a quantia aplicada, conforme as especificações do mapa de prescrição. Os equipamentos que executam essa distribuição utilizam predominantemente mecanismo dosador volumétrico com variação na velocidade da esteira, abertura da comporta ou ambas, controladas por um computador de bordo. Este, gera um arquivo georreferenciado da aplicação conhecido como mapa do aplicado ou “as-applied”. Tal arquivo detalha a dose aplicada estimada, a

partir dos parâmetros aferidos durante a operação e a calibração da máquina, dose recomendada em alguns controladores, entre outras informações. Com a análise dos dados é possível calcular a diferença entre a dose recomendada e a dose aplicada. Essas defasagens entre as doses são reflexos das limitações dos equipamentos, dentre eles, sensíveis alterações nas vazões em curto intervalo de tempo, como demonstrado em SCHUMANN et al. (2006) e CUGATI et al. (2007). Algumas das fontes dessas limitações são estudados em FULTON et al. (2005) e em COLAÇO et al. (2014). De forma geral, esses mapas do aplicado são subutilizados, servindo apenas como simples informes de operação e deixando de lado o grande potencial advindo da análise dos mesmos. Nesse trabalho se propôs avaliar as dimensões dos erros e identificar possíveis padrões de sua distribuição espacial, aprimorando o entendimento sobre as análises desses mapas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** No estudo foram utilizados mapas do aplicado obtidos em operações de distribuição de calcário por duas diferentes máquinas, ambas com dosador volumétrico, em áreas de produção no estado do Mato Grosso, Brasil. A máquina A possuía mecanismo distribuidor por queda livre e o controlador comercial Topper 5500 (Stara, Brasil), já a máquina B possuía distribuidor centrífugo e controlador comercial Envizio Pro (Raven, EUA). A máquina A forneceu três mapas do aplicado referentes à aplicação em três talhões totalizando aproximadamente 676 ha. A máquina B forneceu um mapa referente à aplicação em um talhão, com área aproximada de 164 ha. Para a análise dos mapas o modelo utilizado baseia-se no proposto em COLAÇO et al. (2014), incluindo algumas modificações necessárias. Seguindo o modelo, o erro percentual de aplicação foi calculado em função da Eq. 1 para os valores absolutos e posteriormente realizada a estatística descritiva básica.

$$Ei = \frac{(TAi-TP)}{TP} \times 100 \quad (1)$$

em que:

Ei = erro no ponto i, TAI = taxa aplicada no ponto i, TP = taxa prescrita no ponto i.

Na análise inicial dos dados identificou-se considerável quantia de ruídos, caracterizados por valores elevados de erro, causando grandes distorções nas estatísticas. A fim de reduzir as distorções, fez-se uma limpeza em que os dados com valor de dose aplicada menor a duas vezes a dose recomendada máxima no talhão, foram mantidos (Eq. 2), assumindo que não são dados irreais.

$$Da_{limpa} = Da_{máx} < 2xDr_{máx} \quad (2)$$

em que:

Da<sub>limpa</sub> = dose aplicada sem ruídos, Da<sub>máx</sub> = dose aplicada máxima, Dr<sub>máx</sub> = dose recomendada máxima no talhão.

Após a filtragem ainda existiam ruídos e tendo em vista a natureza do tratamento localizado foi criada uma faixa de erro adicional em relação ao modelo de COLAÇO et al. (2014). Caracterizada por conter erros com valores menores a -100% e valores maiores a 100% e denominada faixa de erros extremos. Configurando 4 faixas de erro: erros extremos de  $-\infty$  a -100% e 100% a  $\infty$ , erros de sub dose de -100% a -10%, erros de superdose de 10% a 100% e erros aceitáveis de -10% a 10%. Para esse trabalho a geração de mapas de erros e as análises estatísticas foram realizadas apenas com os dados nas faixas de erros de sub dose, superdose e aceitáveis, apenas contabilizando os erros da faixa de erros extremos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 estão representadas as características dos talhões e as respectivas máquinas utilizadas. Na coluna “Limpeza” são representadas as porcentagens de dados retirados na filtragem em relação aos dados brutos, na coluna “Erro Extremo” estão representadas as porcentagens de dados que se enquadram nessa faixa em relação aos dados filtrados. Nas demais colunas “Erro Aceitável”, “Erro Sub Dose” e “Erro Superdose” os valores representam a porcentagem de dados que se enquadram dentro de cada faixa em relação aos dados estatisticamente analisados neste trabalho.



TABELA 1. Caracterização dos dados dos talhões e das dimensões das classes de erro.

Talhão	Máquina	Área com dados (ha)	Limpeza (%)	Erro Extremo (%)	Erro Aceitável (%)	Erro Sub Dose (%)	Erro Superdose (%)
1	A	227	0,00	0,70	73,48	24,39	2,13
2	A	233	0,00	1,27	95,45	3,44	1,11
3	A	201	0,07	1,61	94,47	2,08	3,46
4	B	146	0,02	24,43	20,82	41,05	38,13

Na análise dos dados dos talhões, o talhão 4 teve 0,02% dos dados brutos retirados e apresentou 24,43% dos seus dados na faixa de erro extremo. Ainda, em relação ao talhão 4, apenas 20,82% dos dados estavam na faixa de erros aceitáveis, configurando a pior qualidade de operação em relação aos outros talhões. Já no caso dos talhões 2 e 3, ambos apresentaram mais de 90% dos dados na faixa de erros aceitáveis e com quantias pequenas e semelhantes de erros de sub dose e superdose, representando qualidades de operação superiores. A qualidade da aplicação no talhão 1, dentre os outros, pode ser classificada como mediana quanto à qualidade, visto que 73,48% dos dados eram erros aceitáveis e 24,39% dos dados na faixa de sub dose, no entanto com a menor quantia de dados com erros extremos. Na Tabela 2 estão representadas as estatísticas descritivas dos dados brutos e dos dados combinados das faixas de sub dose, superdose e aceitáveis, nas linhas “brutos” e “combinados” respectivamente. Para o cálculo dos índices, todos os valores foram apresentados em módulo. No caso do talhão 1, os índices não diferem sensivelmente quanto aos dados processados e combinados, indicando que para esse conjunto de dados a análise estatística dos dados brutos retornou bons resultados para qualificação da operação. Esse mesmo comportamento aplica-se aos talhões 2 e 3, salvo algumas alterações sensíveis quanto ao valor do coeficiente de variação (CV) entre os processamentos. Ressalta-se o valor médio de erro, que para os talhões 2 e 3 é menor e mediano para o talhão 1, reforçando as análises anteriores. O talhão 4, por sua vez, apresentou considerável diferença entre os índices calculados com os dados brutos e os combinados. O valor máximo de 13.326,00% de erro demonstra o que foi denominado de ruído e a diferença na média calculada de 59,80% é reflexo das distorções causadas nos cálculos, justificando a necessidade de exclusão dos mesmos. Ainda em relação a esse talhão, o valor médio de 35,11% de erro e de 29,00% de mediana corroboram com as análises anteriores de que esse talhão apresentou a menor qualidade de operação. Um aspecto que merece atenção na análise desses dados é o CV, em que nos talhões 1, 2, e 3 apresentaram valores considerados muito altos e no talhão 4, mesmo sendo considerado alto, apresentou o menor valor. Essa diferença entre os valores de CV pode ser explicada em parte pela distribuição dos dados que será explorada posteriormente.

TABELA 2. Estatística descritiva dos dados de erro percentual de todos os talhões.

Talhão	Dados	Mínimo (%)	Média (%)	Mediana (%)	Máximo (%)	Desvio Padrão (%)	CV (%)
1	Brutos	0,00	7,06	1,67	145,00	12,50	176,98
1	Combinados	0,00	6,40	1,61	99,90	9,72	152,00
2	Brutos	0,00	3,27	0,45	164,00	13,11	401,06
2	Combinados	0,00	2,01	0,44	99,54	7,00	347,34
3	Brutos	0,00	5,24	0,59	231,79	19,87	379,07
3	Combinados	0,00	3,22	0,56	99,85	11,73	364,88
4	Brutos	0,00	94,91	43,00	13.326,00	250,96	264,41
4	Combinados	0,00	35,11	29,00	99,00	26,61	75,80

Nos histogramas de erro (Figura 1) dos talhões 1, 2 e 3 observa-se a maior frequência de dados concentrados na parte negativa e próximos ao valor 0. A análise visual desses histogramas corrobora com as análises estatísticas em que o talhão 1 apresenta maior quantia de dados fora da faixa de erros aceitáveis em relação aos talhões 2 e 3. No caso do talhão 4, observou-se a maior distribuição dos erros pelas faixas de erro, assemelhando-se a uma distribuição normal.

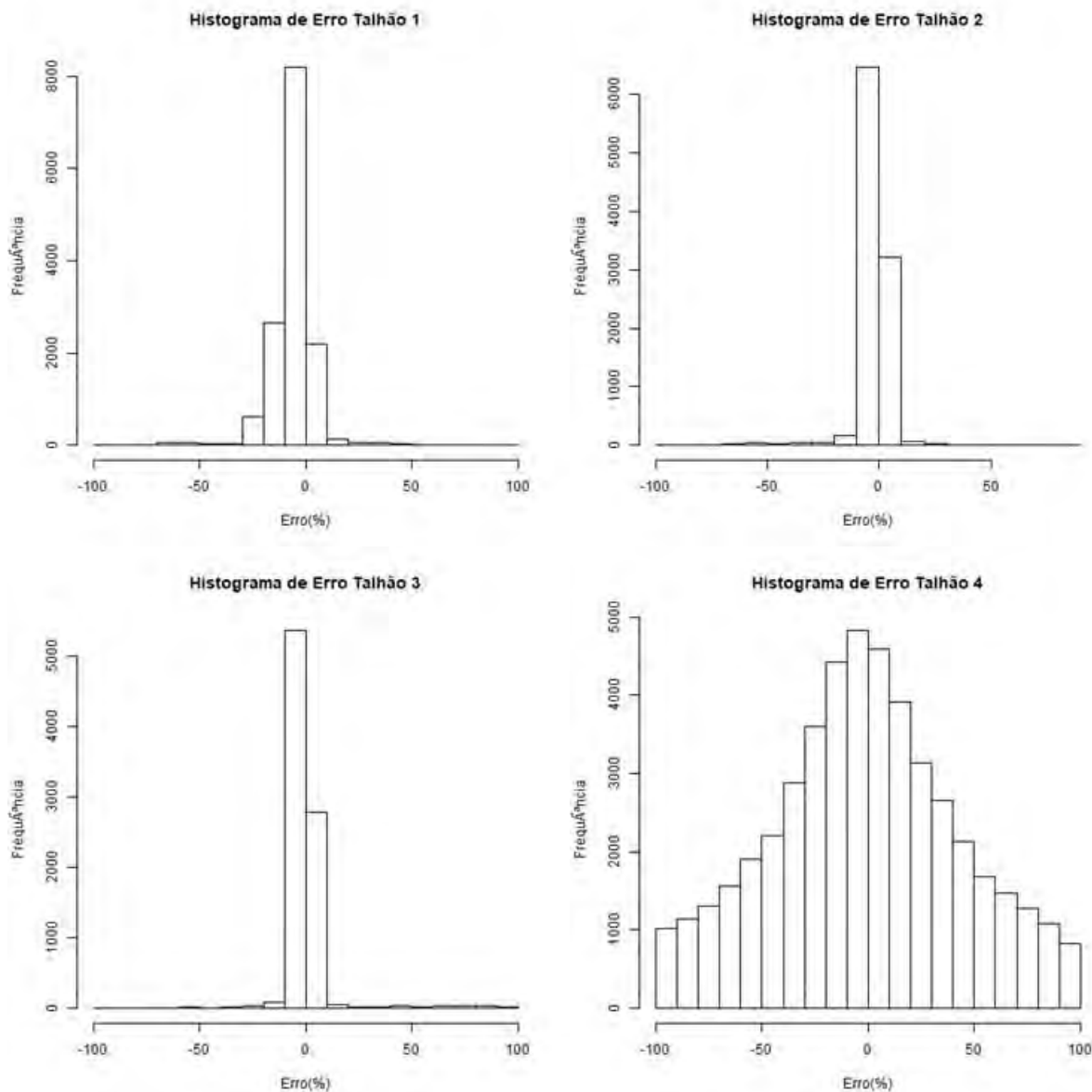


FIGURA 1. Histogramas dos erros dos conjuntos de dados analisados.

Na análise dos mapas de erro dos talhões 2 e 3 (Figuras 3 e 4) observou-se a presença predominante da faixa de erros de sub dose nas porções interiores dos talhões e de maneira linear. Já as faixas de erros de superdose apresentaram-se nas porções mais externas dos talhões (bordaduras) e de maneira pontual. Esse comportamento pode indicar um padrão de distribuição espacial dessas faixas de erro, assumindo que majoritariamente os erros de sub dose ocorrem de maneira consecutiva e os erros de superdose majoritariamente ocorrem de maneira pontual, nas bordaduras. No mapa do talhão 1 (Figura 2) observa-se o mesmo comportamento para os erros das faixas de superdose, no entanto para os erros das faixas de sub dose há a coincidência espacial com a porção de menor dose recomendada segundo o mapa de recomendação. No mapa do talhão 4 (Figura 5) observa-se a grande quantidade de dados de todas as faixas de erro e sem aparente padrão de distribuição, corroborando com todas as análises anteriores.

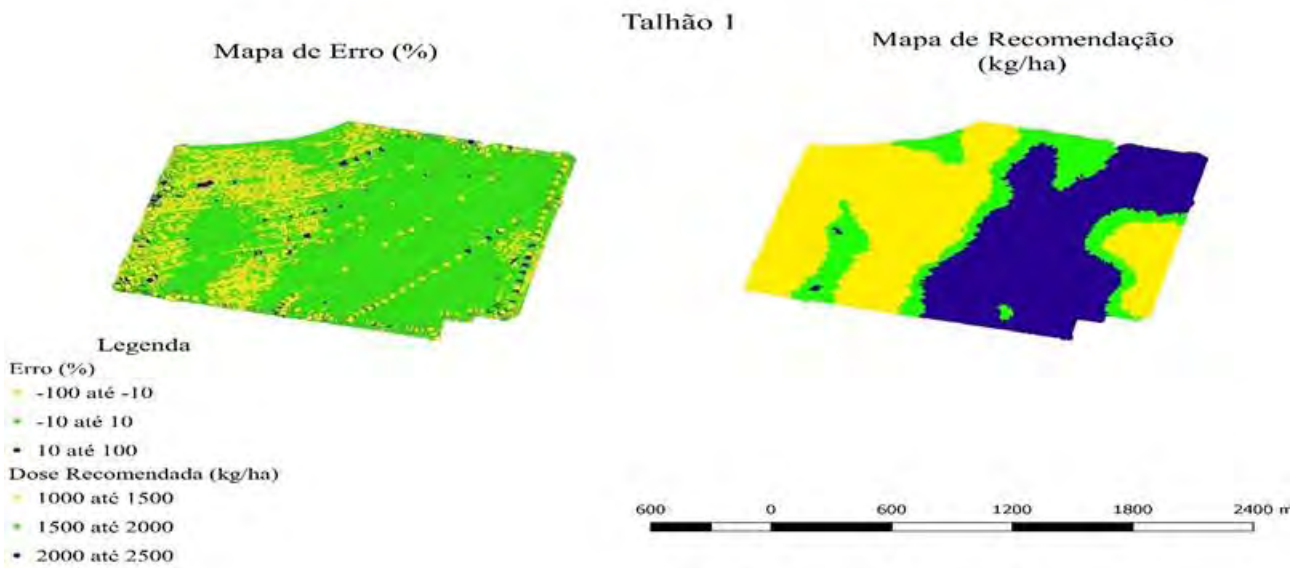


FIGURA 2. Mapa de erro e recomendação talhão 1.

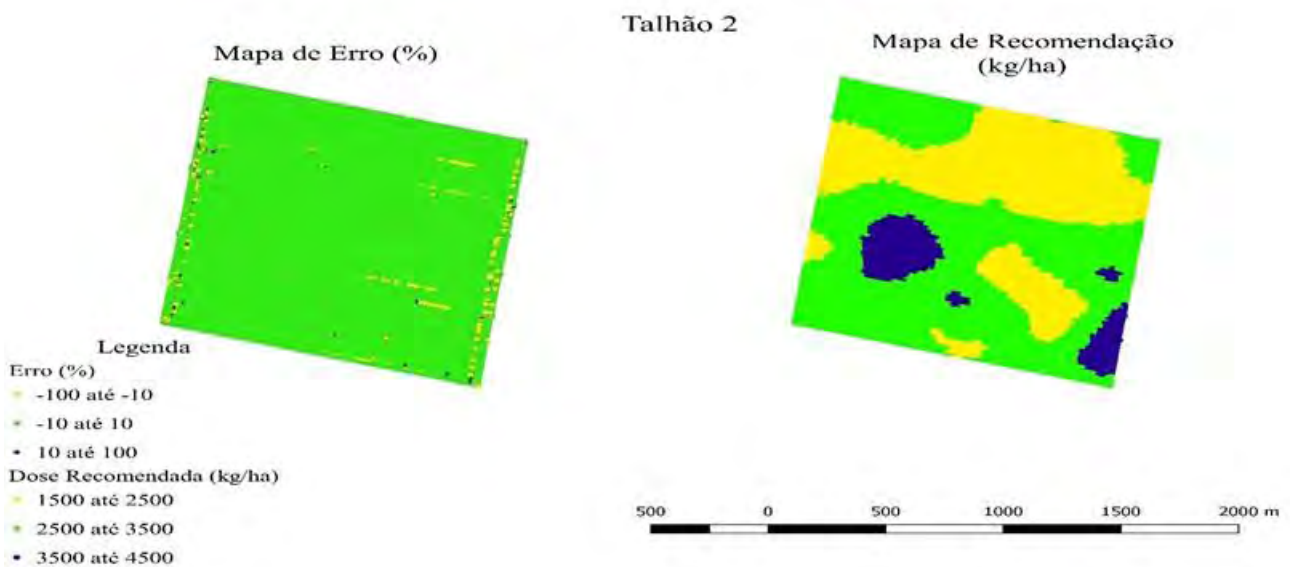


FIGURA 3. Mapa de erro e recomendação talhão 2.

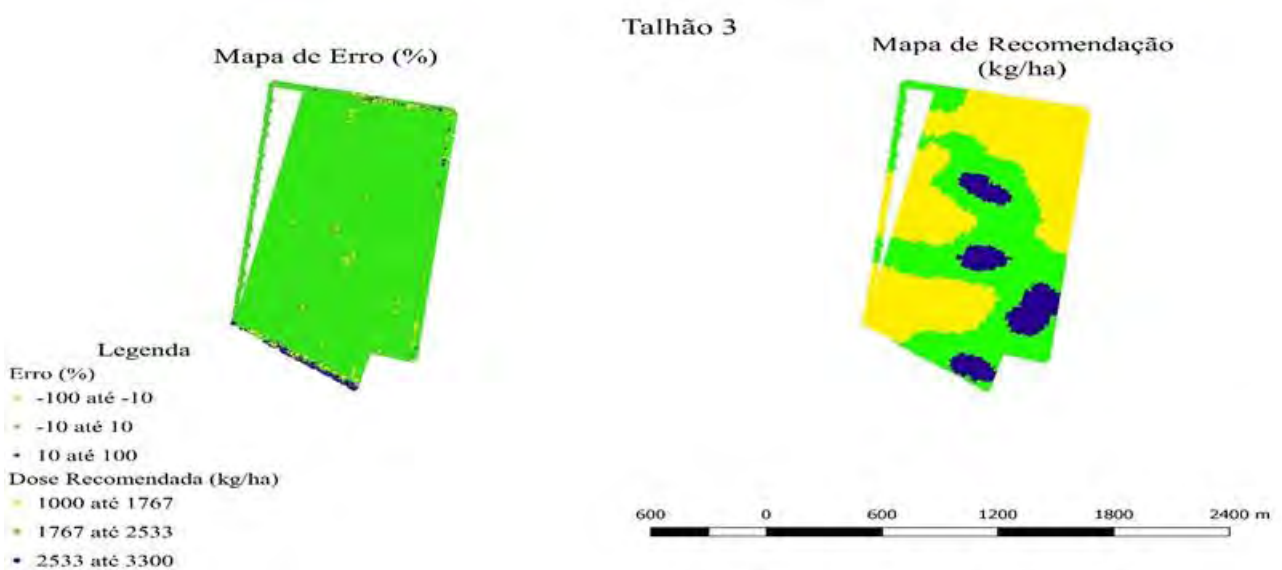


FIGURA 4. Mapa de erro e recomendação talhão 3.

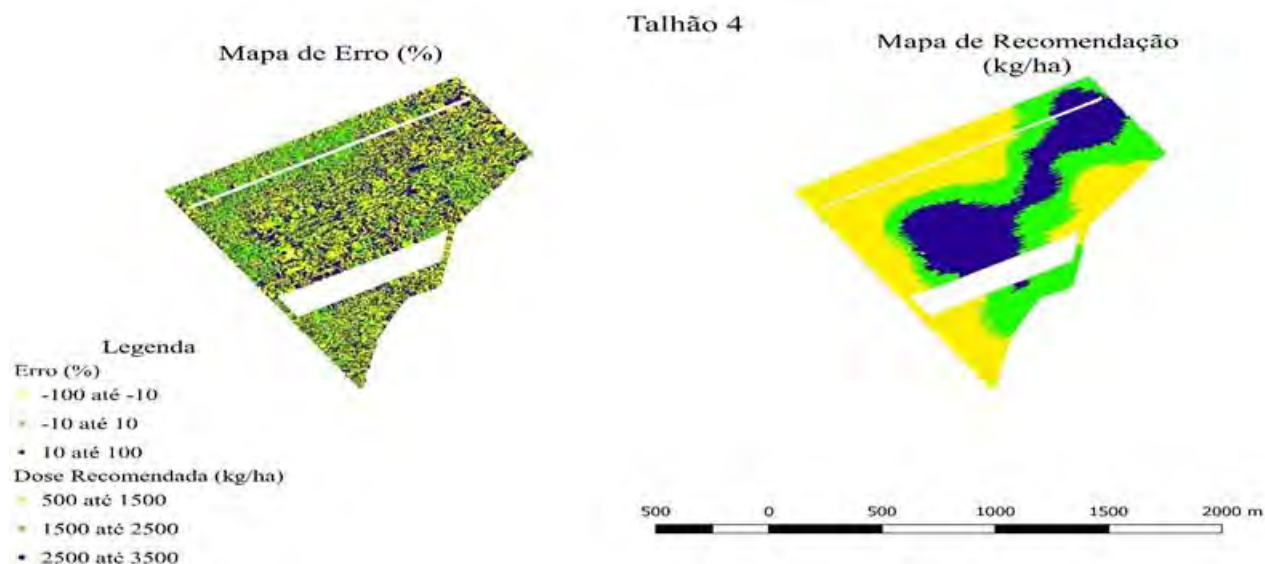


FIGURA 5. Mapa de erro e recomendação talhão 4.

As análises desses dados e dos mapas forneceram parâmetros sobre a operação, que permitem quantificar a qualidade global e identificar de maneira espacial os erros e suas classificações. Como apontado por MOLIN et al. (2015), essas informações permitem um entendimento mais aprofundado da operação, tornando possível propor intervenções corretivas a fim de melhorar a gestão da variabilidade espacial, principal objetivo da agricultura de precisão.

**CONCLUSÃO:** Diante da análise dos arquivos do aplicativo foram identificados ruídos nos dados coletados e para cada talhão uma distribuição específica dos erros. Para os talhões 2 e 3 essas distribuições foram mais semelhantes, com erros de sub dose nas porções internas, erros de superdose nas porções externas e erros aceitáveis representando mais de 90% dos dados. O talhão 1 diferiu em relação à quantidade de dados de erros aceitáveis, no entanto apresentou o mesmo comportamento de espacialização dos erros de sub e superdose. No caso do talhão 4 a distribuição dos erros diferiu tanto a espacialização quanto a quantidade, evidenciando sensível diferença quanto a qualidade da operação comparada às demais.

## REFERÊNCIAS

- COLAÇO, A. F.; DE ANDRADE ROSA, H. J.; MOLIN, J. P. A model to analyze as-applied reports from variable rate applications. *Precision agriculture*, v.15, n.3, p.304-320, 2014.
- MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. Agricultura de precisão. *Oficina de Textos*, 2015.
- FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; HIGGINS, S. F.; DARR, M. J.; STOMBAUGH, T. S. Rate response assessment from various granular VRT applicators. *Transactions of the ASAE*, v. 48, n. 6, p. 2095-2103, 2005.
- SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M.; ZAMAN, Q. U.; HOSTLER, K. H.; BUCHANON, S.; CUGATI, S. Variable rate granular fertilization of citrus groves: Spreader performance with single-tree prescription zones. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 22, n. 1, p. 19-24, 2006.
- CUGATI, S.; MILLER, W. M.; SCHUELLER, J. K.; SCHUMANN, A. W.; BUCHANON, S. M.; HOSTLER, H. K. Benchmarking the dynamic performance of two commercial variable-rate controllers and components. *Transactions of the ASABE*, v. 50, n. 3, p. 795-802, 2007.

## **ANÁLISE DE PARÂMETROS DE VOOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA GERAÇÃO DE ORTOMOSAICO PARA CAFEICULTURA**

**LUANA MENDES GONÇALVES<sup>1</sup>, BRENON DIENNEVAN SOUZA BARBOSA<sup>2</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERAZ<sup>3</sup>, DIEGO BEDIN MARIN<sup>4</sup>, ALAN DELON ANDRADE<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Mestranda em Engenharia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG, Fone: (035) 3829.4566, luanna\_mendess@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, UFLA, Lavras – MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental e Sanitário, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Imagens de alta resolução obtidas por meio de plataformas aéreas mais próximas ao alvo, como as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), estão sendo estudadas para aplicações em diversas culturas, principalmente pela flexibilidade de obtenção das imagens bem como o detalhamento dos ortomosaicos. O objetivo deste estudo foi analisar as configurações (Sobreposição de imagens) e especificações técnicas (velocidade de voo) de uma RPA com câmera convencional embarcada para produzir ortomosaicos com aplicações em cafeicultura de precisão. O estudo foi realizado em uma área de lavoura cafeeira, localizada no município de Lavras, Minas Gerais. Os ortomosaicos foram obtidos a partir de imagens capturadas por uma RPA com câmera convencional digital embarcada. Foram testados 3 planos de voos com sobreposições lateral e longitudinal distintas. Utilizou-se um software baseado na técnica de Structure from Motion (SfM) para geração do ortomosaico e software de geoprocessamento para as análises referentes a qualidade do mosaico. As configurações e especificações avaliados foram satisfatórios para a geração do mosaico. Foi observado que maiores sobreposições apresentam melhor precisão e qualidade, porém o tempo de processamento é maior. A velocidade avaliada de até 6 m.s<sup>-1</sup> para a área de estudo e para as sobreposições de 70/40 % e 80/50 %, longitudinal e lateral respectivamente, resultaram em borrões nos ortomosaicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sobreposição, Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas, Café.

### **ANALYSIS OF FLIGHT PARAMETERS OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT IN THE GENERATION OF ORTOMOSAIC FOR COFFEE FIELD**

**ABSTRACT:** High resolution images obtained through platforms closer to the target, such as Remotely Piloted Aircraft (RPA), are being studied for applications in several cultures, mainly for the flexibility of obtaining the images as well as the detailing of the orthomosaick. The objective of this study was to analyze the configurations (image overlap) and technical specifications (flight speed) of a RPA with a conventional on-board camera to produce ortomosaick for applications in precision coffee. The study was carried out in an area of coffee plantations, located in the municipality of Lavras, Minas Gerais. The orthomosaick were obtained from images captured from a RPA with conventional digital camera on board. Tested 3 planes of flights with different overlap. A software based on Structure from Motion (SfM) technique was used to generate ortomosaic and geoprocessing software for mosaic quality analyzes. The tests of the parameters for orthomosaick acquisition for coffee cultivation were satisfactory. It was possible to observe that the greater overlap present better precision and quality, but the processing time is higher. In addition, velocities of up to 6 m.s<sup>-1</sup> for this area and for overlays of 70/40 % and 80/50 %, longitudinal and lateral respectively, resulted in blurs in the orthomosaick.

**KEYWORDS:** Overlap, Unmanned Aircraft System (UAS), Coffee.

**INTRODUÇÃO:** A Cafeicultura de Precisão segundo Ferraz et al. (2012), é definida como conjunto de técnicas e tecnologias que tem por objetivo auxiliar o manejo de lavouras cafeeiras, baseando-se na variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, buscando maximizar a rentabilidade, aumentar eficiência da adubação, pulverização e colheita, resultando na elevação da produtividade e qualidade final do produto. Atualmente tem-se realizados estudos a partir de plataformas mais próximas ao alvo; conhecidas também como Aeronaves Remotamente Pilotadas (Remotely Piloted Aircraft-RPA), drones, VANT, ARP; sendo possível obter imagens de alta resolução com estas plataformas. Alguns estudos mostram que essas imagens são importantes, pois além de detalhar podem detectar variações no campo (ZHANG; KOVACS, 2012; TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014), na qual um homem por si só teria que percorrer a lavoura com muita atenção a fim de identificar alguma anomalia. Além do ganho em precisão, o mapeamento com imagens de alta resolução espacial permite extrair parâmetros importantes da planta, como: altura, diâmetro de copa, espaçamento, detectar padrões e áreas homogêneas, separar e quantificar plantas daninhas, fazer inspeções de anomalias na lavoura com uma visão aérea, tendo respostas de campo com mais rapidez por meio de uma imagem, facilitando manejos e intervenções na lavoura. Trabalhos como estes aplicados à Cafeicultura de Precisão estão ainda em sua infância (WHITEHEAD e HUGENHOLTZ, 2014). Estudos relacionados a cafeicultura foram realizados para monitoramento e mapeamento de capim-colonião em lavoura cafeeira (HERWITZ et al., 2004) e para monitoramento da maturação do fruto, e avaliar o período inicial da colheita das lavouras cafeeiras (JOHNSON et al., 2004). Sendo assim, objetivo deste estudo foi analisar as configurações e especificações técnicas de uma RPA multirotor com câmera convencional embarcada para produzir ortomosaicos precisos para aplicações em cafeicultura de precisão.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em uma área de lavoura cafeeira pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA), implantada no setor da cafeicultura da Agência de Inovação do Café, - INOVACAFÉ, no município de Lavras, Minas Gerais. Para realização do estudo, utilizou-se uma Aeronave Pilotada Remotamente (Remotely Piloted Aircraft- RPA), com plataforma de asa rotativa, modelo Phantom 4 Advanced, com quatro hélices (quadricóptero), contendo quatro motores alimentados por uma bateria, tendo aterrissagem e decolagem vertical, autonomia de voo de 30 min e Gimbal para estabilização da câmera, amortecimento e correção da orientação da fotos durante a obtenção em voo. A RPA utilizada possui uma câmera convencional digital embarcada, sensor CMOS com resolução de 20 megapixel em cores verdadeiras (Red, Green, Blue – RGB), lente de 24mm com abertura ótica de f/2.8 – f/11. As imagens capturadas foram armazenadas em cartão SD acoplado na aeronave. Os voos foram planejados utilizando o aplicativo DroneDeploy (2018), aplicativo gratuito instalado em um smartphone com sistema operacional android, sendo configurando a rota, velocidade, altura de voo e sobreposição entre imagens (FIGURA 1 e TABELA 1).



FIGURA 1. Plano de voo planejados no aplicativo DroneDeploy. A- Plano de voo 1. B- Plano de voo 2. C- Plano de voo 3

TABELA 1. Parâmetros de voo para análise de geração de ortomosaico para aplicações em Cafeicultura de Precisão. .

Parâmetros	Plano voo 1	Plano voo 2	Plano voo 3
Sobreposição Longitudinal	70%	80%	80%
Sobreposição Lateral	40%	50%	80%
Altitude de Voo	30 m	30 m	30 m
Velocidade de voo	6 m.s <sup>-1</sup>	6 m.s <sup>-1</sup>	6 m.s <sup>-1</sup>
Tempo estimado de voo	3 min 19 s	4 min 39 s	7 min 20 seg

Para o processamento das imagens utilizou-se um computador com processador Intel® Core™ i5- 3470 CPU @ 3.20GHz com memória RAM de 4 GB, sistema operacional 64 bit. Utilizou-se o software baseado na técnica conhecida como Structure from Motion (SfM), na qual permite a obtenção de nuvens de pontos por processamento de imagem, este software identifica nas imagens sobrepostas, pontos homólogos e cria uma região contínua por estereoscopia, formando a nuvem de pontos, e seguindo um fluxo de trabalho cria a nuvem de pontos densa, a partir desta nuvem densa foi possível criar o ortomosaico como produto final do processamento, sendo possível obter análises visuais das imagens e elaboração de layout dos mapas em software de Geoprocessamento.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Por meio de uma análise visual dos ortomosaicos resultantes dos diferentes parâmetros testados, percebe-se que houve diferenças entre os mosaicos gerados. Tais diferenças visuais podem comprometer as análises de acordo com o objetivo pretendido. Apesar da alta resolução espacial do ortomosaico (0,008 m) para os três ortomosaicos, tanto a FIGURA 2A quanto a B não ficaram tão nítidas quanto a FIGURA 2C, tal distorção pode ser atribuída a à iluminação incidente, entretanto para fins de segmentação de imagens, análises visuais, aplicação de alguns índices, separação e quantificação de linha e entre linhas das imagens, obtenção de Modelos Digitais de Elevação (MDE), extração de alturas de plantas ambos os mosaicos são úteis. A FIGURA 2C recebeu radiação solar fora do ângulo zenital no qual estava posicionada a câmera, isso pode ter favorecido uma maior nitidez na imagem, porém também favoreceu aparecimento de sombras, e de acordo com Bater et al. (2011), as imagens de câmera RGB são fortemente influenciadas por mudanças de iluminação horária, diárias e sazonais, assim recomenda-se padronizar o período de obtenção das imagens entre 12 a 13 horas para obter imagens no período de maior luminosidade na área. Já Mesas-Carrascosa et al. (2016) recomenda que as imagens sejam obtidas quando o sol estiver na posição zenital no local, para assim evitar sombras. Neste estudo as imagens foram coletas entre 12 e 14 horas. As sombras em imagens deste tipo podem prejudicar geração de MDE, levando a uma subestimativa de valores e altura de plantas, por exemplo, como alguns resultados encontrados pelos autores Moorthy et al. (2011) e Panagiotidis et al. (2016).

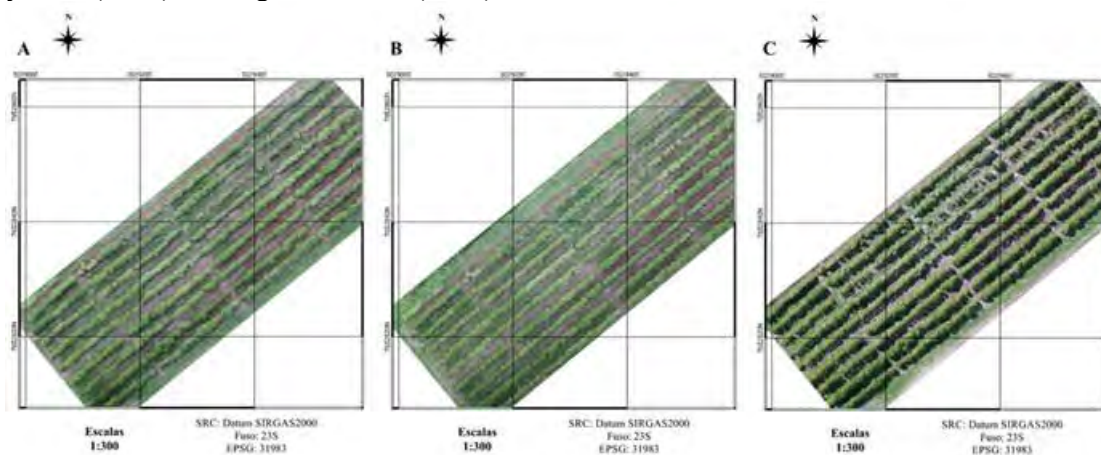


FIGURA 2. Ortomosaicos resultantes dos parâmetros diferentes testados. A- Ortomosaico obtido do plano voo 1. B- Ortomosaico obtido do plano voo 2. C- Ortomosaico obtido do plano voo 3

Na FIGURA 3 (A, B, C), ao visualizar a mesma planta nos três ortomosaicos processados pode-se perceber algumas variações nas imagens. Na FIGURA 3A, o ortomosaico apresentou borrões, isso deve-se a sobreposição pequena comparado com os outros dois levantamentos realizados, ao utilizar a sobreposição de 70% na longitudinal e 40% na lateral, capta-se menos fotos, como a aeronave estava programada para uma velocidade de até 6 m.s<sup>-1</sup> possibilitou que ela atingisse velocidades maiores, comparado com os outros dois planos de voos, dando este efeito nas imagens. Esta sobreposição foi recomendada por Siebert e Teizer (2014), em uma avaliação de modo geral o ortomosaico gerado por esta sobreposição pode ser considerado bom, porém o parâmetro velocidade deve ser observado com maior atenção no planejamento do voo. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, para uma área de tamanho semelhante, recomenda-se usar velocidade menores que 6 m.s<sup>-1</sup> para obtenção de imagens sem borrões, com estas sobreposições (70%, 40%).



FIGURA 3. Detalhamento dos ortomosaicos resultantes dos parâmetros diferentes testados. A- Ortomosaico obtido do plano voo 1. B- Ortomosaico obtido do plano voo 2. C- Ortomosaico obtido do plano voo 3.

Na FIGURA 2B, o ortomosaico construído com sobreposição de 80% e 50% longitudinal e lateral respectivamente, apresentou pequenos borrões devido à velocidade de voo ( $6 \text{ m.s}^{-1}$ ). Na FIGURA 2C, o ortomosaico foi construído com a maior sobreposição testada, segundo Mesas-Carrascosa et al. (2016) a sobreposição é uma fator que interfere na precisão e qualidade final do produto, sendo observada na imagem. Por ter alta sobreposição, a aeronave estava sujeita a fazer várias manobras para recobrir toda área com uma sobreposição alta, sendo assim a aeronave não conseguiu chegar a  $6 \text{ m.s}^{-1}$  de velocidade, tendo que desacelerar constantemente para obter imagens na sobreposição configurada, funcionando com velocidade média de  $3 \text{ m.s}^{-1}$ .

Na TABELA 2 está descrito o resumo do processamento dos ortomosaicos, quanto maior a sobreposição melhor a precisão e a qualidade, porém maior será o tempo de processamento, sendo necessário avaliar o objetivo do estudo e a necessidade da sobreposição adequada. O tempo de processamento é ainda um problema enfrentado para obtenção de produtos obtidos por meio de RPA, segundo Nex e Remondino (2014), o tempo para realizar plano de voo e o levantamento das imagens é de 25% já para processamento é de 60%.

TABELA 2. Resultado do processamento dos ortomosaicos no software PhotoScan.

	Plano 1	Plano 2	Plano 3
Quantidade de fotos	25	57	135
Tempo estimado de processamento	1 h 25 min 15 s	1 h 3 min 19 s	13 h 35 min 13 s
Resolução espacial	7.73 mm/pix	7.56 mm/pix	7.54 mm/pix
Área imaginada	0,91 ha	0,91 ha	0,91 ha

Apesar da demanda computacional, estudos utilizando RPA para diversas culturas estão sendo realizados com resultados satisfatórios (HERWITZ et al., 2004; JOHNSON et al., 2004; PANAGIOTIDIS et al., 2016) as vantagens de utilização de câmeras e sensores embarcadas em RPA são: imagens com maior resolução espacial (cm/mm) e maior resolução temporal, obtenção de imagens com maior flexibilidade operacional quando comparado à aeronaves tripuladas e satélites, possibilita obtenção de parâmetros biofísicos de culturas de forma mais eficiente comparado com coletas manuais em campo, além de um melhor detalhamento da lavoura. Sendo assim, estudos como estes, acerca de configurações e especificações técnicas de planejamento de voos são importantes para embasar trabalhos futuros sobre a utilização deste tipo de plataforma mais próximo aos alvos.

**CONCLUSÃO:** Os parâmetros avaliados para aquisição de ortomosaico para a cafeicultura foram satisfatórios. Quanto maior as sobreposições entre imagens, melhor precisão e qualidade no produto final (ortomosaico), porém o tempo de processamento é maior. Velocidade de voo de até  $6 \text{ m.s}^{-1}$  para esta área e para as sobreposições de 70 % - 40 % e 80 % - 50 %, longitudinal e lateral respectivamente, resultaram em borrões nos ortomosaicos.

**AGRADECIMENTOS:** A UFLA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SISU/MEC/PET pelo no desenvolvimento deste estudo.



## REFERÊNCIAS

- BATER, C. W.; COOPS, N. C.; WULDER, M. A.; HILKER, T.; NIELSEN, S. E.; MCDERMID, G.; STENHOUSE, G. B. Using digital time-lapse cameras to monitor species-specific understorey and overstorey phenology in support of wildlife habitat assessment. **Environmental monitoring and assessment**, v. 180, p. 1-13, 2011.
- DRONEDEPLOY. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/> Acessado em: março de 2018.
- FERRAZ, G. A. S.; DA SILVA, F. M.; CARVALHO, L. C.; ALVES, M. D. C.; FRANCO, B. C. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 140-150, 2012.
- HERWITZ, S. R.; JOHNSON, L. F.; DUNAGAN, S. E.; HIGGINS, R. G.; SULLIVAN, D. V.; ZHENG, J.; SLYE, R. E. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.44, p.49-61, 2004.
- JOHNSON, L. F.; HERWITZ, S. R.; LOBITZ, B. M.; DUNAGAN, S. E. Feasibility of monitoring coffee field ripeness with airborne multispectral imagery. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, p. 845-849, 2004.
- MESAS-CARRASCOSA, F. J.; NOTARIO GARCÍA, M. D.; MEROÑO DE LARRIVA, J. E.; GARCÍA-FERRER, A. An analysis of the influence of flight parameters in the generation of unmanned aerial vehicle (UAV) orthomosaics to survey archaeological areas. **Sensors**, v.16, p-1838-1852, 2016.
- MOORTHY, I.; MILLER, J. R.; BERNI, J. A. J.; ZARCO-TEJADA, P.; HU, B.; CHEN, J. Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n.2, p. 204-214, 2011.
- NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied Geomatics**, v.6, p.1-15, 2014.
- PANAGIOTIDIS, D., ABDOLLAHNEJAD, A., SUROVÝ, P., & CHITECULO, V. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.3, p.2392-2410, 2017.
- SIEBERT, S.; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, v.41, p.1-14, 2014.
- TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, 103, 104-113, 2014.
- WHITEHEAD, K.; HUGENHOLTZ, C. H. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. **Journal of Unmanned Vehicle Systems**, v. 2, p. 69-85, 2014.
- ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693-712, 2012.

## **ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS POR CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO**

**RENAN FABRÍCIO DOS SANTOS<sup>1</sup>, JOSÉ AUGUSTO PINHEIRO DE MORAES<sup>2</sup>, JOSÉ RUBENS DOMINGOS GONÇALVES<sup>3</sup>, JOSÉ VITOR SALVI<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Tecn<sup>o</sup> Mecatrônica, Aluno Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC, Pompéia – SP, Fone: (14) 99688.3300, tecn.renan.santos@gmail.com

<sup>2</sup> Aluno Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC, Pompéia – SP, Fone: (15) 99774.1929, augustoapmoraes@hotmail.com

<sup>3</sup> Aluno Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC, Pompéia – SP, Fone: (14) 99686.7285, jrubensgoncalves@hotmail.com

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof<sup>o</sup> Depto. Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC, Pompéia – SP, Fone: (14) 99613.4315, jvsalvi@folha.com.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com a evolução tecnológica os equipamentos e recursos estão sendo implementados nas máquinas agrícolas, aumentando assim a confiabilidade dos dados coletados durante as operações. Objetivou-se com este trabalho realizar um estudo de caso avaliando o consumo de combustível em um processo de semeadura para elaboração de indicadores. Foi utilizada uma área de plantio de milho onde três conjuntos de máquinas trator e semeadora realizaram o processo de semeadura. Os dados coletados durante a operação foram extraídos e processados, os resultados levantados mostram o consumo e demanda de potência de cada máquina estudada no percurso de plantio, verificou-se uma variação do consumo de combustível em decorrência da carga do esforço do motor para manter a velocidade constante, concluindo que a máquina 2 teve um consumo 9% maior em relação as demais máquinas, 6,2% acima com relação ao consumo médio obtido durante o processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise de dados; consumo de combustível; gestão agrícola.

### **ANALYSIS OF FUEL CONSUMPTION OF AGRICULTURAL MACHINES BY STATISTICAL CONTROL OF THE PROCESS**

**ABSTRACT:** With the technological evolution the equipment and resources are being implemented in the agricultural machines, thus increasing the reliability of the data collected during the operations. The objective of this work was to carry out a case study of the fuel consumption in a sowing process for the elaboration of indicators. A corn plantation area was used where three sets of tractor and seeder machines performed the sowing process. The data collected during the operation were extracted and processed, the results show the consumption and power demand of each machine studied in the planting course, a variation of the fuel consumption was verified due to the load of the engine to maintain the constant speed. In conclusion, the machine 2 had a 9% higher consumption than the other machines, 6.2% higher than the average consumption obtained during the process.

**KEYWORDS:** data analysis; fuel consumption; agricultural management.

**INTRODUÇÃO:** Os avanços em soluções de tecnologias embarcadas ganham espaço em máquinas agrícolas com sistemas eletrônicos e, segundo BALASTREIRE (2000), a partir de 1990 houve grande implementação de eletrônica na agricultura, com a implantação de sistemas suportando tecnologias cada vez mais confiáveis, além de apresentar resistência às intempéries e alta precisão. Os computadores de bordo das máquinas agrícolas registram medidas (tais como temperatura, velocidade e posição geográfica) em uma estrutura que possa ser transmitida em um único fluxo de dados (via armazenamento externo ou telemetria) e, uma vez recebido, o fluxo de dados é separado nos componentes medidos originalmente para que possa então ser analisado (NETO 2010). Deste modo, é importante ter dados dos processos e máquinas para planejar as atividades e, segundo VIEIRA & BRIZOLLA (2009), o estudo das operações agrícolas, levando-

se em conta a capacidade de trabalho e a eficiência de campo, visa a racionalizar o emprego das máquinas, implementos e ferramentas na execução dos trabalhos. Assim, é conveniente determinar o comportamento das máquinas em operação, observando de maneira mais rigorosa detalhes como o consumo de combustível, a velocidade da operação e largura de trabalho da máquina (SICHONANY 2012). Segundo HUNT (1995), “o gerenciamento do maquinário agrícola é a área que tem por interesse a otimização dos estágios mecanizados da produção, cujos princípios são: seleção, operação, manutenção e reposição da maquinaria. O acompanhamento sistemático do desempenho de máquinas agrícolas e os cálculos dos seus custos operacionais são fatores fundamentais para seu uso racional”. Este trabalho tem como objetivo analisar dados de consumo de combustível em um processo de semeadura para determinação de valores de referência em operações futuras.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em uma área produtiva no qual estava sendo instalada uma cultura de milho, situada no município de Sebastião Leal – PI, sob as coordenadas geográficas 7°30'12.08"S e 44°11'53.88"O, onde foram utilizados três (03) tratores New Holland modelo T8.385 com potência nominal de 340cv (250 kW) podendo alcançar 370cv (272 kW) na potência máxima, contando com tecnologia de direção automática Intellisteer™ com monitor IntelleView™ IV e sinal de correção CenterPoint RTX Trimble, sendo acopladas três (03) semeadoras Horsch Maestro SW de 36 linhas com espaçamento de 0,5m, na quais os conjuntos trabalharam simultaneamente com um operador em cada conjunto. A área utilizada para estudo contém 286 hectares, nos quais foi contada a quantidade de 144 linhas pelo sentido Norte/Sul sendo separadas pelas máquinas que realizaram o processo. Os dados para estudo foram coletados após a operação de semeadura de milho, e desligadas, nesta operação, duas linhas de cada lado do implemento operando com 32 linhas, e os dados extraídos por uma unidade de armazenamento externo USB. O processamento, a exportação e análises dos dados obtidos foram realizadas pelos programas PLM Software Trimble Navigation Limited e pela planilha eletrônica Microsoft Office Excel (Microsoft) e analisados através de estatística descritiva obtendo-se o consumo médio, mediana e desvio padrão ( $\sigma$ ) com base dos cálculos de Montgomery, D. C. (2004, p. 148). Foi determinado o consumo teórico de combustível conforme demonstrado em ASABE (2011) utilizando o fator de consumo de 0,163 L cv<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. O consumo de combustível real foi obtido pelo módulo eletrônico de controle de injeção do motor, calculado com base na rotação do motor vinculado com a quantidade de miligramas de diesel por ciclo do motor. O consumo médio foi correlacionado com a demanda de potência exigida durante a operação e a velocidade de trabalho. Os dados da rede CAN foram processados no software PLM Software Trimble Navigation Limited.

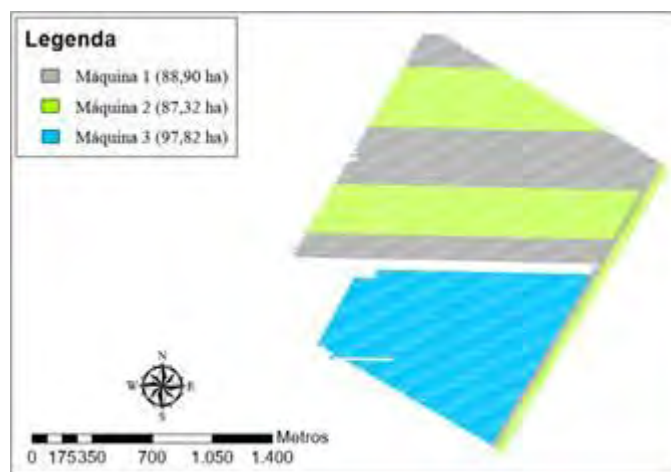
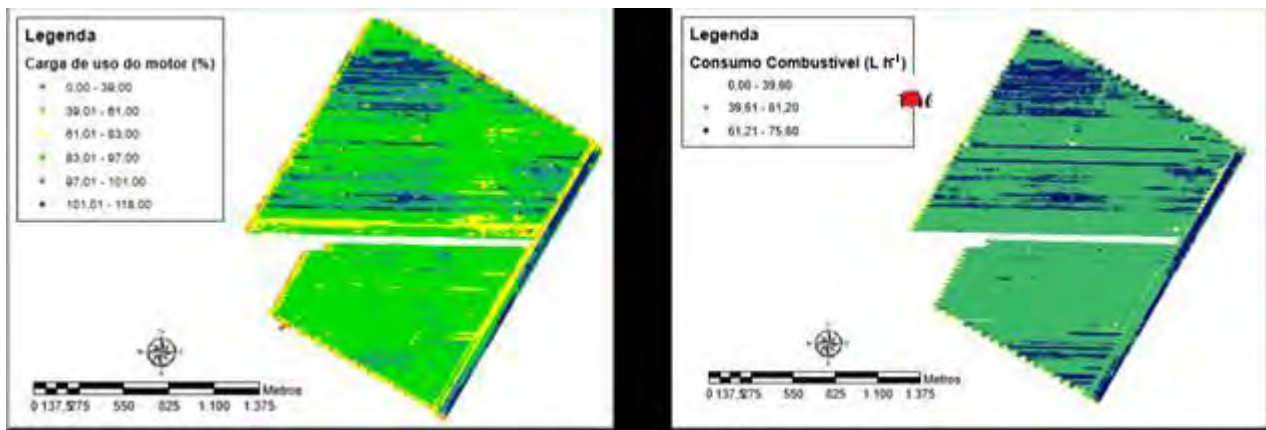


FIGURA 1. Área com distribuição de linhas plantadas com distinção por máquinas trabalhadas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 1 destaca as máquinas 1, 2 e 3 bem como as suas áreas de trajeto dentro do talhão, já as Figuras 1 e 2, trazem mapas de percurso dos conjuntos em função da carga de esforço do motor e o consumo de combustível no talhão por meio dos dados coletados pela rede CAN das máquinas e posteriormente processados no software PLM Software Trimble Navigation Limited. Conforme mostram as Figuras 2 e 3, são perceptíveis manchas no mapa ao longo do percurso que podem ser comparadas com a Figura 3 que remete ao conjunto trator semeadora correspondente. Nota-se que houve diferença entre o consumo de combustível e demanda de potência.



FIGURAS 1 e 2. Mapa de consumo de potência de motor do trator e mapa de consumo de combustível.

TABELA 1. Resultado dos consumos de combustível em relação à porcentagem utilizada do motor e velocidade desenvolvida.

Variáveis	Trator NH T8.385 - Semeadora Horsch Maestro SW		
	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3
Número de Passadas	42,00	40,00	62,00
Número de pontos	21636,00	20973,00	23675,00
Distância percorrida (m)	55566,19	54583,66	61139,70
Tempo total (s)	21769,60	21165,40	23896,60
Média de consumo combustível (L h <sup>-1</sup> )	55,04	60,36	55,85
Coefficiente de Variação (%)	15,98	8,03	14,83
Desvio Padrão (σ) (L h <sup>-1</sup> )	4,00	2,83	3,85
Velocidade média de trajeto (km h <sup>-1</sup> )	9,15	9,21	9,07
Utilização de potência do motor (%)	88,23	95,91	88,37
Média de consumo combustível (L ha <sup>-1</sup> )	4,02	4,29	3,97
Coefficiente de Variação (%)	0,31	0,10	0,11
Desvio Padrão (σ) (L ha <sup>-1</sup> )	0,55	0,32	0,33

Os resultados levantados na Tabela 1 levantam que as máquinas obtiveram uma variação entre o consumo médio de 56,87 L h<sup>-1</sup>, sendo determinada como a linha central para o gráfico de médias, apresentando uma amplitude de 21,99 L h<sup>-1</sup> entre os valores 45,43 L h<sup>-1</sup> a 67,42 L h<sup>-1</sup>.

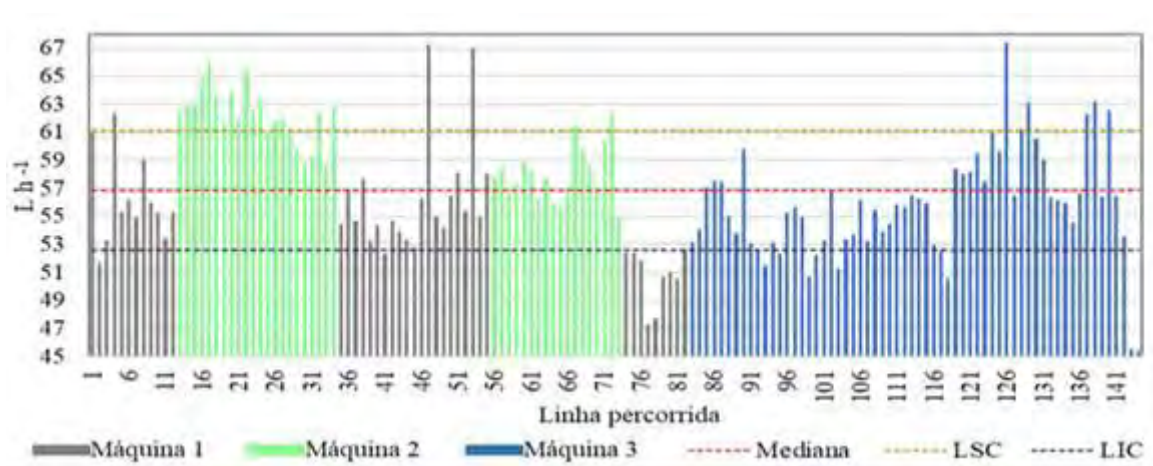


FIGURA 4. Gráfico de consumo de combustível por linha percorrida em litros por hora.

A Figura 5 representa a correlação entre o consumo de combustível e a demanda de potência dos motores por linha percorrida durante a operação de plantio.



FIGURA 5. Gráfico de consumo de combustível em litros por hora e demanda de potência em percentual dos motores.

No percurso do plantio dado pelas 143 linhas, verificou-se que houve uma variação do consumo de combustível em função da carga de esforço dos motores, afim de preservar a velocidade e eficiência proposta para o processo, conforme mostra a Figura 5, assim, o que ocasionou uma variação da solicitação de potência entre 305cv a 333cv necessários para manter uniformes as velocidades que oscilaram entre 9 à 9,5 km.h<sup>-1</sup>, onde a média global registrada foi 9,14 km.h<sup>-1</sup>, conforme a apresenta a Figura 6.

A Figura 6 representa o consumo de combustível e a velocidade de trabalho durante a operação de plantio.

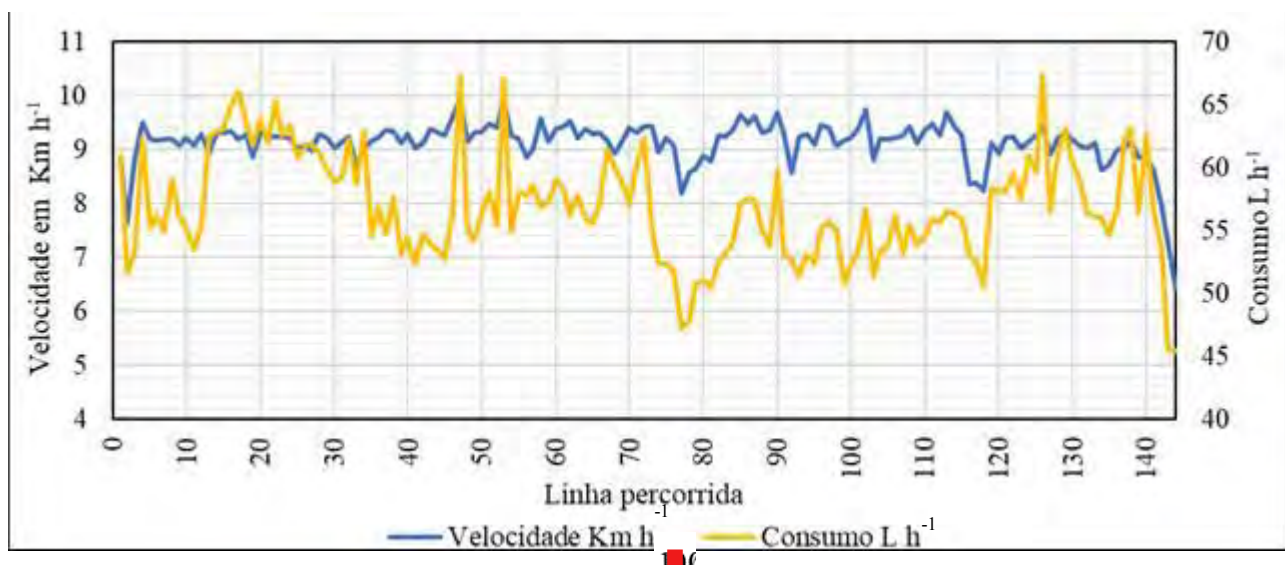
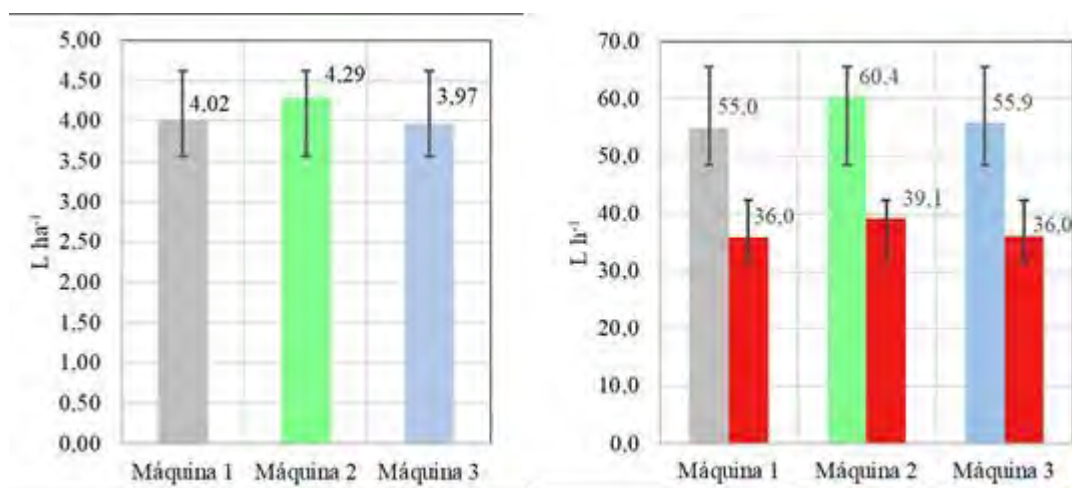


FIGURA 6. Gráfico de consumo de combustível em litros por hora e velocidade média.

Assim, as variações da relação velocidade e carga solicitada ao motor foram maiores na máquina 2 em decorrência de uma maior carga de utilização do motor, conforme mostra a Figura 5, chegando a ultrapassar de 340cv (nominal) em alguns pontos, dados na Figura 3, com tendências casuais de aumentos de velocidade, demonstrado na Figura 6. As figuras 7 e 8 mostram o consumo de combustível das máquinas por hectare e o gráfico de consumo de combustível em litros por hora.



FIGURAS 7 e 8. Gráficos de consumo de combustível em litros por hectare e o gráfico de consumo de combustível em litros por hora.

**CONCLUSÃO:** O processo de semeadura obteve um consumo médio de combustível de 56,9 L h<sup>-1</sup> e 4,1 L ha<sup>-1</sup>, onde a máquina 2 atingiu um consumo mais alto em relação às demais máquinas, 6,2% acima com relação ao consumo médio tendo um consumo de potência 8,6% maior, tendo consumido em média 326cv do motor, 3,12 % do percurso total com sobrecarga acima de 100% de utilização do motor, mantendo uma singularidade em velocidade média de tráfego de 9,14 km h<sup>-1</sup> em suas respectivas áreas trabalhadas.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos ao Grupo Progresso Agroindustrial por ceder os dados para realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- BANCHI, A.D.; LOPEZ, J.R.; ROCCO, G.C. **Uso anual e consumo de combustível em frotas agrícolas.** Revista Agrimotor, São Paulo, n.39, p.8-10, 2008
- BALASTREIRE, LUIZ ANTONIO. **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil.** ed. Piracicaba, SP: L.A. Balastreire, p. 224, 2000.
- HUNT, D.R. **Farm power and machinery management.** 9.ed. Ames: Iowa University Press, 1995. 365 p.
- MILAN, M. e ROSA, J. H. M. **Planejamento e dimensionamento de sistemas mecanizados.** 2004.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4ª Ed., p. 148., 2004.
- NETO, J. M. **Proposta de um padrão para a comunicação de dados em sistemas de telemetria em web services.** Universidade do Itajaí, UNIVALI. 2010.
- SICHONANY, O. R. A. O. **Telemetria na transmissão de dados de desempenho de máquinas agrícolas utilizando tecnologias GSM/GPRS e ZigBee.** 2012.
- SOFFNER, R.K.; MILAN, M.; RÍPOLI, T.C.C. **Gerenciamento global de sistema agrícola em unidades sucroalcooleiras através de programação linear.** Stab - Açúcar, Alcool e Derivados, Piracicaba, v.11, n.5, p.16-20, 1993.
- VIEIRA, E.P.; BRIZOLLA, M.M. **A influência da mecanização da atividade agrícola na composição do custo de produção.** 2009.

## ANÁLISE OPERACIONAL DA SISTEMATIZAÇÃO DOS TRAJETOS DE PLANTIO DE CANA DE AÇÚCAR PARA APLICAÇÃO DE SISTEMA DE DIREÇÃO AUTOMÁTICA

JOSÉ VITOR SALVI<sup>1</sup>, GABRIEL FOGLIENI ENGELMANN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, Prof., Fatec “Shunji Nishimura”, Pompeia – SP, Fone: (14) 3452-1294; josevitorsalvi@gmail.com

<sup>2</sup> Tecnólogo em Mecanização em Agricultura de Precisão, Fatec “Shunji Nishimura”, Pompeia – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A utilização dos equipamentos e técnicas da agricultura de precisão no setor sucroalcooleiro vem aumentando com o intuito de se obter uma sistematização no canavial. Esta sistematização busca um melhor aproveitamento da área através da diminuição dos erros no paralelismo entre linhas, diminuição nos números de manobras e aumento do comprimento médio das fileiras, gerando, conseqüentemente, uma redução no custo de produção final. Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo, desenvolver a análise operacional dos trajetos das máquinas no processo de plantio de cana de açúcar. Para avaliar os benefícios da sistematização no canavial, foram utilizados os dados da empresa agrícola “A” e comparados em 3 áreas. Sobre as referidas áreas, estabeleceu-se um paralelo entre o plantio manual mapeado, realizado em 2011, com o projeto para o plantio que foi realizado em 2017. Por meio de cálculos de custo, eficiência, capacidade de campo operacional e capacidade de produção operacional, obteve-se os resultados que mostraram que a sistematização das áreas reduziu as manobras em até 50%, geraram um impacto positivo de até 15% na eficiência e uma redução de custo em até 14,25%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manobras, Eficiência Operacional, Custo Operacional

### OPERATIONAL ANALYSIS OF SYSTEMS OF PLANTING TRAJETS FOR PLANTING SUGARCANE USING AUTOMATIC GUIDANCE SYSTEM

**ABSTRACT:** The use of precision farming equipment and techniques in the sugar and alcohol sector has been increasing with the aim of obtaining a systematization in the cane field. This systematization seeks to make better use of the area by reducing errors in the parallelism between lines, a decrease in the numbers of maneuvers and an increase in the average length of the rows, thus generating a reduction in the final production cost. Therefore, the present work has as objective, to develop the operational analysis of the trajectories in the process of planting of sugar cane. In order to evaluate the benefits of systematization in the cane field, the data from the agricultural company "A" were used and a comparison was made between three areas. On these areas, a parallel was established between the manual plantation mapping, carried out in 2011, with the plantation to be planted in 2017. Through calculations of cost, efficiency, operational field capacity and operational production capacity, the results showed that the systematization of the areas reduced maneuvers by up to 50%, generated a positive impact of up to 15% on efficiency and a cost reduction of up to 14.25%.

**KEYWORDS:** Maneuvers, Operational Efficiency, Operational Cost

**INTRODUÇÃO:** As máquinas responsáveis pelos manejos de plantio, cultivo e colheita das culturas comerciais, que formam um conjunto de equipamentos denominado de sistema mecanizado agrícola, e podem ser apontadas como um ponto crucial para se trabalhar na redução de custos, uma vez que esse sistema pode corresponder de 20 a 40% dos custos totais da produção (PACHECO, 2000). De acordo com Baio e Moratelli (2011), o avanço da mecanização no setor sucroalcooleiro estimula os processos de agricultura de precisão, gerando uma diminuição do uso de insumos e nos custos com a produção de etanol. Segundo os mesmos autores, a utilização dessas tecnologias guiadas por satélites são capazes de contribuir

na otimização do parque de máquinas, reduzindo assim, os conjuntos mecanizados necessários para uma operação definida. O tamanho e formato dos talhões influenciam diretamente na eficiência das operações em campo. Assim o planejamento das linhas de plantio na área, tem um impacto positivo, ajudando no aumento de eficiência das máquinas agrícolas, passadas ou rotas no campo podendo otimizar custos e tempo. (SPEKKEN; BRUIN, 2013). De acordo com Baio (2007), a falta de regularidade entre o espaçamento das linhas em cana-de-açúcar, é a causa fundamental de danos na cana nos anos seguintes, gerados pelo pisoteio da colhedora. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi realizar por meio de um estudo de caso, a análise operacional e econômica da sistematização dos trajetos de plantio de cana-de-açúcar para a aplicação do sistema de direção automática.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para a realização da análise operacional dos trajetos de plantio de cana-de-açúcar, foram utilizados dados referentes a processos de colheita de uma empresa agrícola “A” no período entre 2011 e 2017, considerando as áreas a serem implantadas. As áreas estão situadas no interior do Estado de São Paulo. As áreas analisadas possibilitaram um comparativo entre o plantio manual mapeado, realizado em 2011 chamado de “sem sistematização”, com o projeto de plantio realizado em 2017, este chamado de “com sistematização”. Assim, os principais indicadores comparados foram: número de manobras por hectare e eficiência operacional. Foram avaliados 3 talhões (Tabela 1) com áreas semelhantes, totalizando 101,53 ha de área analisada. Os valores adotados para o cálculo de tempo gasto com manobra foram levantados pela equipe da empresa agrícola, totalizando 90 segundos, tanto para a colhedora quanto para o conjunto trator e transbordo.

TABELA 1. Parâmetros das áreas de estudo.

Talhão	Área (ha)	Espaçamento entre Fileiras (m)	Largura Efetiva das Máquinas (m)	Tempo unitário manobra colhedora (h)	Tempo conjunto trator-transbordo (h)
1	32,21				
2	32,68	2,4	2,4	0,025	0,025
3	36,64				
<b>Total</b>	<b>101,53</b>				

Fonte: Autores, por meio dos dados da empresa agrícola

Os dados são provenientes de operações de colheita realizadas no campo para os anos de 2011 e de planejamentos através do software AutoCad para o ano de 2017. Os projetos de sistematização foram elaboradas pela empresa, levando em consideração parâmetros de declividade do terreno e do tipo de solo. Para análise dos dados referente as linhas de 2011 e 2017, utilizou-se o software QGIS, pelo qual, foi possível avaliar o comprimento das linhas, quantidade de manobras e as demais informações necessárias para o desenvolvimento desse trabalho. Para se avaliar o impacto dos custos por ciclo, foram realizados o levantamento dos dados de produtividade e velocidade de trabalho, pois há uma variação na capacidade de campo efetiva no decorrer do ciclo, devido a maior produtividade nos primeiros cortes e um decréscimo no decorrer do ciclo (Tabela 2).

TABELA 2. Parâmetros de capacidade de campo e de produção efetivas.

Variáveis	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Média Ciclo
Produtividade Canavial (t ha <sup>-1</sup> )	120	100	80	65	55	84
Velocidade de Trabalho (km h <sup>-1</sup> )	1,2	2,5	3,5	4,5	6,5	3,64
Capacidade de Campo Efetiva (ha h <sup>-1</sup> )	0,28	0,60	0,84	1,08	1,56	0,87
Capacidade de Produção Efetiva (t h <sup>-1</sup> )	33,6	60,0	67,2	70,2	85,8	73,08

Fonte: Autores, por meio dos dados da empresa agrícola

As variáveis consideradas para o desenvolvimento do trabalho (Tabela 3), foram formadas a partir de informações reais obtidas da empresa agrícola considerando 1 colhedora e 2 conjuntos trator + transbordo. Os valores para determinação do Custo Operacional foram calculados através da divisão do custo horário (Custo fixo + Custo Variável) pela capacidade de campo operacional, de acordo com o descrito por Molin; Milan (2002).



TABELA 3. Variáveis utilizadas para o cálculo dos custos.

Variáveis	Colhedora	Trator + Transbordo
Valor de Aquisição - VI (R\$)	1.000.000,00	600.000,00
Valor Residual (% de VI)	35	25
Vida útil (anos)	5	10
Vida útil (horas)	12.000	12.000
Horas Trabalhadas Anuais	2.400	1.200
Juros (%)	8,75	8,75
Alojamento, Seguro e Taxas – AST (% de VI)	1	2
Fator de Reparos e Manutenção (% de VI)	85	90
Consumo de Combustível (L h <sup>-1</sup> )	40	12
Valor Combustível (R\$ L <sup>-1</sup> )	3	3
Salário Mensal Operador (R\$)	2.500,00	2.500,00
Encargos do Salário (%)	45	45

Fonte: Autores, por meio dos dados da empresa agrícola

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As áreas utilizadas para os comparativos foram os talhões 1 com 32,23 ha (Figura 1), talhão 2 com 32,68 ha (Figura 2) e o talhão 3 com 36,64 ha (Figura 3). Em todos os casos, pode-se verificar que o número de manobras por hectare sofre uma redução, fazendo com que a máquina esteja mais tempo em trabalho, tendo assim um ganho na eficiência operacional.

Variáveis	Sem Sistematização	Com Sistematização
Área (ha)		32,21
Número de fileiras (unidades)	611,00	452,00
Metros lineares de fileiras por hectare (m)	6.654,20	8.668,50
Comprimento médio de fileiras por hectare (m)	350,82	617,78
Número de manobras (unidades)	640,00	451,00
Número de manobras por hectare (unidades)	18,94	14,00
Tempo trabalhado (h)	58,89	76,71
Tempo de manobras (h)	15,25	11,28
Tempo total (h)	74,14	87,99
Eficiência Operacional (%)	0,79	0,87

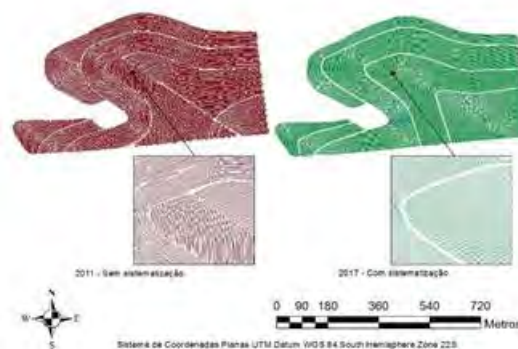


FIGURA 1. Cálculo da eficiência operacional para o talhão 1 e comparativo das linhas de plantio nos anos de 2011 e 2017.

No talhão 1 (Figura 1), teve uma redução de 29,53% em número de manobras por área total e uma redução de 26,08% por hectare. Percebe-se que o tempo de trabalho teve um acréscimo de 30,27%, isso é devido a sistematização do talhão que gerou um aumento do comprimento médio das linhas e uma diminuição no tempo gasto com manobra, pois como pode-se ver na Figura 1, as linhas no centro do talhão não eram interligadas. Assim com um maior percurso para se percorrer e com uma redução nas manobras tem-se um aumento no tempo trabalhado. A eficiência operacional nesta área saltou de 0,79% para 0,87%. Na área do talhão 2 (Figura 2) as diferenças não foram de grande impacto como nos outros cenários, mesmo assim foi possível ter uma redução em número de manobras na área total em torno de 9,41%. Obteve-se um aumento no comprimento médio das fileiras em 32,04 metros e ganho de 1% na eficiência operacional.

Variáveis	Sem Sistematização	Com Sistematização
Área (ha)	32,68	
Número de fileiras (unidades)	404,00	366,00
Metros lineares de fileiras por hectare (m)	3.874,80	3.869,10
Comprimento médio de fileiras por hectare (m)	313,45	345,49
Número de manobras (unidades)	403,00	365,00
Número de manobras por hectare (unidades)	12,33	11,17
Tempo trabalhado (h)	34,78	34,73
Tempo de manobras (h)	10,08	9,13
Tempo total (h)	44,86	43,86
Eficiência Operacional (%)	0,78	0,79

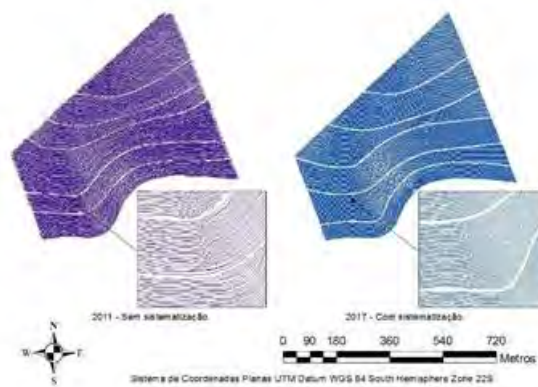


FIGURA 2. Cálculo da eficiência operacional para o talhão 2 e comparativo das linhas de plantio nos anos de 2011 e 2017.

Analisando o talhão 3 (Figura 3), nota-se que a diferença nos índices avaliados entre a área sem sistematização com a área sistematizada, foi de grande destaque. A redução no número de manobras por hectare caiu 50,74%, gerando um ganho na eficiência operacional em 14 pontos percentuais e reduzindo o tempo de trabalho nesta área em 18,84%. Apesar da diminuição brusca no número de manobras, o comprimento médio da linha em metros sofreu uma diminuição de 0,61% se comparado com a área de 2011, essa diferença não afetou negativamente a sistematização, tendo em vista que a eficiência operacional para esta área subiu 14%.

Variáveis	Sem Sistematização	Com Sistematização
Área (ha)	36,64	
Número de fileiras (unidades)	890,00	439,00
Metros lineares de fileiras por hectare (m)	3.860,10	3.836,60
Comprimento médio de fileiras por hectare (m)	141,43	140,57
Número de manobras (unidades)	889,00	438,00
Número de manobras por hectare (unidades)	24,26	11,95
Tempo trabalhado (h)	38,85	38,62
Tempo de manobras (h)	22,23	10,95
Tempo total (h)	61,08	49,57
Eficiência Operacional (%)	0,64	0,78

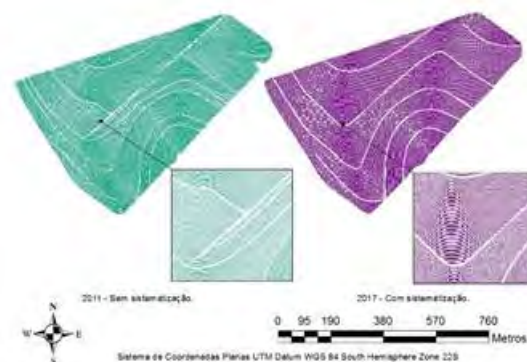


FIGURA 3. Cálculo da eficiência operacional para o talhão 3 e comparativo das linhas de plantio nos anos de 2011 e 2017.

Como se pode ver nas tabelas comparativas entre as áreas, as que são sistematizadas proporcionaram em todos os cenários, uma diminuição no número de manobras a serem realizadas. Respectivamente essa diminuição de manobras contribuirá para um menor tempo total de trabalho em campo, aumentando assim a eficiência e a capacidade de campo operacional ( $ha\ h^{-1}$ ). Como cada ciclo opera a uma velocidade distinta dos outros, devido ao fluxo de massa que se é colhido, foram calculados os impactos dessas reduções em números de manobras para cada ciclo de colheita, para melhor visualização no custo operacional e no custo total no final de todos os ciclos. Na Figura 4 observa-se a comparação dos custos operacionais médios de todos os ciclos em reais por toneladas para cada talhão. As áreas 1, 2 e 3 que foram implantadas com a sistematização em 2017, apresentam uma redução nos seus custos operacionais de 7,79%, 1,94% e 16,12% respectivamente.



FIGURA 4. Custo médio total dos ciclos referente aos talhões analisados em reais por tonelada.

Na Tabela 4, é possível acompanhar a redução do número de manobras, o impacto gerado na eficiência operacional e o impacto causado no custo operacional tanto por hectare quanto em reais por tonelada de cana-de-açúcar. Para efeito de comparação entre os modelos sem sistematização e com sistematização, utilizamos a média calculada através dos 5 ciclos, conforme Tabela 2.

TABELA 4. Percentual de impacto sobre o número de manobras, eficiência operacional e custo por área.

Talhão	Área (ha)	Impacto no número de manobras/hectare	Impacto na eficiência operacional	Impacto no custo operacional (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Impacto no custo operacional (R\$ t <sup>-1</sup> )
1	32,21	- 26,08 %	+ 8 pontos percentuais	79,45	0,94
2	32,68	- 9,41 %	+ 2 pontos percentuais	11,39	0,13
3	36,64	- 50,73 %	+ 15 pontos percentuais	190,72	2,25

Por meio da análise dos dados, foi gerado um gráfico comprovando que nessas três áreas analisadas, a diminuição do número de manobras impactou diretamente no custo operacional, fazendo com que o mesmo tenha um decréscimo, resultante do aumento da eficiência operacional (Figura 5).

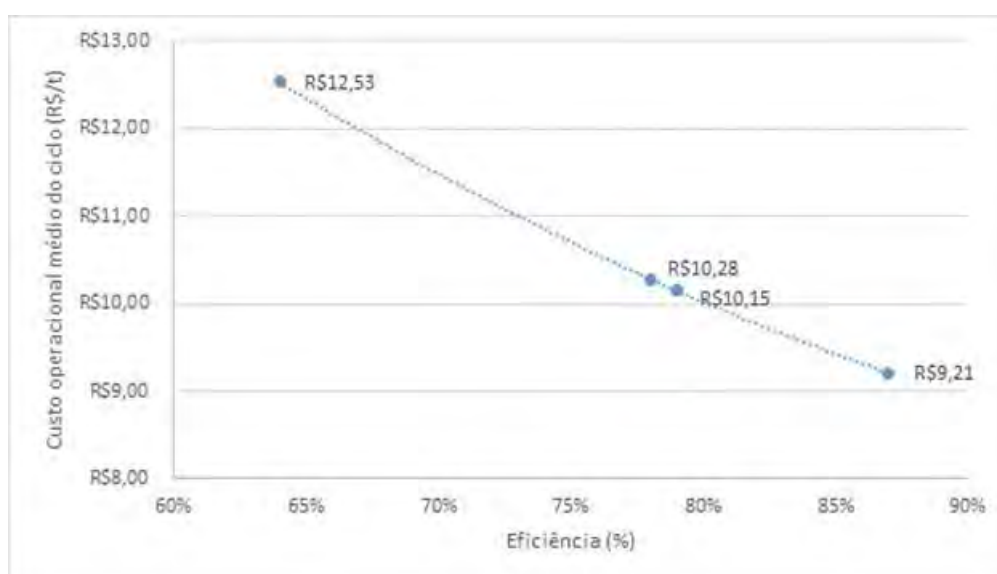


FIGURA 5. Impacto da eficiência no custo operacional médio por ciclo.

As análises operacionais dos trajetos de plantio foram avaliados pelo impacto na diferença do número de manobras, comprimento médio das fileiras e eficiência operacional. A Figura 6 mostra o impacto da sistematização no custo médio por ciclo da cultura em cada talhão analisado.

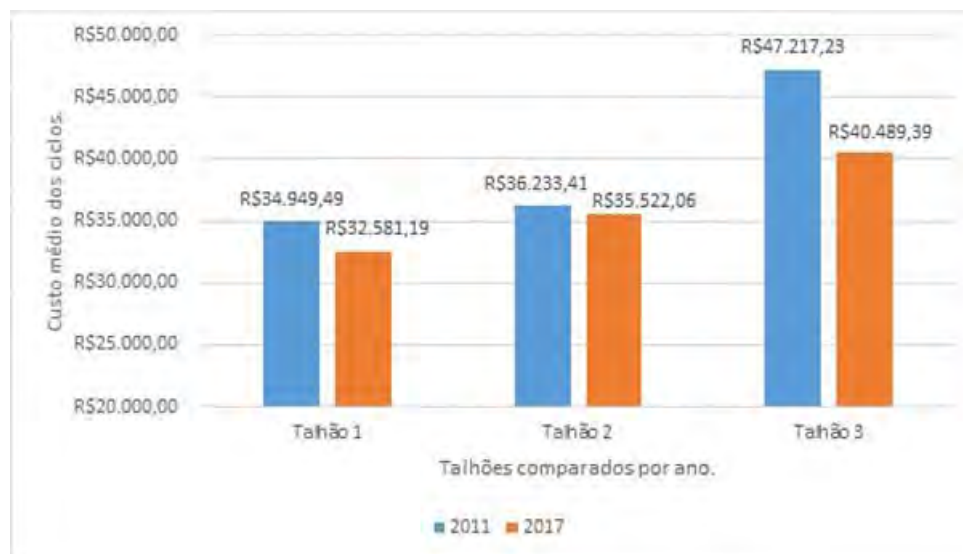


FIGURA 6. Impacto da sistematização no custo médio por ciclo.

A sistematização nos três cenários analisados (Figura 6) garantiram uma economia no custo operacional médio final de R\$ 2.368,30 no talhão 1, no talhão 2 em R\$ 711,35 e no talhão 3 em R\$ 6.727,84.

**CONCLUSÃO:** Para as condições do estudo, a sistematização dos talhões gerou uma redução em até 50% no número de manobras por hectare, acarretando em um aumento de até 15% da eficiência operacional, gerando uma economia no custo operacional em até 14,25%.

## REFERÊNCIAS

- BAIO, F.H.R.; MORATELLI, R.F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.367-375, mar. /abr. 2011.
- BAIO, F. H. R.: Aplicação de AP no plantio. In T. C. C. Ripoli, M. L. C. Ripoli, D. V. Casagrandi, & B. Y. Ide (Eds.), **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: ed. dos autores, 2007. p. 92– 101.
- MOLIN, J.P.; MILAN, M. trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p.409-436.
- PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).
- SPEKKEN, M.; BRUIN, S.: Optimized routing on agricultural fields by minimizing maneuvering and servicing time. **Precision Agriculture**, New York, v.14, n.2, p. 224–244. 2013.

## **APLICAÇÃO DA ABORDAGEM MULTISENSOR PARA DETALHAMENTO DE PERFIS TEMPORAIS DE CRESCIMENTO VEGETAL**

**JOÃO FELIPE GROMBONI<sup>1</sup>, LUIZ HENRIQUE PEREIRA<sup>2</sup>, SERGIO DOS ANJOS FERREIRA PINTO<sup>3</sup>, LUIS FERNANDO RIQUETTI DOS SANTOS<sup>4</sup>, MATEUS VIDOTTI FERREIRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Geografia. Estagiário de Pesquisa na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos. UNESP, Rio Claro – SP. Fone: (14) 997423882, joaogromboni@gmail.com

<sup>2</sup> Geógrafo. Pesquisador na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos. ESALQTEC, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981565469, luiz.pereira@idgeo.com.br

<sup>3</sup> Geógrafo, Prof. Depto. Planejamento Territorial e Geoprocessamento, UNESP, Rio Claro – SP. Fone: (19) 981565469, sanjos@rc.unesp.br

<sup>4</sup> Geógrafo. Estagiário na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos. ESALQTEC, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 992266410, luis.santos@idgeo.com.br

<sup>5</sup> Geógrafo. Pesquisador na IDGeo – Inteligência em Dados Geográficos. ESALQTEC, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981565469, mateus.vidotti@idgeo.com.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Quando se trata do uso de sensoriamento remoto para monitoramento agrícola, na aplicação de imagens orbitais são encontradas diversas dificuldades, entre elas ausência de imagens e muitas cenas com nuvens. Diante desse quadro, esse trabalho visa apresentar uma metodologia que solucione esses problemas. Com a utilização de três sensores diferentes, sendo eles, Landsat8/OLI, Sentinel 2 e CBERS4/MUX, este trabalho tem como objetivo analisar uma série temporal de índice de vegetação extraídos de imagens orbitais de diferentes plataformas e sensores para o ano de 2017, a fim de avaliar o potencial de detalhamento do perfil vegetativo em parcelas agrícolas de cana-de-açúcar. Com a aplicação de tal metodologia, foi observado que é possível aumentar a disponibilidade de dados espectrais ao longo do ano para uma mesma área, permitindo maior detalhamento da curva de crescimento da vegetação, e minimizando o problema de presença de nuvens sobre a área de interesse. Com isso, foi possível visualizar a dinâmica do comportamento do vigor de fitomassa ao longo do tempo com menores ruídos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; Agricultura de Precisão; Monitoramento Agrícola;

## **APPLICATION OF THE MULTISENSOR APPROACH FOR DETAILING TIMES OF VEGETABLE GROWTH PROFILES**

**ABSTRACT:** When it comes to the use of remote sensing for agricultural monitoring, in the application of orbital images are found several difficulties, among them absence of images and many scenes with clouds, before this scenery, this work aims to present a methodology that solves these problems. With the use of three different sensors, Landsat8 / OLI, Sentinel 2 and CBERS4 / MUX, this work aims to analyze a time series of vegetation index extracted from orbital images of different platforms and sensors for the year 2017, in order to evaluate the potential of pinpointing the vegetative profile in agricultural plots of sugarcane. With the application of such methodology, it was observed that it is possible to increase the availability of spectral data throughout the year for a same area, allowing bigger detailing of the growth curve of the vegetation, and minimizing the cloud presence problem over the area of interest. Through that, it was possible to visualize the dynamics of the behavior of the phytomass vigor among time with less noise.

**KEYWORDS:** Remote sensing; Precision agriculture; Agricultural Monitoring;

**INTRODUÇÃO:** Dificuldades são encontradas no uso de imagens multiespectrais orbitais. Ausência de imagens frequentes e de boa qualidade devido a problemas de nuvens, junto com a baixa resolução temporal de sensores como o Landsat, que passa a cada 16 dias na mesma área, prejudicam o monitoramento agrícola da região estudada. A integração de dados orbitais para o reconhecimento das características da cobertura destaca-se como uma das alternativas mais viáveis para a avaliação da dinâmica da cobertura da terra (Pimentel, et al, 2011). Analisando a bibliografia para o uso da abordagem de multisensores, observa-se essa aplicação para finalidade de monitoramento de áreas queimadas desde a década de 70 e 80 sendo assim tal metodologia é pouco utilizada para monitoramento agrícola, apesar do seu potencial de contribuição, XAUD (2013). XAUD e SANTOS (2010), trazem uma lista das principais finalidades da abordagem multisensor, segundo os autores tal metodologia pode ser utilizada como complementação de áreas não imageadas por determinado sensor; calibração entre estimativas de sensores de resolução espacial, utilização de resolução mais fina; utilização de sensores em diferentes faixas espectrais; fusão de imagens para melhoria da resolução espacial e espectral e entre outras finalidades. Na cultura da cana-de-açúcar a utilização das técnicas de sensoriamento remoto tem sido empregada nas questões como classificação e mapeamento (Tardin et al., 1992), manejo (Fiorio et al., 2000) e estimativa de produtividade (Rudorff e Batista, 1990). Assim, este trabalho tem como objetivo analisar uma série temporal de índice de vegetação extraídos de imagens orbitais de diferentes plataformas e sensores para o ano de 2017, a fim de avaliar o potencial de detalhamento do perfil de crescimento vegetal em parcelas agrícolas de cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A pesquisa foi conduzida em parceria com a empresa IDGeo, que viabilizou o estudo e acesso à base de dados de áreas agrícolas de cana de açúcar. Foram selecionadas parcelas agrícolas (talhões) somando aproximadamente de 9.000ha de cana de açúcar. Os satélites utilizados para aquisição das imagens, foram: Sentinel 2, com o sensor MSI (multi-spectral instrument), com 13 bandas e de resolução espacial de 10 metros para as bandas VNIR; 20 metros e 60 metros (no caso para a pesquisa foi utilizada a resolução de 10 metros) e uma resolução temporal para a região entre 5, 7 e 10 dias. Landsat8, com o sensor OLI, com 9 bandas e uma resolução espacial de 30 metros e a resolução temporal de 16 dias. O satélite CBERS-4 utilizando o sensor MUX, com 4 bandas espectrais, uma resolução espacial de 20 metros e temporal de 26 dias. Para a aquisição das imagens Sentinel foi utilizado o catalogo de imagens da United States Geological Survey (USGS, 2018), enquanto as imagens Landsat 8 e CBERS-4 foram utilizadas o acervo de imagens do INPE (DGI/INPE, 2018). Ao todo, foram coletadas 65 imagens, sendo 23 Landsat, 27 Sentinel e 13 do CBERS-4. As datas de imagens coletadas para cada satélite estão na tabela a seguir.

TABELA 1. Imagens de satélite adquiridas.

Plataforma	Datas de imageamento para 2017
Landsat 8	11/01/2017; 27/01/2017; 12/02/2017; 16/03/2017; 01/04/2017; 17/04/2017; 03/05/2017; 19/05/2017; 04/06/2017; 20/06/2017; 06/07/2017; 22/07/2017; 07/08/2017; 23/08/2017; 08/09/2017; 24/09/2017; 10/10/2017; 26/10/2017; 11/11/2017; 27/11/2017; 13/12/2017; 19/12/2017.
Sentinel2	08/01/2017; 07/02/2017; 17/02/2017; 09/03/2017; 29/03/2017; 18/04/2017; 08/05/2017; 28/05/2017; 17/06/2017; 02/07/2017; 07/07/2017; 22/07/2017; 27/07/2017; 11/08/2017; 16/08/2017; 31/08/2017; 05/09/2017; 25/09/2017; 10/10/2017; 15/10/2017; 04/11/2017; 19/11/2017; 24/11/2017; 29/11/2017; 09/12/2017; 19/12/2017.
CBERS-4	16/01/2017; 11/02/2017; 09/03/2017; 04/04/2017; 30/04/2017; 26/05/2017; 21/06/2017; 17/07/2017; 12/08/2017; 03/10/2017; 29/10/2017; 24/11/2017; 20/12/2017.

As imagens foram recortadas considerando os limites dos talhões, e posteriormente obtido o índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) para cada uma das datas. Os polígonos dos talhões foram utilizados como unidade de análise, e extraídos a média dos valores de NDVI de cada talhão em cada uma das datas individualmente. Esses valores foram armazenados em banco de dados para geração dos gráficos e perfis temporais e avaliação. A região de Andradina se enquadra na classificação climática Aw de Koppen, segundo CEPAGRI, isto é, um clima tropical, com um inverno seco de abril a julho (figura 2b) e uma estação chuvosa que vai dos meses de agosto a março (figura 2a). A precipitação mensal no ano de 2017 variou de 0 mm a 254,4 mm. Os meses mais chuvosos foi outubro, novembro, dezembro e janeiro com uma

média de 150mm. Observa-se que o período de chuva foi mais curto do que a probabilidade histórica da região (figura 1).

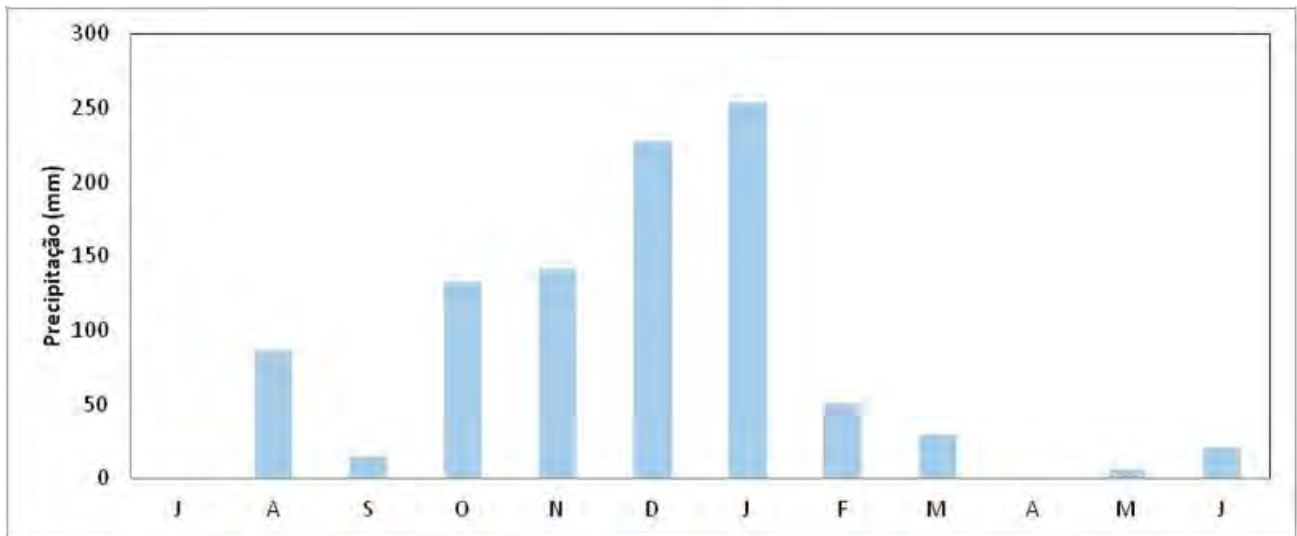


FIGURA 1. Precipitação na região de Andradina (SP).

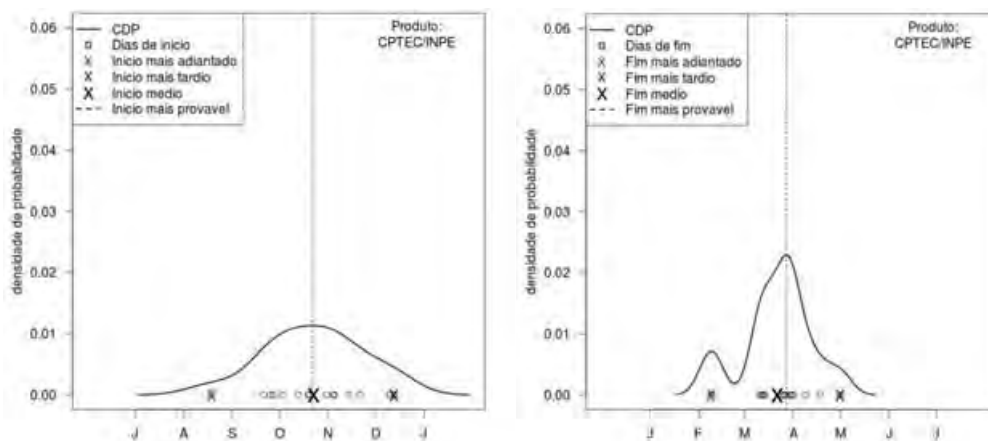


FIGURA 2. Curva de probabilidade para o início da estação chuvosa (a) e o fim da estação chuvosa (b).

Para caracterização do comportamento das chuvas no ano de 2017 foram utilizados os dados de precipitação da Estação Meteorológica da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) da cidade de Andradina. No site do CPTEC, foi coletado informações históricas para caracterizar o início e fim estação chuvosa para a região indicada.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após organização do banco de dados, elaborou-se o perfil temporal do índice de vegetação (NDVI) para cada um dos talhões de cana-de-açúcar analisados e o comportamento médio das oscilações do vigor vegetal. As figuras 3, 4 e 5 apresentam o perfil temporal obtido para cada um dos satélites considerados.

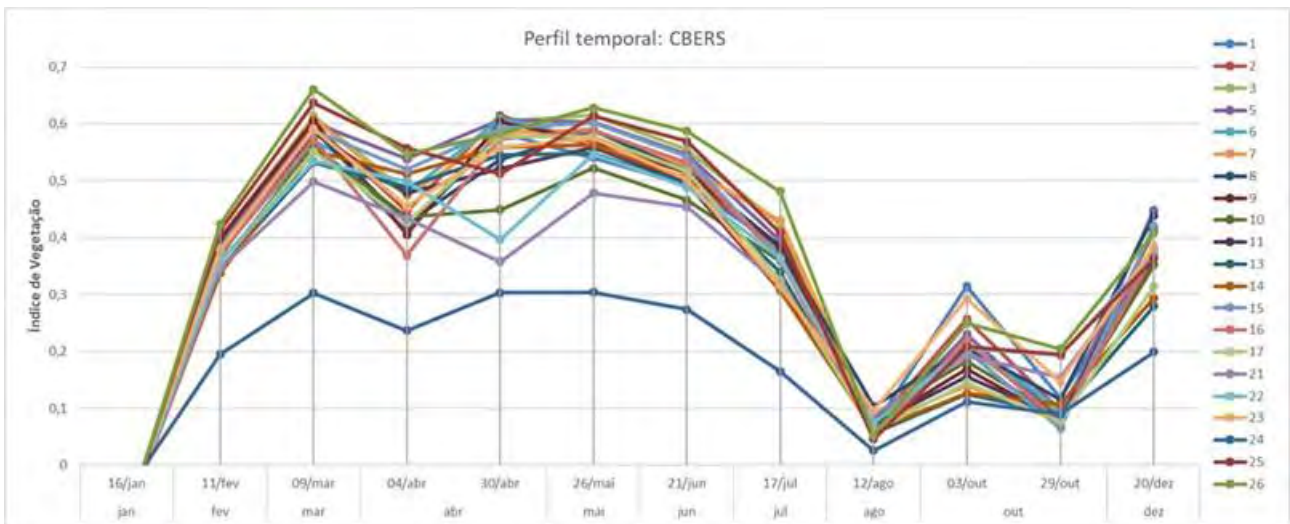


FIGURA 3. Perfil temporal do índice de vegetação extraídos para talhões de cana-de-açúcar, a partir de imagens CBERS4.

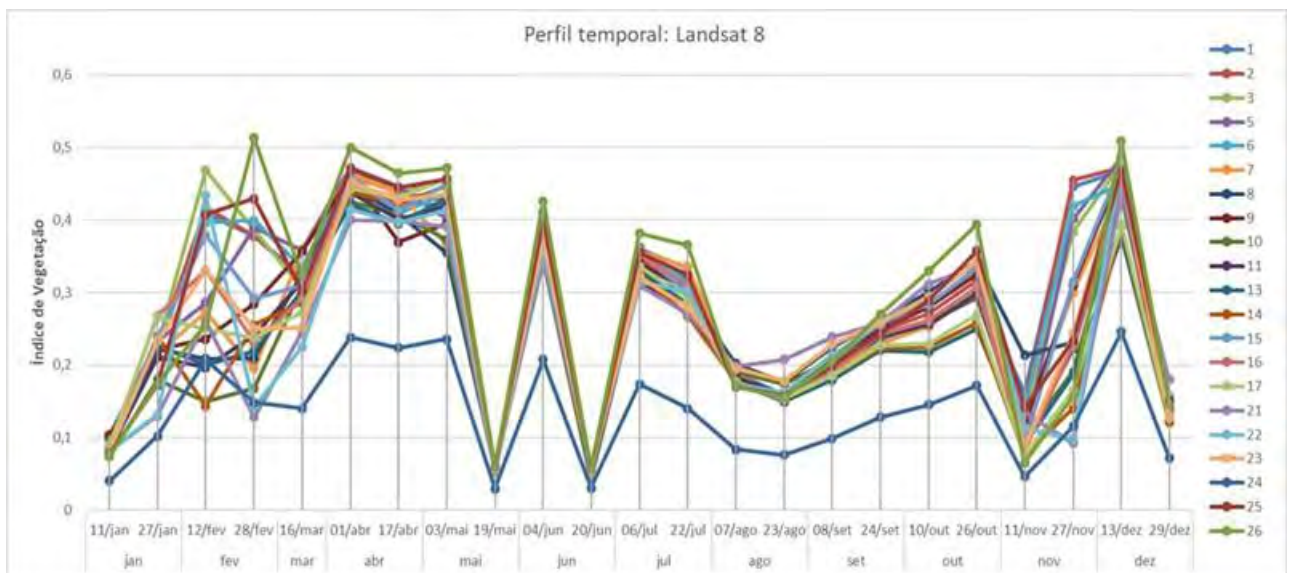


FIGURA 4. Perfil temporal do índice de vegetação extraídos para talhões de cana-de-açúcar, a partir de imagens Landsat 8.

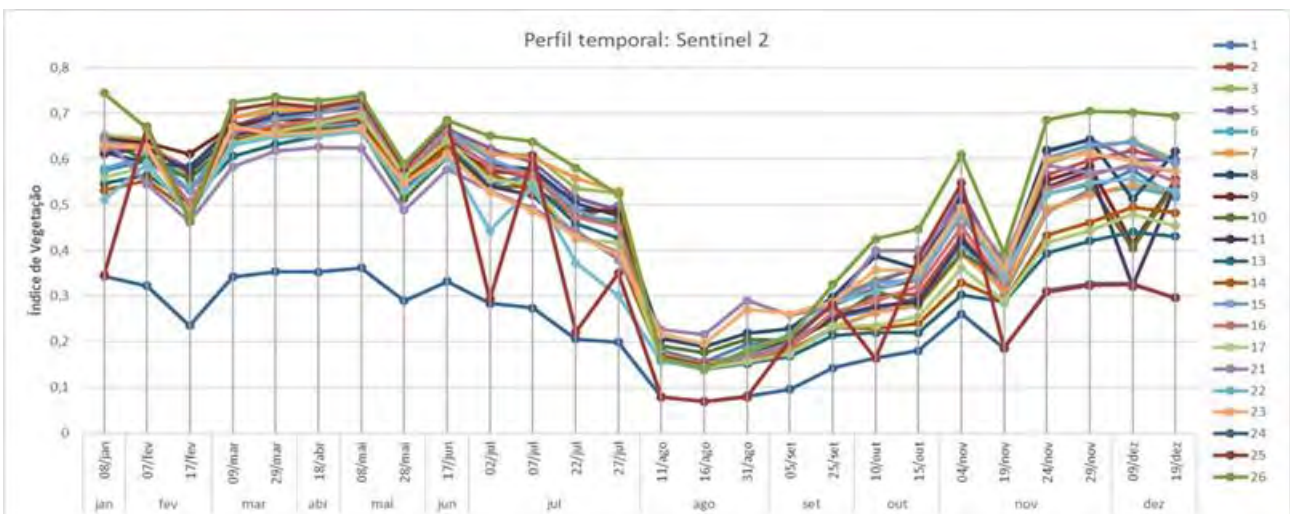


FIGURA 5. Perfil temporal do índice de vegetação extraídos para talhões de cana-de-açúcar, a partir de imagens Sentinel 2.



Observou-se nas figuras individualizadas a presença de vales e picos pronunciados. Os pontos discrepantes podem indicar ruídos que impedem a extração de valores da vegetação a partir da imagem. Em especial, as inflexões abruptas nas curvas indicam presença de nuvens, névoas ou sombras sobre os talhões que mascaram os valores do índice de vegetação. Para todos os satélites não observou-se um padrão de quando ocorrem esses picos, há uma tendência de que nos períodos mais chuvosos haverá menos imagens por ser um período com bastante nuvens, porém segundo os gráficos não consegue-se observar tal tendência, visto que para a região, de acordo com a figura 2a, o início do período de chuva é na segunda quinzena de outubro e os vales ocorrem em meses variados. A figura 6 apresenta a combinação de todas as imagens entre os diferentes sensores, atribuindo um valor médio mensal para o NDVI a fim de atenuar a discrepância de valores existentes entre eles. Assim, é possível notar a suavização do perfil temporal das variações do índice de vegetação, atenuando a interferência de nuvens e outros ruídos, permitindo o monitoramento contínuo do desenvolvimento fenológico das áreas de cana-de-açúcar.

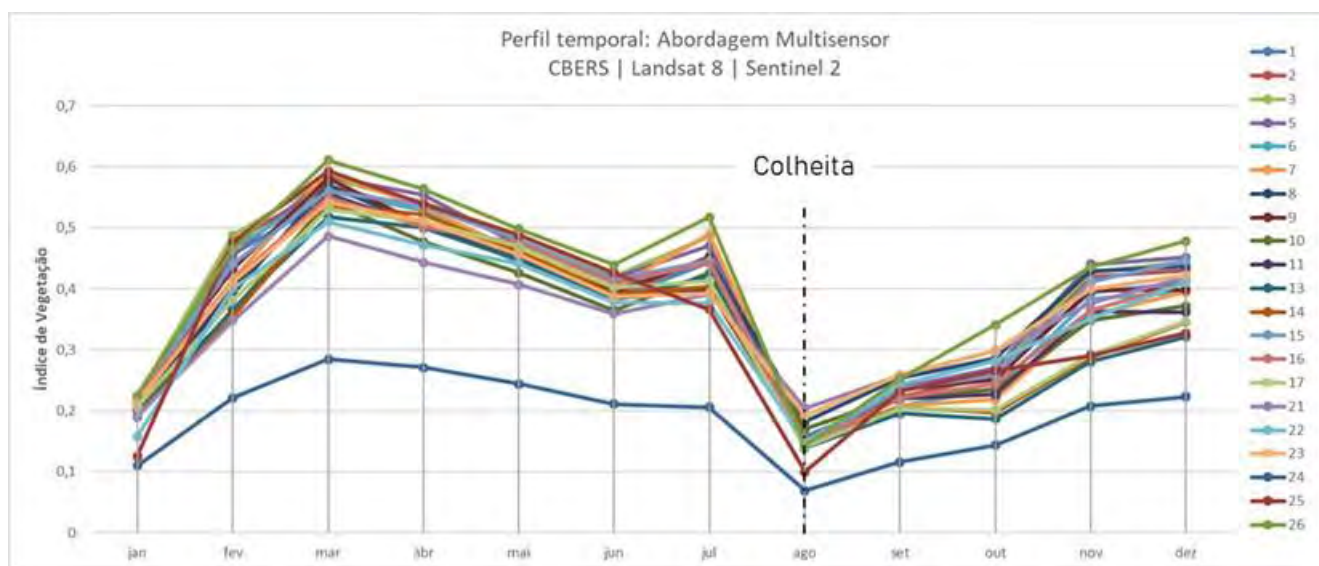


FIGURA 6. Perfil temporal do índice de vegetação modelado a partir da integração de diferentes sensores orbitais: CBERS4, Landsat 8, Sentinel 2.

**CONCLUSÃO:** Por meio da aplicação da abordagem multisensor, observou-se que é possível aumentar a disponibilidade de dados espectrais ao longo do ano para uma mesma área. Porém, deve-se considerar que há diferenças nos valores de NDVI devido as especificidades de cada sensor. Essas diferenças podem ser atenuadas por meio de tratamentos estatísticos, que permitem obter detalhamento da curva de crescimento da vegetação, e minimizando o problema de presença de nuvens sobre a área de interesse. Assim, foi possível visualizar a dinâmica do comportamento do vigor de fitomassa ao longo do tempo com menores ruídos. Considerando a região analisada, em que o período chuvoso se concentra entre os meses de agosto à março, foi possível obter ao menos uma imagem com disponibilidade de informação por mês. Este fato é limitante quando se considera o monitoramento agrícola para manejo em curto prazo, no entanto, a cultura de cana-de-açúcar é anual, e as alterações do estágio fenológicos não são pronunciadas em curtos intervalos de tempo, diferente de culturas como soja e milho, que assim demandariam maior resolução temporal para seu monitoramento.

**AGRADECIMENTOS:** à Fapesp, por meio do financiamento do projeto de Pesquisa “Sistema de monitoramento remoto de alta frequência para gestão da qualidade do canavial e predição da produtividade agrícola”, processo número: 2017/08449-8.

## REFERÊNCIAS

Catálogo de Imagens INPE . <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em 19 de março de 2017.

CEPAGRI.<[https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_024.html](https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_024.html)>. Acesso em 20/04/2017.

CPTEC-INPE. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt>>. Acesso em 20/04/2017.

PIMENTEL, M. T.; DIAS, R. R.; PEREIRA, E. Q. Mapeamento das mudanças da cobertura e uso da terra entre os anos de 1984 e 2009 utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento: estudo de caso do Município de Fátima – Estado do Tocantins. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 2011. Artigo, p.6810.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 33, n. 3, p. 183-192, 1990.

XAUD, HARON ABRAHIM MAGALHÃES. Abordagem multisensor aplicada ao monitoramento de florestas tropicais atingidas por incêndios em Roraima – São José dos Campos : INPE, 2013. 127 p.; (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.05.16.14-TD)

XAUD, M. R.; XAUD, H. A. M. Análise espacial dos focos de calor e do desflorestamento do Estado de Roraima. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9. (SENGEF), 2010, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF/UNICENTRO, 2010. v. CD-ROM. p. 387-392

United States Geological Survey. <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 16 de março de 2017.

## APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE PREDIÇÃO DE TAXAS VARIÁVEIS EM PULVERIZAÇÕES BASEADA EM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NA CULTURA DO MILHO

RENATO SCHNEIDER JR.<sup>1</sup>, EDER E. DA SILVA<sup>2</sup>, ALEX R. A. ZANIN<sup>3</sup>, TÚLIO H. D. MARTINS<sup>4</sup>,  
FABIO H. R. BAIO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (64) 9 9937 9137, renato\_schneiderjr@hotmail.com

<sup>2</sup>Engº Agrônomo, Mestrando, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>3</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>4</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>5</sup>Engº Agrônomo, Prof. Associado, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

*Apresentado no*

***Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018***

*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A pulverização agrícola é indispensável para o cultivo, visando o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, assim como na aplicação de micronutrientes. O objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de uma equação que indica a Taxa de Aplicação adequada, através do índice vegetativo, buscando uma homogeneidade na disposição de gotas no estrato médio da cultura. A cultura foi implantada com população de 60 mil plantas por ha<sup>-1</sup>, em espaçamento de 0,45 m em sistema de plantio convencional. Para a aquisição do IV, foi utilizado o sensor multiespectral ativo Crop Circle ACS-470 da Holland Scientific. Foram pulverizadas três taxas de aplicação (80, 90 e 100 L ha<sup>-1</sup>) no estágio fenológico V6. A deposição foi mensurada pela técnica de balanço de massas utilizando o corante amarelo tartrazina. O modelo matemático se mostrou eficiente garantindo que a deposição no terço médio da cultura se mantivesse constante quando considerado o índice vegetativo da cultura e a variação da taxa de aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Taxa de aplicação, NDVI, Deposição de gotas.

### **EFFICIENCY OF PREDICTION EQUATION TO ESTIMATE APPLICATION RATE AND DEPOSITION IN CORN CROP**

**ABSTRACT:** The agricultural spraying technique is essential to control pests, diseases, weeds in crops, as well as in the applications of micronutrients. The objective of this study was to evaluate the use of an equation to indicate the appropriate application rate, based in Vegetation Index, seeking homogeneity on droplet deposition on middle layer of crop. The crop was seeded in row spacing of 0.45 m and with 60,000 plants ha<sup>-1</sup> in conventional tillage system. The multispectral active sensor Crop Circle ACS-470 Holland Scientific was used to the VI acquisition. Were sprayed three application rates (80, 90 and 100 L ha<sup>-1</sup>) on V6 phenological stage. The deposition was measured by balance mass technique using yellow tartrazine dye. The mathematic model showed be efficient, ensuring that the deposition in the middle layer of the culture remained constant when considering the vegetative index of the crop and the variation of the application rate.

**KEYWORDS:** Application rate, Vegetation index, Deposition drops.

**INTRODUÇÃO:** O volume de calda utilizado nas pulverizações agrícolas é uma variável importante na deposição de gotas nos diferentes terços da planta. O êxito da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários no controle de um alvo depende da recomendação de uma taxa de aplicação adequada. Muitos pulverizadores agrícolas atualmente são capazes de aplicar produtos fitossanitários em doses diferenciadas (*Variable Rate Technology*, ou VRT), todavia, a recomendação acertada desse parâmetro em campo é subjetiva e dependente da experiência do técnico responsável (ANTUNIASSI & BAIO, 2009). É possível a utilização de sensores ópticos que estimam a refletância das plantas mapeadas, a qual possui elevada correlação com a massa vegetal das culturas (GROFF et al., 2013) assim, esses sensores, juntamente com a

equação de predição, podem ser utilizados na determinação da taxa de aplicação. A equação foi obtida através de um estudo realizado por BAIO et al. (2018) que avaliou a deposição de gotas no terço médio da cultura do milho correlacionada com o NDVI e a taxa de aplicação, resultando em um modelo matemático passível de ser utilizado na prática. Para a aplicação em taxas variáveis podem ser utilizados pulverizadores equipados com módulos de injeção direta (CHRISTOFOLETTI, 2004; FIGUEIREDO, 2003). A equação será útil somente para a variação da taxa, não tendo relação com a variação de dose de defensivo. Segundo FELIZARDO (2013), uma tecnologia recente para a variação de aplicação é a MSNC (*Modulated Spraying Nozzle Control*), onde existe um controle individual de fluxo em cada bico com o emprego de válvulas solenoides acionadas por sinais do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*). Segundo WOLF (2002), esta tecnologia PWM permite que a pulverização seja realizada com uma faixa de variação de volumes da ordem de 8:1. O objetivo do trabalho foi verificar se o uso da equação de predição de deposição para estimar a Taxa de Aplicação publicada por Baio et al. (2018) é eficiente para igualar a deposição real de calda no terço médio da cultura.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no município de Chapadão do Sul – MS, durante o ano agrícola 2017/18. O delineamento experimental aplicado foi em blocos, com três taxas de aplicação (80, 90 e 100 L ha<sup>-1</sup>), determinadas segundo a análise do NDVI mensurado na cultura e pela equação da estimativa da taxa de aplicação desenvolvida por Baio et al. (2018). Foi utilizada a mesma deposição relativa esperada (80%) em todos os tratamentos. Segundo a equação publicada por Baio et al. (2018), a deposição de calda no terço médio da cultura do milho possui uma função quadrática positiva quando relacionada ao NDVI e a taxa de aplicação (Figura 1). Com o aumento dos índices de vegetação, há a necessidade do aumento da taxa de aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta.

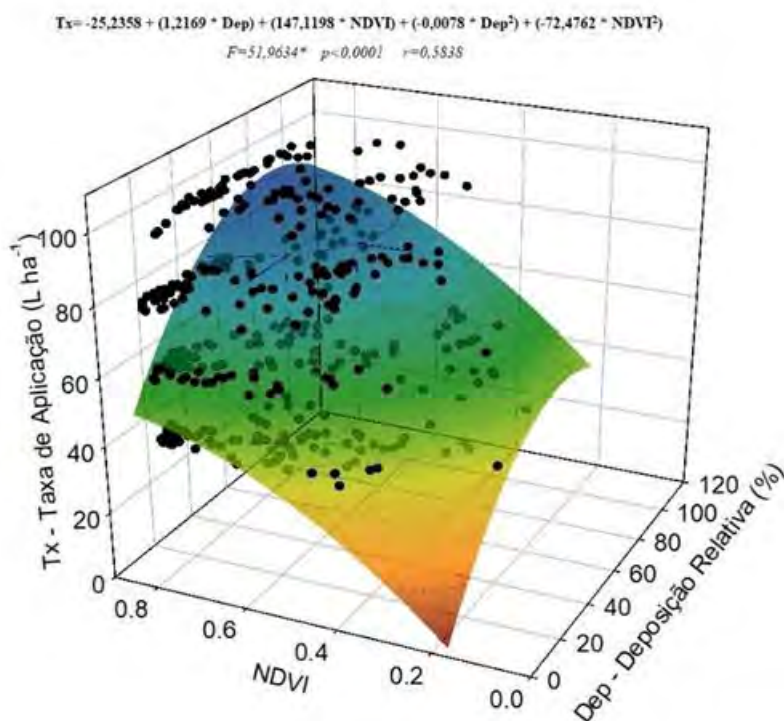


FIGURA 1. Interação entre deposição de calda, IV pelo NDVI e taxa de aplicação (Tx).

As parcelas experimentais possuíam dimensões de 2,7 x 5,0 m, totalizando 64 parcelas. A semeadura foi realizada em novembro de 2017, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O sensor utilizado para calcular o NDVI foi o Crop Circle modelo ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln-NE/EUA), medindo simultaneamente a refletância da cultura em três comprimentos de onda: 670 nm; 730 nm; e 760 nm. Uma vez mensurado o NDVI nas parcelas, esse índice foi aplicado na equação de predição das taxas de aplicação e determinou-se que houve necessidade da variação dessa variável entre 80 a 100 L

ha<sup>-1</sup>. Portanto, para facilitar a aplicação por um pulverizador convencional, adotou-se três taxas de aplicação distintas. Foram pulverizadas três taxas de aplicação (80, 90 e 100 L ha<sup>-1</sup>) no estágio fenológico V6 por meio do pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> da Herbicat. A análise da deposição das diferentes taxas de aplicação foi realizada por meio de soluções de calda contendo 3 concentrações do corante industrial amarelo de tartrazina FDC 5 (6200, 5511, 4960 mg L<sup>-1</sup>), de modo a proporcionar a mesma deposição por área aplicada. Após a aplicação, foi realizada a coleta de três folhas amostrais do terço médio da planta em cada parcela. A concentração final de cada amostra foi determinada pelo uso do espectrofotômetro SP-22 da Bioespectro. Os dados coletados foram analisados por comparação de sua distribuição da deposição.

**RESULTADO E DISCUSSÃO:** As diferenças da quantidade de massa vegetal entre as parcelas na cultura do milho são visíveis na Figura 2A. Com a menor quantidade de massa foliar, houve a mensuração de valores menores do NDVI, conforme representado pela Figura 2B, consequentemente essas áreas de menor índice vegetativo possibilitam o uso de menor taxa de aplicação, conforme mapa de prescrição indicado na Figura 2C. O conjunto dessas informações permitiu variar a taxa de aplicação, mantendo a deposição constante no terço médio da cultura, Figura 2D.

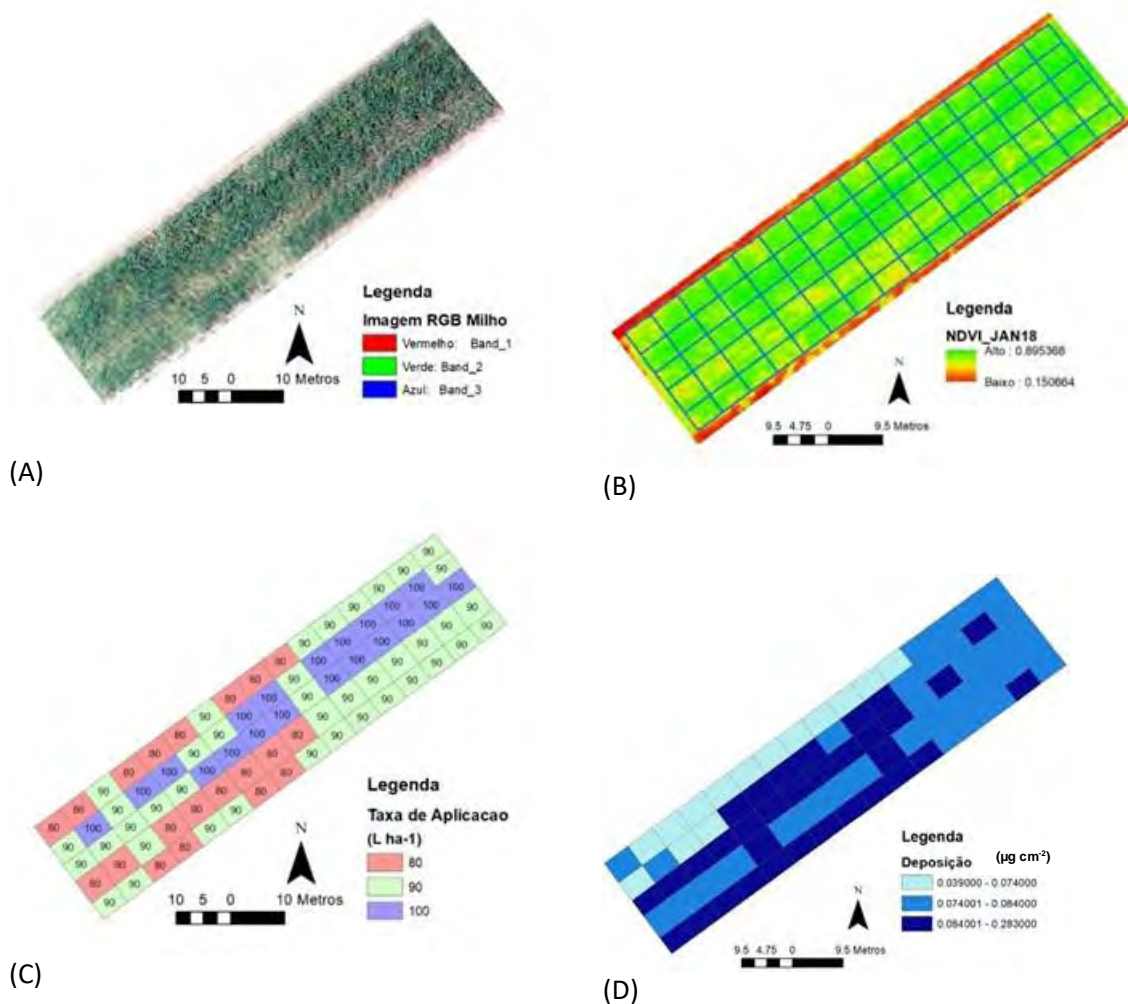


FIGURA 2. (A) Mapeamento da área. (B) Índice NDVI. (C) Taxa de Aplicação. (D) Mapa de deposição.

A variação da deposição não foi significativa (Figura 3), remetendo a eficiência do uso da equação em conjunto com o NDVI e a variação da taxa de aplicação. Para a aplicação em taxas variáveis podem ser utilizados pulverizadores equipados com módulos de injeção direta (CHRISTOFOLETTI, 2004; FIGUEIREDO, 2003) sendo isso primordial para que o uso da equação seja possível. Até então não se tinha uma técnica que indicasse a vazão ideal, com isso os sistemas de injeção direta estavam com sua utilização limitada. Através da equação de predição é possível variar a taxa de aplicação, assim, com o sistema de injeção direta é possível manter constante a dose do princípio ativo recomendada. Os contrastes entre os resultados obtidos nos tratamentos das diferentes deposições de calda estabelecidos em relação à variação do

NDVI são apresentados na Tabela 1. Houve significância do contraste do NDVI, indicando diferença entre a massa vegetal para as diferentes parcelas. Todavia não houve diferença estatística para a variável deposição da calda entre as parcelas pulverizadas com diferentes taxas de aplicação, ilustrando que a técnica de VRT da taxa de aplicação segundo a variação do NDVI é eficaz para a manutenção da deposição no estrato médio da cultura.

TABELA 1. Valores de F calculado para a variável NDVI avaliada em diferentes dias após a emergência (DAE) da cultura da soja cultivada sob agricultura de precisão (AP) e convencional.

	NDVI	Deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
Tratamentos (80, 90 e 100 L ha <sup>-1</sup> )	83,63*	1,06 <sup>ns</sup>
Repetição	0,66 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>
Média geral	0,76	0,14
CV (%)	3,71	56,47

<sup>ns</sup> e \* : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; CV: coeficiente de variação.

A Figura 3 apresenta a deposição de gotas no terço médio da cultura do milho. Através da variabilidade semelhante entre os tratamentos, não houve diferença estatística para a deposição entre as taxas de aplicação utilizadas.

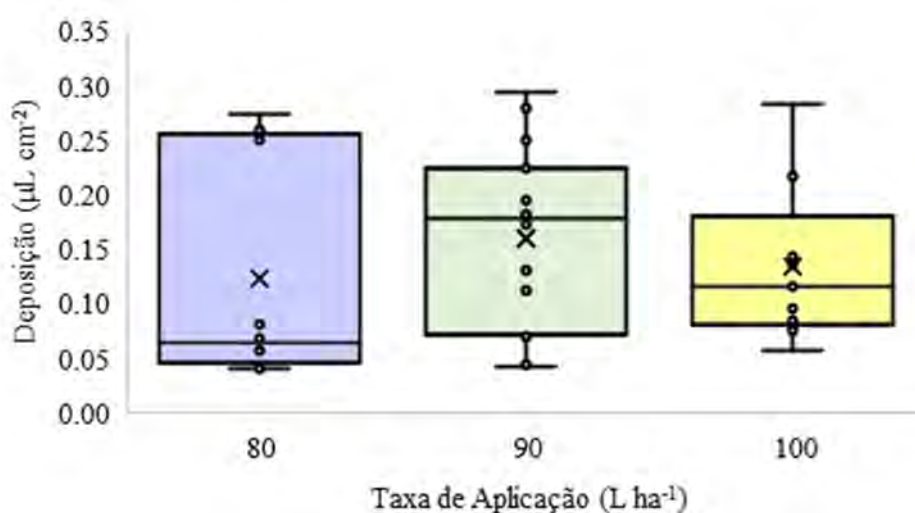


FIGURA 3. Deposição no terço médio da cultura em diferentes taxas de aplicação.

**CONCLUSÃO:** O modelo matemático publicado por Baio et al. (2018) para a predição da taxa de aplicação se mostrou adequado para o híbrido e estágio de desenvolvimento do milho avaliados, no sentido de igualar a deposição no terço médio da cultura do milho, mesmo tendo variação do NDVI.

#### REFERÊNCIAS:

- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R.; SHARP, T. Agricultura de Precisão. In: Freire, E.C. (Org.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2.ed., Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011, p. 1051-1082.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. 2ed.Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009, p. 173-212.
- BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.R. Pulverização automática. **Cultivar Máquinas**, v.8, n.158, p.16-18, 2015.
- BAIO, F.H.R.; SILVA, E.; SILVA, M.; SOUZA, F.; ZANIN.; TEODORO, P. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. **Agronomy Journal**, 110(3), 2018. DOI: 10.2134/agronj2017.12.0718.
- CHRISTOFOLETTI, J. C. Direto no alvo. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 34, p. 7-10, 2004.
- FIGUEIREDO, Z. N. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de injeção para aplicação localizada de defensivos**. 2003. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

Groff, E. C., Nanni, M. R., Povh, F. P., Cezar, Ew. (2013). Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, aqui falta o volume e numero da edicao DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n2p517

FELIZARDO, K. R., Modelagem e controle preditivo de um sistema de pulverização com injeção direta. Tese de Doutorado- Programa de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos- SP. (2013)

FIGUEIREDO, Z. N. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de injeção para aplicação localizada de defensivos**. 2003. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

WOLF, R. E. New Technologies for the delivery of pesticides in agriculture. In: **Pesticide in agriculture and the enviroment**. New York: CRC Press, 2002.

## **AValiação da Deposição de Calda Pulverizada em Função da Densidade de Semeadura da Soja**

**ALEX R. A. ZANIN<sup>1</sup>, FERNANDO H. Q. SOUZA<sup>2</sup>, PEDRO H. A. MARTINS<sup>3</sup>, LUIZ R. FRANÇA<sup>4</sup>,  
FABIO H. R. BAIOS<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 3562-6300, alex.a.zanin@gmail.com

<sup>2</sup>Engº Agrônomo, Mestrando, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>3</sup>Engº Agrônomo, Mestrando, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>4</sup>Engº Agrônomo, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>5</sup>Engº Agrônomo, Prof. Associado, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O êxito da tecnologia de aplicação de agrotóxico no controle de um alvo também depende da recomendação de um volume de, ou taxa de aplicação adequada. O objetivo deste estudo foi avaliar os depósitos de calda pulverizada em função da densidade de semeadura da soja. Um experimento foi realizado no ano agrícola 2017/18, com quatro diferentes populações (314.500, 370.000, 430.000 e 494.000 plantas ha<sup>-1</sup>), no município de Chapadão do Sul – MS. Pela análise do balanço de massa mediu-se a deposição das folhas no estrato médio da planta. O experimento consistiu em parcelas subdivididas em esquema fatorial 4x4 (quatro taxas de aplicação por pulverização e quatro populações de plantas), com três repetições para cada tratamento. Houve diferença da quantidade de massa vegetal entre as parcelas na cultura da soja em função da população de plantas. Quanto maior a população de plantas, houve uma tendência do aumento do IV e diminuição da deposição da calda pulverizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Glycine max*, deposição relativa, população de plantas.

### **EVALUATION OF SPRAY DEPOSITION IN FUNCTION OF THE DENSITY OF SOYBEAN SEEDING**

**ABSTRACT:** The success of the application technology of agrochemicals in control of a target also depends on the recommendation of the application rate. The objective of this study was to evaluate the deposits of syrup sprayed in function of the density of soybean seeding. An experiment was conducted in the 2017/18 agricultural year, with four different populations (314,500, 370,000, 430,000 and 494,000 plants ha<sup>-1</sup>), in the city of Chapadão do Sul - MS. Through the analysis of mass balance was measured the leaf syrup deposition in the middle strata of the plant. The experiment consisted of plots in factorial 4x4 (four application rates and four populations of plants), with three replicates for each treatment. There was a difference in the quantity of vegetal mass between the parcels in the soybean crop in function of plant population. The higher plant population, there was a trend of increasing IV and reduction of deposition sprayed.

**KEYWORDS:** *Glycine max*, relative deposition, plant population.

**INTRODUÇÃO:** A tecnologia de aplicação é entendida como um conjunto de conhecimentos científicos que proporcionam uma correta colocação do produto no alvo em quantidade necessária. Todavia, a recomendação acertada desse parâmetro em campo é subjetiva e dependente da experiência do técnico responsável (ANTUNIASSI & BAIOS, 2009). Dentre as diversas tecnologias adotadas para a aplicação de produtos de proteção a culturas, a aplicação em taxas variáveis (*variable rate technology* - VRT) pode promover a aplicação da taxa de aplicação correta, considerando a variabilidade espacial da massa vegetal, a qual pode ser mensurada por um índice de vegetação (IV). A partir dos dados coletados pelos sensores ópticos ativos, podem ser obtidos alguns índices



de vegetação que possuem uma correlação elevada com a massa vegetal das plantas (BAIO et al., 2018). Devido à correlação forte e positiva entre IV e MS (AMARAL & MOLIN 2014), e como há uma necessidade de aumento da taxa de aplicação em relação ao acréscimo da massa vegetal, existe a possibilidade do uso de sensores multiespectrais para estimativa da massa da cultura e determinação da taxa de aplicação na pulverização agrícola em culturas anuais. Contudo, a densidade populacional pode afetar a variabilidade da massa vegetal e a arquitetura da planta, ocasionando possivelmente variações da deposição da calda pulverizada. O objetivo deste estudo foi avaliar os depósitos de calda pulverizada em função da densidade de semeadura da soja

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), no município de Chapadão do Sul – MS, durante o ano agrícola de 2017/2018. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas no esquema fatorial 4x4, sendo quatro populações de plantas (314.500, 370.000, 430.000 e 494.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e quatro taxas de aplicação (40, 70, 100 e 130 L ha<sup>-1</sup>), com três repetições de cada parcela. As parcelas experimentais possuíam dimensões de 2,7 x 8,0 m, totalizando 48 parcelas. Essas parcelas foram cultivadas com a cultura da soja (*Glycine max*), variedade Brasmax Desafio RR - 8473RSF. A semeadura direta foi realizada no mês de novembro de 2017 no espaçamento de 0,45 m. Foram realizadas e três avaliações de deposição foliar da calda pulverizada (Dep), em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja (V4, V8 e R5). A análise da deposição das diferentes taxas de aplicação foi realizada por meio da técnica de balanço de massas (BAIO et al., 2016), aplicando soluções de calda contendo quatro concentrações do corante industrial amarelo de tartrazina FDC-5: 6.200, 3.542, 2.480, 1.907 mg L<sup>-1</sup>, para as taxas de aplicação de 40, 70, 100 e 130 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As pulverizações foram realizadas, por meio do pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> da Herbicat (Herbicat, Catanduva, Brasil), com 3 m de barra e seis pontas distanciadas a 0,5 m. Durante a aplicação foi mantida a velocidade constante em cada parcela. O padrão do tamanho de gotas planejado foi de gotas médias, com 250 µm de diâmetro mediano volumétrico (DMV). As pontas utilizadas nas aplicações das caldas foram do tipo leque TT 110015 (40 e 70 L ha<sup>-1</sup>) e TT 11001 (100 e 130 L ha<sup>-1</sup>), do fabricante Teejet (Springfield, EUA). Após a pulverização com o corante amarelo de tartrazina, foi realizada a coleta de um trifólio amostral do estrato médio de 3 plantas diferentes em cada parcela. As folhas amostrais foram lavadas e a concentração final do corante em cada amostra foi mensurada por espectrometria. As folhas foram submetidas ao medidor de área foliar portátil CI-203 (CID, Tecnal, Piracicaba, Brasil). Foi utilizado o Vant (veículo aéreo não tripulado) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem, equipado com o sensor multiespectral Sensefly Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm), possuindo um sensor de luminosidade permitindo a calibração dos valores adquiridos. As informações adquiridas nesses comprimentos de ondas permitiram o cálculo dos índices de vegetação utilizados. O sobrevoo sobre a área foi realizado à 150 m de altitude local, permitindo uma resolução espacial nas imagens de 0,170 m. As imagens foram mosaicadas e ortorretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. Os mapas de IV e mapas de prescrição foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5. Foi realizada a análise de variáveis canônicas e estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis com o software Rbio (BHERING, 2017). Para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlações foi utilizada a rede de correlações, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das bordas foi controlada por aplicação de um valor de corte igual 0,60, o que significa que apenas  $|rij| \geq 0,60$  têm as suas arestas em destaque. Finalmente, correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As diferenças da quantidade de massa vegetal entre as parcelas na cultura da soja são visíveis na Figura 1. Com a menor quantidade de massa foliar, houve a mensuração de valores menores do IV 760/550, conforme representado pelas Figuras 1B, 1C e 1D.

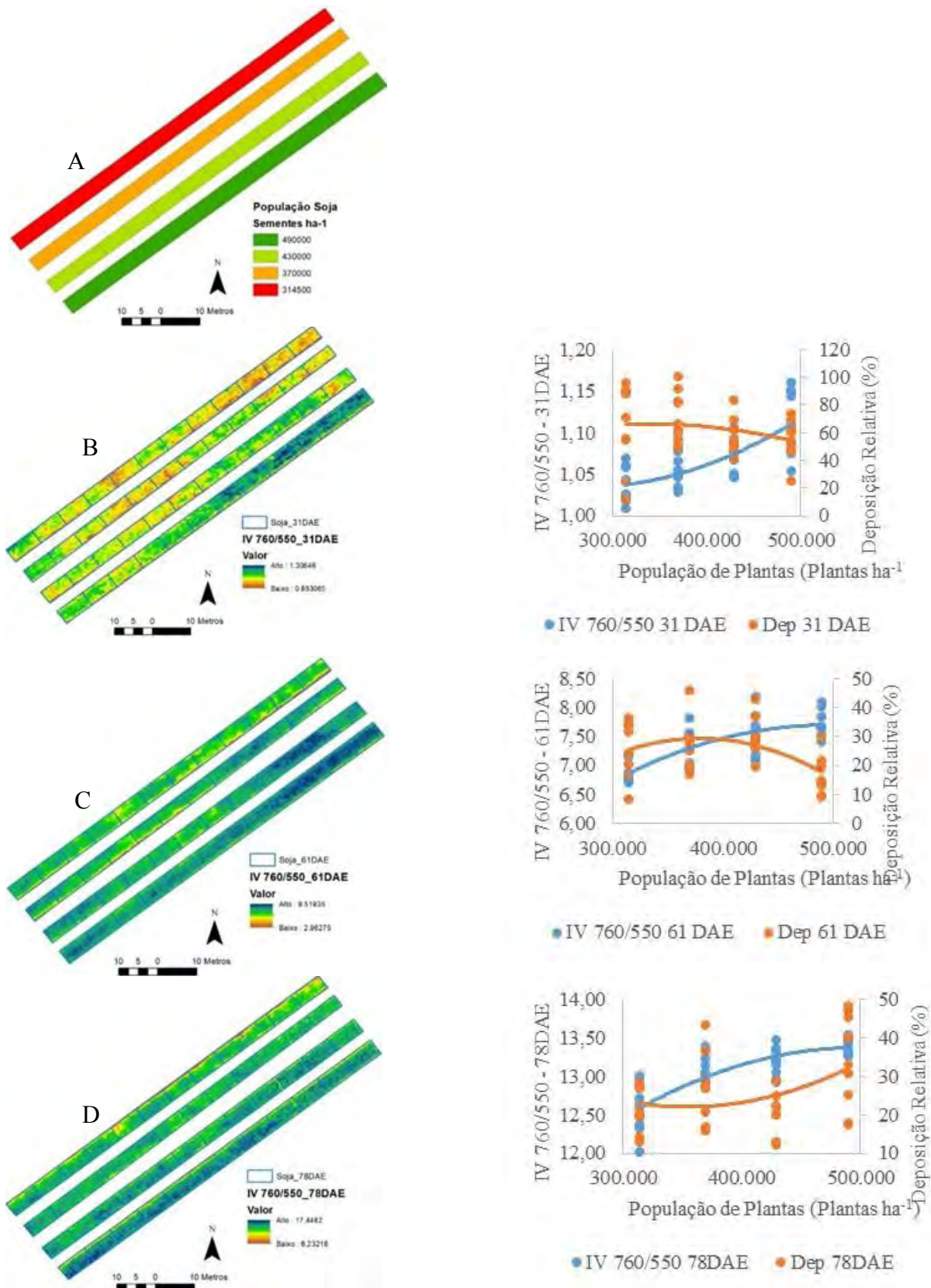


FIGURA 1. Mapa de prescrição da semeadura da soja (A), e mapas do IV 760/550 segundo as mensurações aos 31 (B), 61 (C) e 78 (D) DAE.

Assim, essas áreas de menores índices vegetativos obtiveram maiores valores de deposição de calda pulverizada. De acordo com Baio et al. (2018), quanto menores os valores do IV, menores os valores necessários da taxa de aplicação. Observa-se que quando a cultura foi desenvolvendo, os valores de IV foram aumentando e assim tendo uma necessidade de aumento na taxa de aplicação

para a manutenção de deposição esperada. Devido a diferença da densidade populacional da cultura, houve diferença nos valores de IV, e diminuição dos valores de depósitos pulverizados aos 31 e 61 DAE. A rede de correlações (Figura 2A) apresenta uma maior correlação positiva (traços verdes mais espessos) entre os valores mensurados dos índices de vegetação e população de plantas, indicando que onde houve maior população ocorreram maiores valores desses índices mensurados. Todavia, os valores mensurados de deposição da calda nas três aplicações apresentaram correlação negativa (traço em vermelho) tanto com a variação da população de plantas como com a variação dos IVs mensurados. Os valores de deposição de calda apresentaram correlação negativa para os respectivos mapeamentos dos IVs (Dp1 relacionado com IV\_1), ilustrando que quando há maior massa vegetal em função dos maiores valores de IVs mensurados, menores as deposições de calda naqueles locais. Observa-se que a variabilidade dos dados segundo a população de plantas de soja de 314.500 plantas ha<sup>-1</sup> foi muito diferente das demais populações, assim, os valores mensurados nessa classe foram muito discrepantes dos demais. Observa-se também que a maior população de plantas (490.000 plantas ha<sup>-1</sup>) influenciou diretamente na variabilidade dos dados do IV 760/550 mensurado aos 31 DAE, mas o mesmo não ocorreu para as mensurações dos IVs aos 61 e 78 DAE. Essa maior população de plantas também influenciou diretamente na variabilidade dos dados da deposição de calda aos 78 DAE, indicando maior influência da massa vegetal sobre a deposição. As populações de plantas de 370.000 e 430.000 plantas ha<sup>-1</sup> influenciaram na variabilidade da deposição de calda aos 31 e 61 DAE. A análise das variáveis canônicas também apresenta a correlação entre os IVs mensurados nas três diferentes datas, todavia, com maior semelhança entre os mapeamentos aos 61 e 78 DAE.

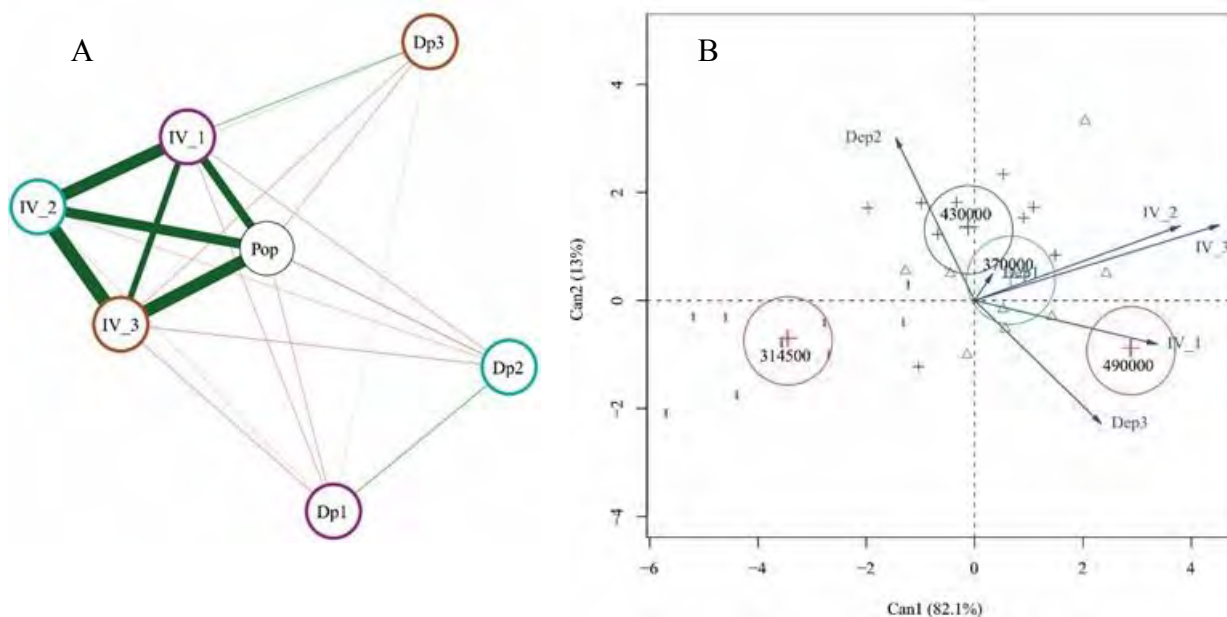


FIGURA 2. Rede de correlações entre os tratamentos aplicados (A) e análise por variáveis canônicas em relação às populações de sementes de soja analisados (B). IV<sub>a</sub>: índice de vegetação na data a; Dp<sub>a</sub>: deposição de calda na data a. Pop: população de plantas.

**CONCLUSÃO:** Houve diferença da quantidade de massa vegetal entre as parcelas na cultura da soja em função da população de plantas. Quanto maior a população de plantas, houve uma tendência do aumento do IV e diminuição da deposição da calda pulverizada.

#### REFERÊNCIAS:

AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. A eficácia de três índices de vegetação obtidos de um sensor de dossel para identificar a resposta da cana-de-açúcar ao nitrogênio. *Agronomy Journal*, doi: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2012.0504>, 2014.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. 2ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009, p. 173-212.

BAIO, F, H, R.; SILVA, E, E.; VRECH, M, A.; SOUZA, F, H, Q.; ZANIN, A, R.; TEODORO, P, E. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. **Agronomy Journal**. V.110, n.2, 2018.

BAIO, F, H, R.; PETTENAN, A,L, CAMOLESE H.; FRANCISCHETTI, G,R,R. Evaluation of spray deposits with twin flat tip with air induction in two soybean stages. **Idesia**, v.34, n.4., p.43-48, 2016.

BHERING LL. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.17, n. 2, p.187-190, 2017.

RAPER, T,B,; VARCO, J,J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v.16, n.1, p.62-76, 2015.

## **AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE UMA MÁQUINA PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL NA CAFEICULTURA**

**ALAN DELON ANDRADE<sup>1</sup>, RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA<sup>2</sup>, LUCAS SANTOS SANTANA<sup>3</sup>,  
GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERAZ<sup>4</sup>, MARCO THULIO ANDRADE<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras – MG, Fone: (35) 988343582, alanmg13@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, UFLA, Lavras – MG.

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A fim de viabilizar a aplicação de fertilizantes à taxa variável, do ponto de vista de rendimento operacional, torna-se necessário o desenvolvimento de máquinas dedicadas a esse propósito e que atendam às características de cada cultura. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de uma máquina para aplicação de fertilizantes à taxa variável na cafeicultura. Essa avaliação foi feita por meio da caracterização do perfil de distribuição transversal e longitudinal, segundo metodologia apresentada pela norma ISO5690/1. Na avaliação da distribuição transversal foram avaliadas três taxas de aplicação, 1000, 2000 e 3000 kg/ha, com o produto sendo coletado por bandejas dispostas em uma faixa de largura total de 5,8 m. Foi calculado o coeficiente de variação (C.V.) para o perfil de distribuição transversal. Para caracterização do perfil de distribuição longitudinal, foram colocadas duas fileiras de bandejas, totalizando 5 m de cada lado da máquina, sendo realizadas cinco passadas. O material foi coletado e pesado, obtendo-se um valor médio de produto coletado em cada bandeja para cada passada e sendo calculados a diferença percentual e o C.V. para o perfil. Os valores de C.V. para a faixa de aplicação efetiva de 3,8 m foram muito baixos, com valores menores que 0,07%, indicando boa distribuição transversal. A uniformidade do perfil de distribuição longitudinal foi satisfatória, com valores de C.V. de 11,7 e 13,7 % para o lado esquerdo e direito da máquina, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaio de máquinas, perfil de distribuição de fertilizante.

### **DISTRIBUTION UNIFORMITY EVALUATION OF A MACHINE FOR FERTILIZER APPLICATION AT VARIABLE RATE IN COFFEE GROWING**

**ABSTRACT:** In order to make the application of fertilizers at variable rate a feasible operation, with high productivity, it is necessary to develop dedicated machines that meet the characteristics of each crop. The objective of the present work was to evaluate the distribution uniformity of a machine for fertilizers application at variable rate in coffee growing. This evaluation was made through the characterization of the transversal and longitudinal distribution profile, according to the methodology presented by ISO5690/1. In the evaluation of the transversal distribution, three application rates were evaluated, 1000, 2000 and 3000 kg/ha, with the product being collected by trays arranged in a total width of 5.8 m. The coefficient of variation (C.V.) was calculated for the transversal distribution profile. To characterize the longitudinal distribution profile, two rows of trays were placed, totaling 5 m on each side of the machine, making five passes with the machine. The material was collected and weighed, obtaining an average value of product collected in each tray for each pass and being calculated the percentage difference and the C.V. for the profile. The values of C.V. for the effective application range of 3.8 m were very low, with values lower than 0.07%, indicating good transversal distribution. The uniformity of the longitudinal distribution profile was satisfactory, with C.V. values of 11.7 and 13.7% for the left and right side of the machine, respectively.

**KEYWORDS:** Machine testing, fertilizer distribution profile.

**INTRODUÇÃO:** A agricultura de precisão (A.P.) pode contribuir de forma efetiva para o aumento de eficiência e qualidade das operações inerentes a qualquer atividade agrícola, e na produção de café não é diferente. Dentre as operações realizadas na cafeicultura, a aplicação de fertilizantes possui grande importância devido ao investimento feito na compra dos produtos a serem aplicados. Com o emprego da A.P. essa operação pode ser feita de forma mais eficiente, atendendo melhor às necessidades reais da cultura e causando o aumento de produtividade. Molin et al. (2010), em estudo comparando a aplicação à taxa variável e fixa na cultura do café, observaram que a área onde foram aplicados fertilizantes à taxa variável apresentou uma produtividade superior em 34%, se comparada com aquela onde foram aplicados à taxa fixa. Com relação à quantidade aplicada de nutrientes, foi verificada uma economia de 23% na quantidade de fósforo e um aumento de 13% na quantidade de potássio, na aplicação à taxa variável. No intuito de tornar aplicação de fertilizantes à taxa variável uma operação viável, do ponto de vista de rendimento operacional, são necessárias máquinas aptas a exercerem essa função. No cultivo do café, por se tratar de uma cultura com características físicas diferenciadas, ainda há a necessidade de desenvolvimento e avaliação de máquinas dedicadas a essa cultura e aperfeiçoamento das máquinas e equipamentos já existentes. Como referência, a norma ISO 5690/1, descrita por Mialhe (1996), apresenta a metodologia para realização de ensaio de máquinas de aplicação de fertilizantes e corretivos. De acordo com Sristava et al. (1993) a uniformidade de distribuição é um dos mais importantes critérios de desempenho das máquinas de aplicação de fertilizantes, a qual pode ser avaliada através dos ensaios de distribuição transversal e longitudinal apresentados pela norma. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de uma máquina para aplicação de fertilizantes à taxa variável na cafeicultura.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na fazenda Bom Jardim, localizada no município de Bom Sucesso, sul de Minas Gerais. Sendo utilizado um terreiro de secagem de café, por se tratar de uma área plana e com condições adequadas à realização dos ensaios de distribuição.

Foi avaliada uma máquina de aplicação de fertilizantes e corretivos, com sistema eletrônico embarcado, de modo a trabalhar variando a taxa de aplicação de acordo com um mapa de recomendação. A máquina possui reservatório com capacidade para 3 m<sup>3</sup> de produto, possui dois discos distribuidores que lançam o produto para os lados da máquina e possui duas esteiras que se movem independentemente e regulam a quantidade de produto que cai nos discos. A alteração da taxa de aplicação acontece em função da variação da velocidade das esteiras, que são movidas por motores hidráulicos. A velocidade dos motores é alterada em função do fluxo de óleo hidráulico que chega até eles; e esse fluxo, por sua vez, advém do sistema hidráulico do trator e é controlado por uma válvula hidráulica ligada ao sistema de controle da máquina. A máquina foi tracionada por um trator cafeeiro com potência nominal de 75 cv e vazão na bomba do hidráulico de 44 l/min.

Foram seguidas as diretrizes da norma ISO 5690/1 para realização dos ensaios de caracterização do perfil de distribuição transversal e longitudinal. Para coleta do produto, foram utilizadas bandejas com dimensões de 0,5 x 0,5 x 0,3 m, de acordo com a norma. O produto utilizado para realização dos testes foi uma mistura de calcário agrícola, serpentinito e gesso agrícola. As características físicas do produto, umidade, massa específica, granulometria e ângulo de repouso, foram determinadas conforme é proposto na norma.

No ensaio de distribuição transversal foram colocadas três linhas de bandejas dispostas transversalmente à direção de deslocamento da máquina. Em cada linha foram colocadas quatro bandejas (2 m) para cada lado da máquina e deixando um espaço no meio, de 1,8 m, por onde a máquina se deslocava (Figura 1 a). Foram avaliadas três diferentes taxas de aplicação (1000, 2000 e 3000 kg/ha), passando três vezes com máquina pelos coletores, em cada tratamento, pesando o material coletado e encontrando um valor médio para cada passada. Para cada tratamento foram realizadas três repetições. O perfil de distribuição transversal é avaliado pelo desvio padrão (C.V.) dos valores obtidos em cada posição (bandeja), ao longo da faixa de deposição. Quanto menor o valor do C.V., melhor é a distribuição, sendo considerados valores de C.V. abaixo de 33% como satisfatórios (WEISS, 1986). Nesse trabalho foi avaliada uma faixa de aplicação de 3,8 m (1,8 m de vão para deslocamento da máquina mais uma faixa de 1 m de cada lado, onde o produto foi aplicado). Foi escolhida essa distância pois representa bem a largura de trabalho real em que a máquina irá trabalhar na lavoura, que seria a distância entre as linhas de plantio; visto que os fertilizantes são aplicados apenas na linha de plantio.

Para realização do ensaio de distribuição longitudinal, foram colocadas duas fileiras com dez bandejas (5 m), espaçadas em 2,8 m, onde a máquina se deslocava no meio, paralelamente às duas fileiras (Figura 2 b). Nesse ensaio foi avaliada apenas uma taxa de aplicação (3000 kg/ha). Foram realizadas cinco passadas, a uma velocidade de 5,5 km/ha. Posteriormente, o material foi coletado e pesado, encontrando-se um valor médio de material coletado em cada bandeja, para uma única passada. Para avaliação do perfil de

distribuição longitudinal, é encontrado o maior valor dentre as posições avaliadas e este é usado como referência, sendo os demais valores expressados como uma porcentagem deste valor e quanto menor a diferença percentual, melhor é a distribuição. O perfil de distribuição também é avaliado através do C.V. dos dados.



FIGURA 1. Ensaio de caracterização do perfil de distribuição transversal (a) e ensaio de caracterização do perfil de distribuição longitudinal (b).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O produto utilizado nos ensaios foi caracterizado pelas seguintes características físicas: granulometria, ângulo de repouso, massa específica e umidade. Com relação à granulometria, 95,3 % da amostra do produto apresentou tamanho de partículas superior a 1 mm. Isso pode ser explicado pelo fato de que o produto estava úmido formando pequenos torrões. Por se tratar de um produto pulverulento, essa condição evita que ocorra deriva. O ângulo de repouso do material foi de 66,9°, apresentando baixo índice de escoamento, de acordo com a Enciclopédia Agrícola Brasileira (1994 apud Mialhe, 1996). Essa característica pode causar problemas na deposição do produto na máquina, implicando em variação na taxa de aplicação. A massa específica apresentada pelo material foi de 1,03 g/cm<sup>3</sup> e a umidade apresentou valor médio de 12,74%.

Na Figura 2 são apresentados os valores médios de massa de produto em cada coletor, esse valor varia em função da posição do coletor em relação à máquina e da dose de produto aplicada. A variação da quantidade recolhida em cada posição acontece pela razão de que o produto é lançado, pela ação da força centrífuga, havendo uma tendência natural de acúmulo de material próximo aos discos de distribuição. Outro fato que podemos observar na Figura 2 é a diferença da quantidade de produto coletado em função do lado de aplicação, onde o lado direito da máquina tende a aplicar maior quantidade de produto. Isso pode acontecer devido às características intrínsecas e de regulagem da máquina.

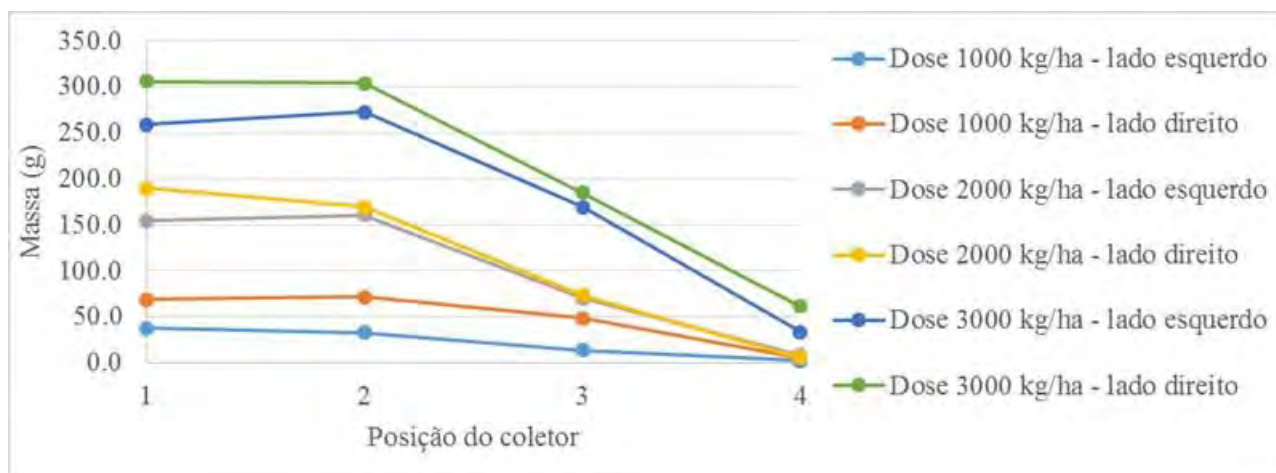


FIGURA 2. Massa de produto coletado em cada bandeja coletora em função de sua distância da máquina e da taxa de aplicação.

A largura total da faixa onde foi coletado material foi de 5,8 m, já para cálculo do C.V., foi utilizada uma faixa de aplicação de 3,8 m, considerando apenas a faixa de um metro de cada lado da máquina. Ao analisar a quantidade total de produto depositado nos coletores, notou-se que entre 71,2 e 82 % do produto foi aplicado na faixa de aplicação de 3,8 m. Na prática, o restante de produto que foi depositado em distâncias maiores que a faixa de aplicação avaliada seria interceptado por galhos e folhas da planta de café e acabaria

sendo depositado dentro da faixa de aplicação (BARROS et al. 2015). A Tabela 1 apresenta os valores de C.V. do perfil de distribuição transversal, para as diferentes doses analisadas e em cada lado da máquina.

TABELA 1. Coeficiente de variação do perfil de distribuição transversal de produto na faixa de aplicação.

Taxa de aplicação (kg/ha)	Coeficiente de variação (%)	
	Lado esquerdo	Lado direito
1000	0.07	0.02
2000	0.02	0.06
3000	0.03	0.00

Farret et al. (2008) analisaram o perfil de distribuição transversal, em diferentes configurações do sistema de distribuição e regulagens, e obtiveram valores de C.V. que variaram de 9,6 a 65%, para largura de trabalho entre 10 e 14 m. Nesse âmbito, Wener et al. (2007) avaliaram o desempenho de um conjunto formado por um trator agrícola equipado para agricultura de precisão e um distribuidor centrífugo não adaptado para aplicações de fertilizantes à taxa variável. Os autores encontraram, em condições de solo e relevo representativos de uma situação real de uso do conjunto mecanizado, valores de C.V. abaixo de 15% para larguras de trabalho entre 20,5 e 22,5 m.

O perfil de distribuição transversal é um indicador importante da efetividade da aplicação de fertilizantes no âmbito da A.P., pois permite a inferência sobre a precisão de aplicação a nível de planta, de forma individualizada, ou seja, é possível saber como será a distribuição do fertilizantes na área de influência do sistema radicular de cada cafeeiro. Sendo que a eficiência de absorção de nutrientes pela planta está diretamente ligada à morfologia do sistema radicular. Nesse sentido, encontra-se na literatura trabalhos que indicam que o local mais apropriado para distribuição de fertilizantes situa-se sob o dossel do cafeeiro, a uma distância variando de 0,1 a 0,7 m do ramo ortotrópico, a depender da cultivar e do sistema de manejo (COVRE et al., 2015; MOTTA et al., 2006). Dessa forma, conhecendo-se o perfil de distribuição transversal da máquina, torna-se mais fácil a sua correta regulagem para melhor atender às características de cada lavoura e realizar a aplicação de forma mais precisa, espacialmente.

Em relação ao perfil de distribuição longitudinal, na Figura 3 é possível verificar a variação da dose aplicada pela máquina ao observar a diferença na quantidade recolhida de produto por cada bandeja coletora.



FIGURA 3. Variação da dose aplicada em relação ao deslocamento longitudinal da máquina.

Na Figura 4 são apresentados os valores de variação percentual do perfil de distribuição longitudinal, tendo como referência (adotado como 100%) o maior valor encontrado ao decorrer da distância avaliada de 5 m de comprimento (10 coletores).



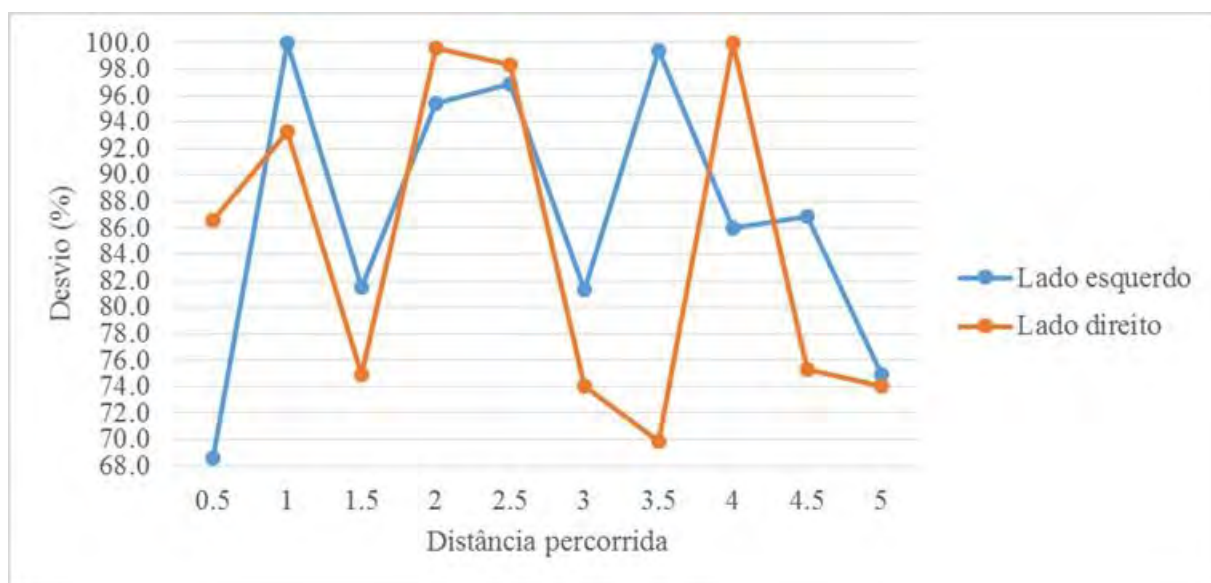


FIGURA 4. Variação percentual do perfil distribuição longitudinal, para uma taxa de aplicação de 3000 kg/ha.

Pode-se observar que do lado esquerdo da máquina a diferença percentual entre o maior e o menor valor encontrado foi de 31,3%, e do lado direito da máquina essa diferença foi de 25,94%. Em trabalho semelhante, Barros et al. (2015) encontraram valores de variação em torno de 19%. Werner et al. (2007) observaram que a variação longitudinal da aplicação de seu equipamento variava como se fosse em ciclos, e concluiu que essa variação foi devida à granulometria do produto, que interferiu na fluidez na máquina. Comportamento parecido foi observado no presente trabalho.

Com relação ao C.V. do perfil de distribuição longitudinal, esse foi de 11,7% para o lado esquerdo e 13,7% para o lado direito. Werner et al. (2007) encontraram valores entre 8,8 e 12,5% em seu trabalho, e os autores afirmam ainda que na maioria dos trabalhos encontrados na literatura, o valor de C.V. gira em torno de 10%. No presente trabalho, a utilização da mistura de calcário agrícola, serpentinito e gesso agrícola pode ter influenciado negativamente o comportamento da máquina. Pois esse produto possui baixo índice de escoamento, dificultado a operacionalidade do mecanismo dosador. A alta umidade do produto também pode ter influenciado nessa variação.

A avaliação do perfil de distribuição longitudinal visou demonstrar a estabilidade da máquina quando trabalhando com uma determinada taxa de aplicação, sendo analisada a variação causada por fatores mecânicos e da própria dinâmica da operação, como a alteração da velocidade das esteiras devido à variação do fluxo de óleo advindo do trator e a queda do produto em batelada devido ao seu ângulo de repouso.

Vale ressaltar que essa máquina tem a possibilidade de trabalhar tanto à taxa fixa, que pode ser definida no controlador, quanto à taxa variável, baseando-se em mapas de recomendação. No âmbito do A.P. a aplicação à taxa fixa é bastante útil quando se trabalha com zonas de manejo, onde cada zona requer uma mesma taxa de aplicação. Dessa forma, a taxa pode ser alterada manualmente no controlador, quando for feita a mudança entre zonas de manejo. Essa possibilidade é viável em situações em que não se dispõe de mapas de recomendação a serem inseridos no controlador.

**CONCLUSÃO:** A avaliação do perfil distribuição transversal mostrou que a máquina está apta para aplicação de fertilizantes na cafeicultura, atendendo bem às condições específicas da cultura. Por outro lado, o perfil de distribuição longitudinal não apresentou resultados tão satisfatórios. Isso pode ter ocorrido devido às características físicas do produto utilizado no ensaio, que dificultam seu escoamento. Acredita-se que a máquina pode apresentar resultados mais satisfatórios operando com fertilizantes granulados.

**AGRADECIMENTOS:** À UFLA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. À CAPES e CNPq pelas bolsas de pesquisa dos estudantes envolvidos no presente trabalho. À Fazenda Bom Jardim pela disponibilização do espaço, mão de obra e insumos utilizados no desenvolvimento do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, M. M.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; PALMA, M. A. Z.; SPAGNOLO, R. T. Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 223-232, 2015.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1006-1016, 2015.
- FARRET, I. S.; SCHLOSSER, J. F.; DURIGON, R.; WERNER, V.; KNOB, M. Variação da regulação no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1886-1892, 2008.
- MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios & certificação**. São Paulo: Shekinah, 1996. 722p.
- MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, A. V. A.; FRASSON, F. R.; FAULIN, G. D. C.; TOSTA, W. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.
- SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKMASTER, D. R. Engineering principles of agricultural machines. **Mich.: American society of agricultural engineers**, St. Joseph, n. 631.3/S774, 1993.
- MOTTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; MONTE SERRA, B. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 455-463, 2006.
- WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. 1986. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1986.
- WERNER, V.; SCHLOSSER, J. F.; ROZIN, D.; PINHEIRO, E. D.; DORNELLES, M. E. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 658-663, 2007.

## **AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM ÁREAS DE EUCALIPTO UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

**CAIQUE CARVALHO MEDAUAR<sup>1</sup>, SAMUEL DE ASSIS SILVA<sup>2</sup>, LUIS CARLOS CIRILO CARVALHO<sup>3</sup>, RAFAEL AUGUSTO SOARES TIBÚRCIO<sup>4</sup>, PAULO AUGUSTO SILVA MEDAUAR<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Produção Vegetal, UESC, Ilhéus – BA, Fone: (73) 991023742, caiquemedauar@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Engenharia Rural, UFES, Alegre – ES, Fone: (28) 999882927, samuel.assilva@gmail.com

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Ciências Agrárias e Ambientais, UESC, Ilhéus – BA, Fone: (73) 91489333, lcccarvalho@uesc.br

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Pesquisador, Depto. Pesquisa & Desenvolvimento Florestal, VERACEL CELULOSE S/A, Eunápolis – BA, Fone: (73) 991360106, rafael.tiburcio@veracel.com.br

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Analista Ambiental, OCT, Ibirapitanga – BA, Fone: (73) 991485545, gutomedauar@hotmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Objetivou-se identificar, por meio de imagens aéreas obtidas com sensor embarcado em veículo aéreo não tripulado, a sanidade das plantas daninhas após 90 e 120 dias de capina química em brotações de eucalipto. O estudo foi conduzido em um talhão de plantio de eucalipto, no município de Itabela-BA, em atividades de aplicação de herbicida pré-plantio, em áreas de reforma florestal. Para avaliar a sanidade das plantas daninhas após a aplicação de herbicida foram utilizadas imagens aéreas obtidas por meio de Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT). Após a aquisição das imagens, elas foram processadas para cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). No período de 90 dias após aplicação de herbicida a área apresentou uma infestação de plantas daninhas maior do que o observado no período de 120 dias.

**PALAVRAS-CHAVE:** sanidade, silvicultura, geoprocessamento.

### **EVALUATION OF WEED CONTROL IN EUCALYPTUS AREAS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to identify the weed health after 90 and 120 days of chemical weeding in eucalyptus shoots, using images obtained with Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The study was carried out in eucalyptus plantations, in Itabela, BA, in replanting areas during pre-planting application of herbicide. Aerial images obtained by an UAV were used to evaluate the health of the weed after the application of herbicide. After the images were acquired, they were processed to calculate the normalized difference vegetation index (NDVI). In the period of 90 days after application of herbicide the area presented a weed infestation greater than that observed in the period of 120 days.

**KEYWORDS:** health, forestry, geoprocessing.

**INTRODUÇÃO:** A ocorrência de plantas daninhas em talhões de plantio de eucalipto, tanto em reforma quanto em áreas de brotação, pode prejudicar o desenvolvimento da cultura devido à competição por água, luz e nutrientes, principalmente no período inicial de crescimento (TIBÚRCIO, 2010). De acordo com este autor, para evitar os prejuízos causados pelas plantas daninhas é recomendado efetuar o manejo das mesmas, sendo o método químico (herbicidas) o mais utilizado, devido a menor dependência de mão-de-obra e maior eficiência de controle na linha de plantio sem afetar o sistema radicular da cultura. Apesar de todas essas vantagens, o surgimento de plantas daninhas após um longo período de aplicação de herbicida em brotações pode ocorrer, sendo viável realizar um monitoramento em algumas épocas pré-estabelecidas. Partindo desse pressuposto, ainda há uma dificuldade no levantamento manual para identificação da sanidade das plantas daninhas, principalmente em áreas extensas de eucalipto em que é necessário grandes coberturas amostrais e

um maior nível de detalhamento das informações. Em termos de mapeamentos a interação da vegetação (mudas, plantas daninhas) com a radiação eletromagnética é importante, pois permite avaliar a variabilidade de um determinado plantio a nível de vigor vegetativo. É neste contexto, que se destacam os sensores embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que são capazes de medir a altura das plantas e condições gerais do plantio, como: localizar plantas daninhas, infestações de pragas e até mesmo detectar deficiências ou acúmulo de saúde (MEDEIROS, 2007). Diante do exposto, se objetivou identificar, através de imagens áreas obtidas com sensor embarcado em veículo aéreo não tripulado, a sanidade de plantas daninhas após 90 e 120 dias de capina química em brotações de eucalipto.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi conduzido em um talhão de plantio de eucalipto, localizado na região Extremo-Sul do Estado da Bahia, no município de Itabela, sob a latitude de 16° 34' 19" S e a longitude de 39° 33' 33" W, nas atividades de aplicação de herbicida pré-plantio, em áreas de reforma florestal com brotações de eucalipto de até 75 cm de altura. O espaçamento das plantas era de 5,0 m entre as linhas e 2,40 m entre as brotações (clones híbridos das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*). A aplicação foi realizada em um único talhão com extensão de 0,63 ha, sendo o produto químico utilizado a base de glyphosate. As pulverizações foram realizadas no mês de novembro de 2016, utilizando-se um pulverizador autopropelido John Deere, modelo 4630E, com potência nominal de 165 CV. Para avaliar a sanidade das plantas daninhas após a aplicação de herbicida foram utilizadas imagens aéreas obtidas por meio de Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT). Utilizou-se o VANT eBee-Ag, da empresa SenseFly, equipado de uma câmera Canon modelo S110 - NIR. Os voos foram realizados nos meses de novembro (pré-aplicação do herbicida) de 2016, fevereiro (90 dias após aplicação do herbicida) e março (120 dias após aplicação do herbicida) de 2017. Após a aquisição das imagens, foram construídos os ortomosaicos referentes ao talhão e ao período de avaliação. As imagens aéreas obtidas nos meses de novembro, fevereiro e março foram processadas no pacote computacional ArcGIS, versão 10.3, utilizando a ferramenta "Raster Calculator" para cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que é dado pela equação:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

em que: (NIR) corresponde à reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo e (RED) corresponde à reflectância na faixa espectral do vermelho. Posteriormente, foram construídos mapas temáticos da sanidade da vegetação e identificado às plantas daninhas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os mapas temáticos com os valores de NDVI para os meses de novembro, fevereiro e março estão apresentados na Figura 1 e é possível visualizar que o mês de novembro apresentou uma área bem limpa com baixo índice de plantas daninhas nas entrelinhas das brotações e pouco vigorosas (coloração verde clara), com exceção de uma região específica entre a terceira e a quinta linha próximo as brotações. Esse resultado já era esperado, uma vez que, em áreas de pré-plantio, anteriormente são aplicados herbicidas pré-emergentes. Essas condições são as mais propícias para se iniciar o plantio de novas mudas, o que geralmente em áreas de reforma é realizado logo em seguida após aplicação de um herbicida pós-emergente nas brotações. Avaliando o mapa após 90 dias de aplicação, é possível observar comportamento distinto ao mapa do período anterior em várias regiões, com uma elevada infestação de plantas daninhas, seja elas visualizadas por manchas esverdeadas claras (plantas daninhas com baixo valor de NDVI) ou manchas esverdeadas escuras (plantas daninhas com elevado valor de NDVI). Esse resultado se justifica, em partes, pelo fato do produto aplicado no mês de novembro, ser pós-emergente, permitindo que as sementes dessas plantas germinassem em período posterior a aplicação.

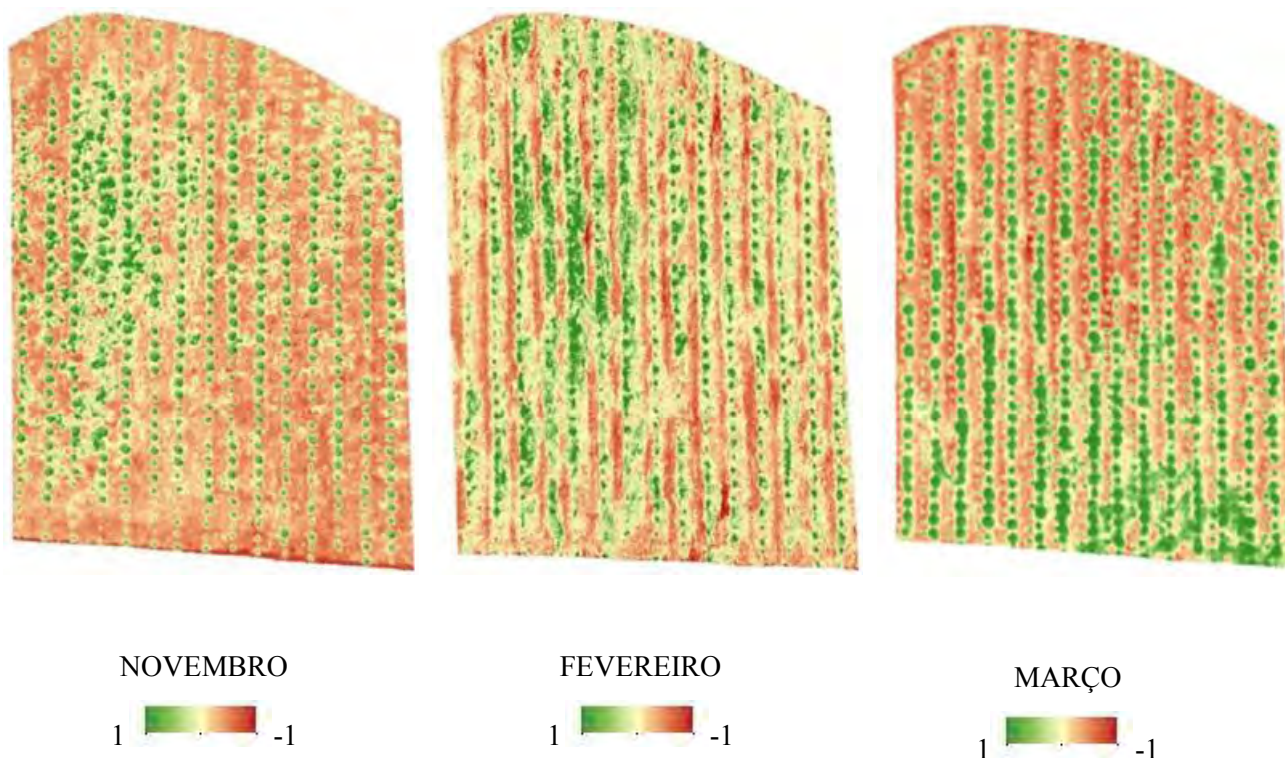


FIGURA 1. Mapas de NDVI para os períodos de pré-aplicação (NOVEMBRO), 90 dias pós-aplicação (FEVEREIRO) e 120 dias pós-aplicação (MARÇO).

Para o mês de março, pode-se perceber que em algumas regiões específicas do mapa houve um aumento do valor de NDVI para as plantas daninhas, que iniciaram seu crescimento próximo as novas mudas ou próximo as brotações (quadrante inferior). Esses resultados relatados após 120 dias de aplicação podem acarretar sérios prejuízos ao plantio jovem, e se não forem corretamente corrigidos podem exercer interferência de natureza alelopática no eucalipto, hospedar pragas e dificultar os tratos silviculturais (MEDEIROS et al., 2016). O cuidado por parte da infestação das plantas daninhas é mais expressivo nos dois primeiros anos após o plantio do eucalipto, sendo a identificação da sanidade e densidade das ervas invasoras fatores relevantes para um manejo adequado (GARAU et al., 2009). Embora o gênero *Eucalyptus* apresente espécies de rápido crescimento, estas não estão livres da interferência das plantas daninhas, o que pode ter como consequência decréscimos quantitativos e qualitativos da sua produção (TUFFI SANTOS et al., 2006).

Em linhas gerais, as imagens obtidas pelo VANT utilizadas na identificação das plantas daninhas, permitiu evidenciar visualmente através da ferramenta de NDVI, as áreas onde houve ausência e desenvolvimento da sanidade das mesmas.

**CONCLUSÃO:** No período de 90 dias após aplicação de herbicida a área apresentou infestação de plantas daninhas maior do que o observado no período de 120 dias. O uso de VANTs permitiu identificar por meio de mapas temáticos a evolução temporal das plantas daninhas após aplicação de herbicidas.

## REFERÊNCIAS

GARAU, A. M.; GHERSA, C. M.; LEMCOFF, J. H.; BARAÑAO, J. J. Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: effects of competition on sapling growth and survivorship. *New Forests*, v. 37, n. 3, p. 251-264, 2009.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MEDEIROS, W. N.; MELO, C. A. D.; TIBURCIO, R. A. S.; SILVA, G. S. da.; MACHADO, A. F. L.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A. Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de

Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, 2016.

TIBURCIO, R. A. S. **Seletividade de Herbicidas para Eucalipto visando extensão de uso para sistemas agrosilviculturais**. 2010. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006.

## **AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA EM CANA-DE-AÇÚCAR USANDO IMAGENS ESPECTRAIS**

**NELSON FELIPE OLIVEROS MESA<sup>1</sup>, RODOLPHO TININI<sup>2</sup>, ANA FLAVIA BONAMIGO<sup>3</sup>,  
BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, MSc, Estudante de doutorado, Engenharia Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (19) 35211033, nelson.mesa@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Montes Claros – MG.

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Mecânica, Profa Doutora, Engenharia Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O teor de clorofila é um parâmetro amplamente utilizado para o diagnóstico do estado nutritivo da cana-de-açúcar por estar correlacionado com a concentração de nitrogênio da planta. Já foi demonstrado amplamente que existe uma relação do teor de clorofila com as propriedades óticas das folhas, permitindo assim a implementação de métodos baseados em imagens para estimação da clorofila. No presente trabalho objetivou-se o desenvolvimento de um modelo de previsão do teor de clorofila em mudas de cana-de-açúcar a partir do processamento de imagens espectrais na região visível do espectro eletromagnético. Para atingir o objetivo foram utilizadas técnicas de modelagem multivariadas para expressar o teor de clorofila como função do espectro de resposta. Utilizaram-se métodos quimiométricos para chegar no melhor modelo preditivo do teor de clorofila, obtido usando a resposta em absorvância com métricas satisfatórias de ajuste e erro em relação ao método analítico, consequentemente expressando o potencial de monitoramento das mudas a partir de técnicas de imageamento apresentando vantagens de maior abrangência espacial e possibilidade de automação do monitoramento quando comparadas com o medidor portátil de clorofila SPAD.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processamento de imagens, reflectância, absorvância, espectroscopia, quimiometria.

### **CHLOROPHYLL CONTENT EVALUATION USING SPECTRAL IMAGES**

**ABSTRACT:** The chlorophyll content is a widely-used parameter to sugarcane nutritive status diagnostics for the reason of being correlated to plant nitrogen concentration. It already been broadly demonstrated that there is a relationship between chlorophyll content and leaf optical proprieties, thus allowing the implementation of imagery based methods for chlorophyll estimation. This work aimed to develop a chlorophyll predictive model in sugarcane seedlings though spectral images processing in the electromagnetic spectra visible region. To achieve the objective were used multivariate model techniques to express the chlorophyll content as a function of the response spectrum. There were used chemometrical methods to develop the best chlorophyll predictive model, developed using the absorbance response with satisfactory metrics of fit and error related to the analytical reference method, therefore demonstrating the seedlings monitoring potential through imagery techniques presenting advantages of improved spatial coverage and allowing the automation of the monitoring process when compared to the SPAD meter.

**KEYWORDS:** Images processing, reflectance, absorbance, spectroscopy, chemometrics.

**INTRODUÇÃO:** O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção de 736 mmt (milhões de toneladas métricas) que representa 39 % da produção mundial, seguido por Índia (18%) e China (7%) (FAO, 2017). O setor sucroalcooleiro destina mais da metade (53,8%) da produção de cana-de-açúcar à fabricação de etanol (CONAB, 2017), tornando o Brasil o segundo maior produtor de etanol do mundo, com uma produção de 7,29 bilhões de galões (ano 2016), que representam 27,44% da produção mundial, superado unicamente pelos Estados Unidos (57,66%) (RFA, 2018). Nesse contexto e na busca de novas tecnologias para a maximização da produção, o sistema de mudas pré-brotadas (MPB) se apresenta como

uma nova alternativa de multiplicação de mudas no qual se plantam gemas de colmos pré-germinadas em condições adequadas para garantir plantas com melhores características fisiológicas. Esta tecnologia é uma grande promessa na multiplicação rápida de novas variedades de cana-de-açúcar (FRAGA, 2015). Pensando no monitoramento das mudas no seu tempo de permanência em casa de vegetação, uma série de medições biométricas são realizadas quantificando o desenvolvimento fisiológico das plantas, sendo o teor de clorofila uma das variáveis avaliadas, sendo um parâmetro amplamente utilizado em estudos fisiológicos para o diagnóstico do estado nutritivo, pois correlaciona-se com a concentração de nitrogênio na planta que, por sua vez, é indicativo do rendimento da cultura (BLACKMER e SCHEPERS, 1994). A relação do teor de clorofila com as propriedades óticas já foi amplamente demonstrada, constatando-se a variação das propriedades óticas (refletância, transmitância e absorvância) em função do teor de clorofila (CARTER e KNAPP, 2001). Essa relação permite que seja realizada a estimativa do teor de clorofila a partir do processamento de imagens espectrais, combinando maior abrangência espacial, maior eficiência do monitoramento e possibilita a automação do processo, com o qual é possível afirmar que, quando comparado com a medição usando instrumentos portáteis como o SPAD, a medição a partir de imagens apresenta vantagens que suportam seu potencial de implementação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi desenvolvido entre os meses de agosto e setembro do ano 2017, na casa de vegetação do campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A casa de vegetação na qual foi implantado o experimento é do modelo *Poly House* com cobertura de polietileno. Dentro da casa de vegetação foram dispostas 4 mesas de subirrigação, para a irrigação de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar. Foram avaliadas as cultivares IAC1099, IAC 5000 e IAC5094. Trabalharam-se duas doses diferentes para a composição da solução nutritiva, onde cada uma das doses foi aplicada em duas das mesas de subirrigação, dessa forma duas mesas foram submetidas à dose completa recomendada para mudas em casa de vegetação (60% da dose recomendada para adubação de cana-de-açúcar totalmente desenvolvida em campo) e as duas mesas restantes foram submetidas tratamento que consta de uma solução com a metade da dose recomendada (30 % da dose completa recomendada para adubação em campo). O sistema de controle da fertirrigação é composto por um sistema de controle temporizado em laço aberto ON-OFF, os atuadores do sistema de controle são as bombas e cada uma das mesas, encarregadas de fornecer as soluções nutritivas. Esse sistema de controle funciona em função da umidade no substrato, a qual é monitorada com uma rede de sensores capacitivos (DECAGON EC5), e do nível de solução na mesa a partir de uma chave de nível. O esquema experimental implementado no experimento para a espacialização das unidades experimentais foi de fatorial em parcela subdividida com blocos ao acaso, sendo três variedades, cada uma com 6 repetições e 2 doses com 2 repetições. Foi realizada uma amostragem semanal durante as quatro semanas de permanência das mudas na casa de vegetação, onde na última semana as amostras foram retiradas das mesas de subirrigação para induzir estresse e obter dessa forma maior variação da clorofila, retirando três amostras por parcela da mesma variedade em cada uma das três parcelas de cada mesa, sendo quatro mesas foram retiradas trinta e seis amostras por dia, obtendo finalmente um total de 144 amostras em total para o experimento. De cada amostra foi retirada uma porção com peso de 30 mg e foi medido o teor de clorofila com o medidor de clorofila SPAD (502 Plus – Konica Minolta) em triplicata, em cada uma dessas amostras posteriormente foram realizados os procedimentos de aquisição de imagens e o método analítico de medição de clorofila. Para a aquisição das imagens espectrais de refletância e absorvância, empregou-se um sistema de aquisição baseado no sistema descrito por Wetterich (2012). Após a aquisição das imagens, as amostras foram submetidas à extração e quantificação das clorofilas (Chl *a*, Chl *b* e Chl T) seguindo o procedimento de Hiscox e Israelstam (1979) modificado para 30 mg de amostra. Para a obtenção da informação para a criação dos modelos preditivos foi desenvolvido um algoritmo de processamento de imagens espectrais, dessa forma as imagens foram segmentadas, organizados os valores de resposta dos pixels e criação da matriz de resposta espectral, adaptando o algoritmo apresentado por Tinini (2015). Foi realizada a regressão multivariada para a quantificação dos parâmetros relacionados com os teores de clorofila na folha (chl *a*, chl *b* e chl T). Os métodos empregados para realizar a regressão multivariada foram Regressão por Quadrados Mínimos Parciais (PLS por sua sigla em inglês *Partial Least Squares*) e Regressão por Componentes Principais (PCR – *Principal Components Regression*). As amostras foram divididas em dois conjuntos de dados, um conjunto com os dados correspondentes a 2/3 das amostras para realizar a calibração e a validação cruzada, e um conjunto com os dados correspondentes a 1/3 das amostras para a validação externa (predição). Assim, a análise de regressão multivariada ocorreu em três etapas, a calibração multivariada (treino de previsão) e a validação cruzada ou interna (desempenho de previsão) e a validação externa (predição). Os parâmetros utilizados para avaliar a eficácia dos modelos construídos foram o RMSECV (*Root Mean Square Error of*



*Cross Validation* – raiz da média quadrática de validação cruzada) e o  $R^2_{cal}$  (coeficiente de determinação do modelo de calibração). Um bom modelo de regressão multivariada deve ter valores baixos de RMSEC (Raiz do erro médio quadrático de calibração) e RMSECV e alto valor de  $R^2_{cal}$  e  $R^2_{val}$  (FERREIRA, 2015). A validação dos modelos foi realizada através da aplicação dos dados separados para validação ao modelo de calibração construído.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para identificar o comportamento das amostras foliares das três variedades de cana de açúcar submetidas aos dois tratamentos diferentes de fertirrigação, foram analisadas as três variedades e nos quatro tempos de desenvolvimento fisiológico diferentes, sendo o último um estado de estresse fisiológico, conforme apresentado na figura 1. Os valores encontrados se mostram próximos a valores apresentados em trabalhos realizados para a avaliação da clorofila em cana-de-açúcar (SILVA, JIFON, *et al.*, 2007; BOARETTO, CARVALHO, *et al.*, 2014).

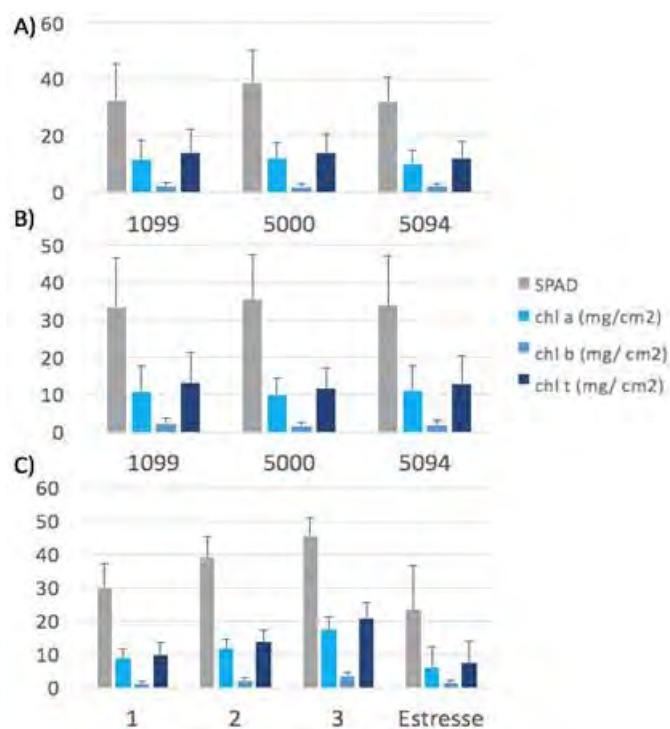


FIGURA 1. Caracterização das medições de clorofila separadas por cultivares para: A) tratamento da dose completa, B) tratamento da metade da dose e c) tempo de desenvolvimento.

Devido a que o sensor SPAD demonstrou estar superestimando o teor de clorofila, realizou-se a regressão entre as medições do sensor e as obtidas por meio do método analítico de referência (FIGURA 2). A relação entre o método destrutivo e o medidor de clorofila SPAD foi expressada por um modelo linear, obtendo coeficientes de determinação ( $R^2$ ) positivos e estatisticamente significativos com valores de 0,76 para clorofila total, 0,75 para clorofila *a* e 0,57 para clorofila *b*. Embora o SPAD tenha sido projetado para a detecção do teor de clorofila em folhas e apresente boas correlações com os métodos analíticos, em concordância com o exposto por Ali *et al.* (2012) o teor de clorofila nas folhas é afetado por grande variedade de fatores como genótipo da planta, concentração de nutrientes, espessura de folha ou estresse biótico. Posteriormente foram avaliadas as respostas em refletância e absorvância das amostras para a construção dos modelos preditivos usando os métodos PLS e PCR. Inicialmente foi calculado o espectro médio representando o comportamento espectral das folhas de cana-de-açúcar, onde é possível verificar as regiões de maior resposta à fonte de excitação (FIGURA 3).

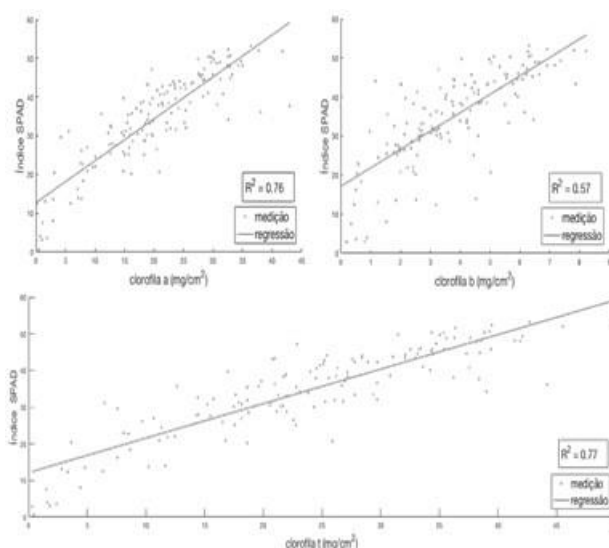


FIGURA 2. Relação entre o teor de clorofila medido pelo método de referência e pelo sensor de clorofila SPAD.

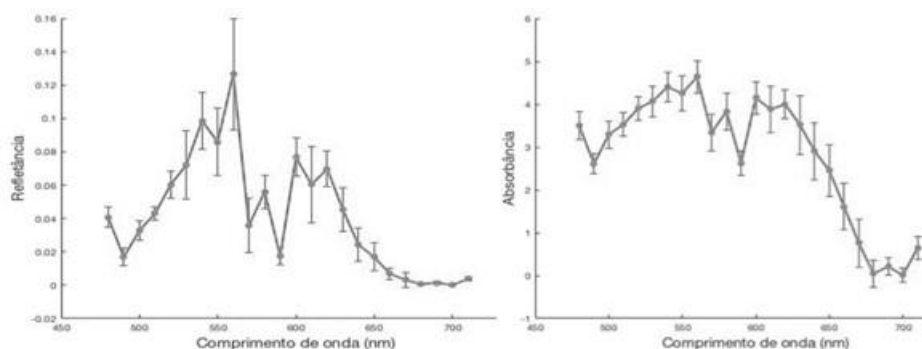


FIGURA 3. Espectros médios de resposta para refletância e absorbância.

As relações entre cada uma das regiões avaliadas e o teor de clorofila foram verificadas usando o espectro de correlação para cada uma das respostas apresentado na Figura 4. Para o caso de refletância não há uma região bem definida de alta correlação pois os valores ao longo do espectro encontram-se na faixa de -0,4 a 0,2. Salienta-se que a maior correlação obtida em refletância é na região dos 700 nm estando em concordância com o reportado no trabalho de Xiaobo, Jiyong, *et al.* (2011) e é uma correlação inversa equivalente à reportada no trabalho de Endo, Yasuoka e Tamura, (2001) devida a resposta da clorofila na região do *red edge*. Observa-se também como, mesmo que com valores negativos, a resposta em absorbância demonstrou um melhor espectro de correlação com o teor de clorofila. Existe uma clara relação inversamente proporcional entre a resposta em absorbância com o teor de clorofila, assim as regiões que apresentaram maiores correlações foram respectivamente: 480, 490, 500, 600, 630 3 640 nm. Lichtenthaler e Buschmann (2001), reportaram que os pigmentos *Chl a* e *Chl b* apresentam a região de maior absorção nas regiões azul (428 até 453) e vermelho (ao redor de 661 e 641 nm), consequentemente no presente trabalho, a região perto do azul (480 a 500 nm) e a região do vermelho (600 a 640 nm) demonstraram as maiores correlações. As regiões de absorbância de 670 nm em diante, apresentam baixas correlações indicando menor poder preditivo do teor de clorofila em comparação com as regiões do azul e vermelho, o qual explica-se devido a que teores de clorofilas relativamente baixos são suficientes para saturar a absorção na região do vermelho (RAO, GARG, *et al.*, 2008).

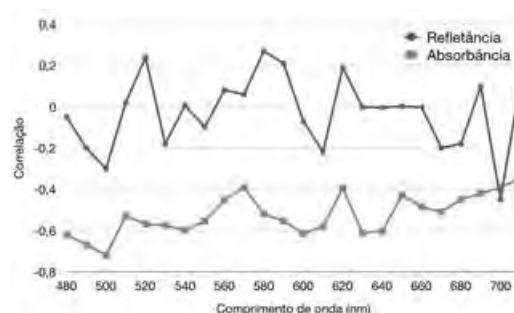


FIGURA 4. Correlograma para as respostas em refletância e absorbância

Em base às correlações aplicaram-se os métodos de modelagem multivariada PLS e PCR. Para o caso da absorbância foi possível realizar uma seleção de variáveis para melhorar o desempenho do modelo. Na TABELA 1 são apresentados todos os parâmetros das regressões de predição. Evidencia-se os melhores modelos preditivos resultaram da resposta em absorbância, demonstrando os maiores valores de  $R^2P$  (coeficiente de determinação na predição) implicando em melhor ajuste do modelo no conjunto de dados de predição, e menores valores de RMSEP (RMSE na predição) o que implica em melhor exatidão na predição. Em termos gerais observa-se um melhor desempenho do método PLS demonstrando melhor desempenho e trabalhando com menos variáveis latentes em relação aos componentes usados pelo método PCR. O melhor modelo preditivo obtido neste estudo foi na resposta de absorbância usando a seleção de variáveis e o método PLS. Consequentemente, a o modelo preditivo baseado na absorbância e seleção de variáveis apresentou um  $R^2P$  (0,72) próximo ao apresentado pelo sensor SPAD (0,77) em relação ao método analítico. Baseado nesses resultados, é possível concluir que é possível implementar o modelo preditivo baseado em absorbância na região do visível trabalhando com um desempenho similar ao do sensor SPAD, no entanto, a implementação do método baseado em processamento de imagens demonstra o potencial de aprimoramento em relação à abrangência espacial e automação do monitoramento da clorofila.

TABELA 1. Parâmetros dos modelos de regressão PLS e PCR.

Method	LVs/PCs	$R^2C$	RMSECV	$R^2P$	RMSEP
Chlorophyll a prediction using Reflectance Response					
PLS	11	0.857	6.335	0.628	7.197
PCR	16	0.858	6.252	0.631	7.312
Chlorophyll b prediction using Reflectance Response					
PLS	13	0.829	1.361	0.659	1.455
PCR	16	0.819	1.362	0.662	1.432
Total chlorophyll prediction using Reflectance Response					
PLS	11	0.858	7.420	0.630	8.525
PCR	16	0.859	7.309	0.638	8.584
Chlorophyll a prediction using Absorbance Response					
PLS	11	0.861	6.356	0.711	6.562
PCR	18	0.860	6.308	0.697	6.718
Chlorophyll b prediction using Absorbance Response					
PLS	8	0.823	1.325	0.723	1.293
PCR	15	0.807	1.357	0.710	1.309
Total Chlorophyll prediction using Absorbance Response					
PLS	11	0.861	7.446	0.718	7.665
PCR	18	0.859	7.413	0.703	7.585

O melhor modelo demonstrou melhor desempenho respeito aos modelos desenvolvidos em pesquisas similares para estimativa do teor de clorofila usando imagens espectrais e análise multivariado (FIELLA e PENUELAS, 1994; WU, WANG, *et al.*, 2016; ABDEL-RAHMAN, AHMED e BERG, 2010), ainda que empregaram métodos mais sofisticados de regressão multivariada e usaram uma região mais ampla do espectro eletromagnético. No trabalho de Rao *et al.* (2008) para a predição do teor de clorofila usando imagens hiperespectrais em cana-de-açúcar, reportaram um melhor coeficiente de determinação (0,93) e consequentemente um melhor desempenho, no entanto é importante enfatizar que o modelo apresentado por

eles é  $R_{860}/R_{560}$  (baseado em refletância), apresentando coerência com o exposto no presente trabalho, onde a região de 560 nm demonstra a maior absorvância da clorofila.

**CONCLUSÃO:** Nesta pesquisa, um sistema de imageamento espectral foi empregado para capturar imagens de refletância e absorvância em amostras de cana-de-açúcar. Predições relativamente boas para os teores das clorofilas, obtendo métricas de desempenho para o melhor modelo de  $R^2$  de 0,72 e RMSEP de 7,6 mg cm<sup>-2</sup>, demonstrando ajuste similar ao do sensor SPAD ( $R^2$  de 0,72) demonstrando o potencial para empregar o método e o modelo preditivo para ter ganhos em relação a abrangência espacial e possibilidade de automação do monitoramento no sistema produtivo MPB em cana-de-açúcar.

**AGRADECIMENTOS:** A Faculdade de Engenharia Agrícola pela disponibilização da área e suporte a condução do experimento e ao CNPQ pelo fornecimento da bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B.; BERG, M. V. Estimation of sugarcane leaf nitrogen concentration using in situ spectroscopy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 12S, 2010. S52-S57.
- ALI, M. M. et al. A New Image Processing Based Technique to Determine Chlorophyll in Plants. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, p. 1323-1328, 10 dez. 2012.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Plant Anal**, 25, 1994. 1791-1800.
- CARTER, G. A.; KNAPP, A. K. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. **American Journal of Botany**, v. 88, n. 4, p. 677-684, 2001.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar. **Observatório Agrícola**, Brasília, v. 3, n. 4, p. 1-77, Abril 2017. ISSN 2318-7921.
- ENDO, T.; YASUOKA, Y.; TAMURA, M. **Spatial estimation of biochemical parameters of leaves with hyperspectral imager**. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Singapore: Centre of Remote Imaging, Sensing and Processing. 2001.
- FAO. FAO Stats. **FAO**, maio 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 03 set. 2017.
- FERREIRA, M. C. **Quimiometria, Conceitos, Métodos e Aplicações**. Campinas: Editora UNICAMP, 2015. 493 p.
- FIELLA, I.; PENUELAS, J. The Red Edge Position and Shape as Indicators of Plant Chlorophyll Content, Biomass and Hydric Status. **International Journal of Remote Sensing**, 15, 1994. 1459-1470.
- FRAGA, E. F. **Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-propagadas (MPB)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2015. 111 p.
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E., et al. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. [S.l.]: John Wiley and Sons, Inc., 2001.
- RAO, N. R. et al. Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery. **Journal of Agricultural Science**, 146, 2008. 65-75.
- SILVA, M. D. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane, 05 December 2007. ISSN 1677-9452.
- TININI, R. **Avaliação não destrutiva de sólidos solúveis por meio de imagens espectrais de uvas submetidas à desidratação parcial**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015. 135 p.
- WETTERICH, C. **Uso de imagens de fluorescência para monitoramento da evolução do cancro cétrico**. São Carlos: Instituto de física de São Carlos, 2012.

WU, Q. et al. Study on the optimal algorithm prediction of corn leaf component information based on hyperspectral imaging. **Infrared Physics and technology**, v. 78, p. 66-71, 2016. ISSN dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2016.07.011.

XIAOBO, Z. et al. In vivo noninvasive detection of chlorophyll distribution in cucumber (*Cucumis sativus*) leaves by indices based on hyperspectral imaging. **Analytica Chimica Acta**, n. 706, p. 105-112, 2011. ISSN 10.1016/j.aca.2011.08.026.

## **CARACTERÍSTICAS DO VINHO DE DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DETERMINADAS COM BASE NO VIGOR VEGETATIVO DA VIDEIRA**

**HENRIQUE OLDONI<sup>1</sup>, ISABEL D. COUTINHO<sup>2</sup>, ROMERO C. ROCHA JÚNIOR<sup>3</sup>, LUIZ A. COLNAGO<sup>4</sup>, LUÍS H. BASSOI<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP. henriqueoldoni@gmail.com.

<sup>2</sup> Química, Pós-doutoranda, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, UFV, Viçosa – MG.

<sup>4</sup> Farmacêutico, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A qualidade de vinhos é um fator crucial para a competitividade desse produto no mercado. A determinação de zonas de manejo em um vinhedo pode auxiliar na busca de um vinho com melhor qualidade. Assim, o índice de vigor vegetativo por diferença normalizada (NDVI), obtido com o medidor portátil Crop Circle® ACS-430 na fase de maturação, aos 99 dias após a poda, foi utilizado para delimitar duas zonas de manejo em um pomar de videira cv. Chardonnay em Espírito Santo do Pinhal, SP. Em cada zona delimitada, foram determinados o número de cachos por planta (NC), a produtividade (kg planta<sup>-1</sup>) e o peso da poda após a colheita. O mosto e o vinho de cada zona de manejo foram analisados por ressonância magnética nuclear. A zona com maiores valores de NDVI apresentou maiores valores de NC, produtividade e peso de poda. Nas amostras de mosto, entre os vários compostos determinados, o metabólito alanina foi maior nas amostras da zona de maior NDVI. A análise de componentes principais dos dados espectrais das amostras de vinho mostrou uma clara discriminação entre as amostras de vinho das zonas de maior e menor NDVI. A delimitação de zonas de manejo para fins de colheita específica com base no NDVI permitiu a produção de dois vinhos de composição química quantitativamente diferente.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vitis vinifera* L., vigor vegetativo, ressonância magnética nuclear.

### **WINE CHARACTERISTICS OF DIFFERENT MANAGEMENT ZONES DETERMINED BASED ON VEGETATIVE VIGOR OF VINE**

**ABSTRACT:** The quality of wines is a crucial factor for the competitiveness of this product in the market. The determination of management zones in a vineyard can help in the search for a better quality wine. Thus, the normalized difference vegetative vigor index (NDVI) obtained with the portable meter Crop Circle® ACS-430 was used to delimit two management zones in a wine vine orchard cv. Chardonnay, in maturation phase, at 99 days after pruning, in Espírito Santo do Pinhal, state of São Paulo, Brazil. In each delimited zone, the number of bunches per plant (NC), yield and pruning weight after harvesting were determined. The must and wine from each management zone were analyzed by nuclear magnetic resonance. The zone with higher values of NDVI showed higher values of NC, yield and pruning weight. In the samples of must, among the several compounds determined, the alanine metabolite was higher in the zone of greater NDVI. The analysis of the main components of the spectral data of the wine samples showed a clear discrimination between the wine samples of the major and minor NDVI zones. The delimitation of NDVI-based management zones for specific harvesting allowed the production of two wines with a quantitatively different chemical composition.

**KEYWORDS:** *Vitis vinifera* L., vegetative vigor, nuclear magnetic resonance.

**INTRODUÇÃO:** A qualidade de vinhos é um fator crucial para a competitividade desse produto no mercado. Nesse contexto, a divisão de um pomar em regiões distintas quanto a qualidade da produção torna-

se importante na busca de um vinho com maior qualidade. As práticas de viticultura de precisão (VP) permitem identificar essas diferenças dentro de um pomar com base em diversos fatores, dentre eles o vigor vegetativo da planta (TROUGHT; BRAMLEY, 2011; KING et al., 2014). A cromatografia líquida de alta resolução (CLAE), a espectrometria de massa (EM) e a ressonância magnética nuclear (RMN) são técnicas analíticas mais empregadas em *screening* metabólito (RAMANLINGAM et al., 2015). A RMN apresenta muitas vantagens quando comparada com outras técnicas. A RMN permite a elucidação da estrutura de metabólitos desconhecidos, de forma não destrutiva (o analito pode ser reutilizado). As análises não dependem da volatilidade do analito, da polaridade, da massa molecular, do tamanho, da estrutura química e da matriz da amostra, proporcionando uma maior reprodutibilidade e menor erro experimental em comparação com os métodos de EM, além de exigir uma preparação mínima da amostra (KHAKIMOV et al., 2014). Portanto, o presente trabalho teve como objetivo delimitar zonas de manejo para fins de colheita específica em pomar de videira de vinho, cv. Chardonnay, com base no vigor vegetativo do dossel e avaliar a influência na composição do mosto e do vinho por ressonância magnética nuclear de alto campo (<sup>1</sup>H RMN).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado em pomar comercial de videira de vinho (*Vitis vinifera* L.), cv. Chardonnay sobre porta enxerto Paulsen 1103, com área de 1,1 ha, situado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP e localizado nas coordenadas geográficas 22° 10' 49.1" S, 46° 44' 28.4" O e altitude média de 875 m. O clima da região foi classificado como B3rB'3a' (ROLIM et al., 2007), e o solo como Argissolo (IBGE/EMBRAPA, 2001). O espaçamento utilizado no pomar foi de 2,5 x 1,0 m entre fileiras e plantas, respectivamente, conduzidas em sistema de espaldeira (poda em cordão Royat unilateral). As videiras foram irrigadas por gotejamento com uma linha lateral por fileira e dois emissores por planta, com vazão média de 1,88 L h<sup>-1</sup>. O pomar era dividido em duas áreas de mesmo tamanho, denominadas área 1 e área 2 (A1 e A2), sendo A1 e A2 com poda de produção realizada deixando duas e três gemas apicais por esporão, respectivamente. Um sensor óptico ativo terrestre Crop Circle® ACS-430 (Holland Scientific, Lincoln, NE, USA) foi utilizado para aquisição dos dados de reflectância no vermelho visível e no infravermelho próximo para determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Um receptor GPS (*Global Position System*; HiPer® GGD, TOPCON), com sinal corrigido pelo mecanismo RTK (*Real Time Kinematic*), foi utilizado para o georreferenciamento dos caminhamentos realizados com o sensor sobre o dossel de todas as fileiras de plantas do pomar. As leituras foram realizadas aos 99 dias após a poda (DAP), na fase de maturação. Os dados de NDVI foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017) e análise geoestatística com o ajuste de semivariogramas locais (HAAS, 1990), utilizados para o procedimento de interpolação dos dados pela krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007), utilizando o programa Vesper 1.62 (MINASNY et al., 2005). A partir dos dados interpolados, mapas de distribuição espacial foram confeccionados e zonas de manejo para fins de colheita específica foram delimitadas pelo método de Otimização de Jenks (JENKS, 1963), buscando a divisão de zonas de maior e menor valor de NDVI em ambas as áreas do pomar. Para a determinação do número de cachos por planta (NC) e produtividade (kg planta<sup>-1</sup>), foram selecionadas aleatoriamente na área A1 e na área A2, 10 plantas por zona de manejo e 6 plantas por zona para determinação do peso da poda após a colheita. A análise de variância foi realizada para identificar a existência de diferença significativa dos valores médios de cada uma das três variáveis entre zonas de manejo. Amostras de mosto foram coletadas de 6 diferentes plantas das zonas de maior e menor vigor vegetativo de cada área do pomar. Para a vinificação da produção as zonas de maior vigor vegetativo das duas áreas foram consideradas como uma única zona e o mesmo para a de menor vigor, devido à necessidade de uma quantidade mínima de 500 kg para os processos de desengaçó e esmagamento das uvas. Assim sendo, a vinificação foi realizada separadamente para a produção da zona de maior vigor da de menor vigor vegetativo. Após 6 meses de maturação do vinho, foram coletadas em 3 garrafas amostras de vinho de cada zona de manejo (uma para cada barrica de armazenamento). A análise metabólica empregando ressonância magnética nuclear para o núcleo de hidrogênio foi realizada para as amostras de mosto e vinho. As amostras de mosto foram preparadas a partir alíquotas de 900 µL, 100 uL de tampão fosfato, 0,02% de NaN<sub>3</sub> e o pH foi ajustado para 3,10 (±0,02) de acordo com Godelmann et al. (2013). Com a finalidade de detectar compostos em baixa concentração, 2 mL das amostras de vinho foram secas sob pressão reduzida, e então dissolvidas em 900 uL de D<sub>2</sub>O, 100 uL de tampão fosfato, 0,02% de NaN<sub>3</sub> e o pH foi ajustado para 3,10 (±0,02). Para calibração interna, 15 uL do sal TSP-d4 a 0,01 mmol foi adicionado. As análises foram realizadas no equipamento de 14,1 Tesla (600 MHz para a frequência do hidrogênio), marca Bruker e modelo Advance III, usando a sonda BBO 600 S3 5 mm de detecção inversa e gradiente de campo em Z, a 298 K. A sequência NOESY 1D foi utilizada para obtenção dos espectros de RMN. Os espectros foram adquiridos com 256 scans (NS), janela espectral de 20 ppm, tempo de aquisição de 2,72 s (AQ), tempo de espera entre cada aquisição de 5,0 s (D1), 64 K de pontos

digitalizados. O espectro de RMN 1D foi assinalado usando a base de dados do software Chenomx 8.1; e os sinais atribuídos foram confirmados com espectros de RMN 2D (COSY, HSQC, e 2D J-Resolved). Os dados de RMN de  $^1\text{H}$  na faixa entre 0,00 e 10,00 ppm foram convertidos para arquivos do tipo ASCII empregando o software Bruker TopSpin 3.5. Cada conjunto de dados foi arranjado em uma matriz  $X_{L \times J}$ . A região correspondente ao sinal residual da água e TSP foi excluída. O pré-processamento dos dados e análise de componentes principais (PCA) foram realizadas empregando o software Matlab R2016b e PLS-Toolbox.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais nas duas áreas avaliadas. Duas zonas de manejo para fins de colheita específica foram delimitadas com base nos valores de NDVI em ambas as áreas (Figura 1), buscando manter um padrão de operacionalidade para a colheita manual realizada pelos funcionários da vinícola. A zona de manejo delimitada com os maiores valores de NDVI (maior vigor vegetativo) foi denominada zona 1 e a de menores valores de NDVI (menor vigor vegetativo) como zona 2. O NC e a produtividade foram maiores na zona 1 (Tabela 1), sendo que em A1 essa diferença foi mais significativa. Portanto, o maior vigor vegetativo associou-se à maior produção da planta. Os valores médios do peso da poda de cada zona de manejo foram significativamente diferentes ( $p < 0,01$ ) em ambas as áreas. Isso evidencia a real divisão das zonas com base no vigor vegetativo da planta utilizando o NDVI como indicador.

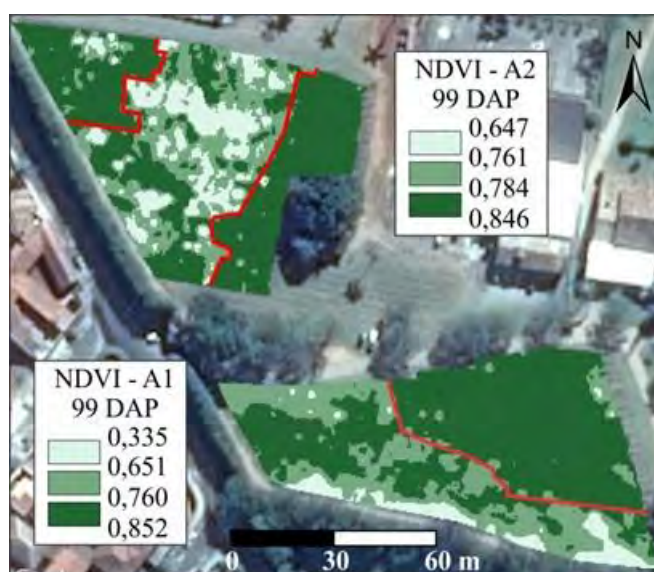


FIGURA 1. Mapas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido aos 99 dias após a poda (DAP) nas áreas 1 e 2 (A1 e A2), com as zonas de manejo delimitadas (limite em vermelho).

TABELA 1. Valores médios do número de cachos por planta (NC), produtividade e peso de poda, referente às zonas de manejo delimitadas.

Zona	NC <sup>(a)</sup>		Produtividade (kg planta <sup>-1</sup> )		Peso da poda (kg)	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
1	14,3	15,4	1,25	1,43	0,48	0,47
2	9,5	11,3	0,64	0,94	0,25	0,33
Pr(>F)	0,013**	0,093*	<0,001***	0,071*	<0,001***	0,002***

<sup>a</sup> NC: número de cachos por planta; \*, \*\* e \*\*\*: diferença significativa a 10, 5 e 1% de significância, respectivamente.

A análise metabólica empregando RMN de  $^1\text{H}$  permitiu a detecção dos principais compostos presentes nas amostras de mosto e vinho. Nas amostras de mosto, foi identificado como composto majoritário a glicose, seguida pela frutose, além dos compostos ácido málico, GABA, os aminoácidos prolina, alanina e treonina, e também produto inicial da fermentação, como o etanol. O metabólito alanina mostrou diferença significativa entre zonas de manejo de cada área. O teor de alanina foi maior nas amostras da zona 1 e menor nas amostras da zona 2. A análise de *fingerprinting* metabólico das amostras dos vinhos permitiu a identificação dos aminoácidos valina, alanina, prolina, fenilalanina e tirosina; os ácidos orgânicos succínico, málico e cítrico; os álcoois 2,3-butanediol, glicerol e etanol; e os açúcares glicose e frutose. Os compostos



fenólicos também estavam presentes nos vinhos, tais como ácido clorogênico, ácido caféico, ácido gálico, ácido siríngico e outros flavonoides ainda não identificados (Figura 2).

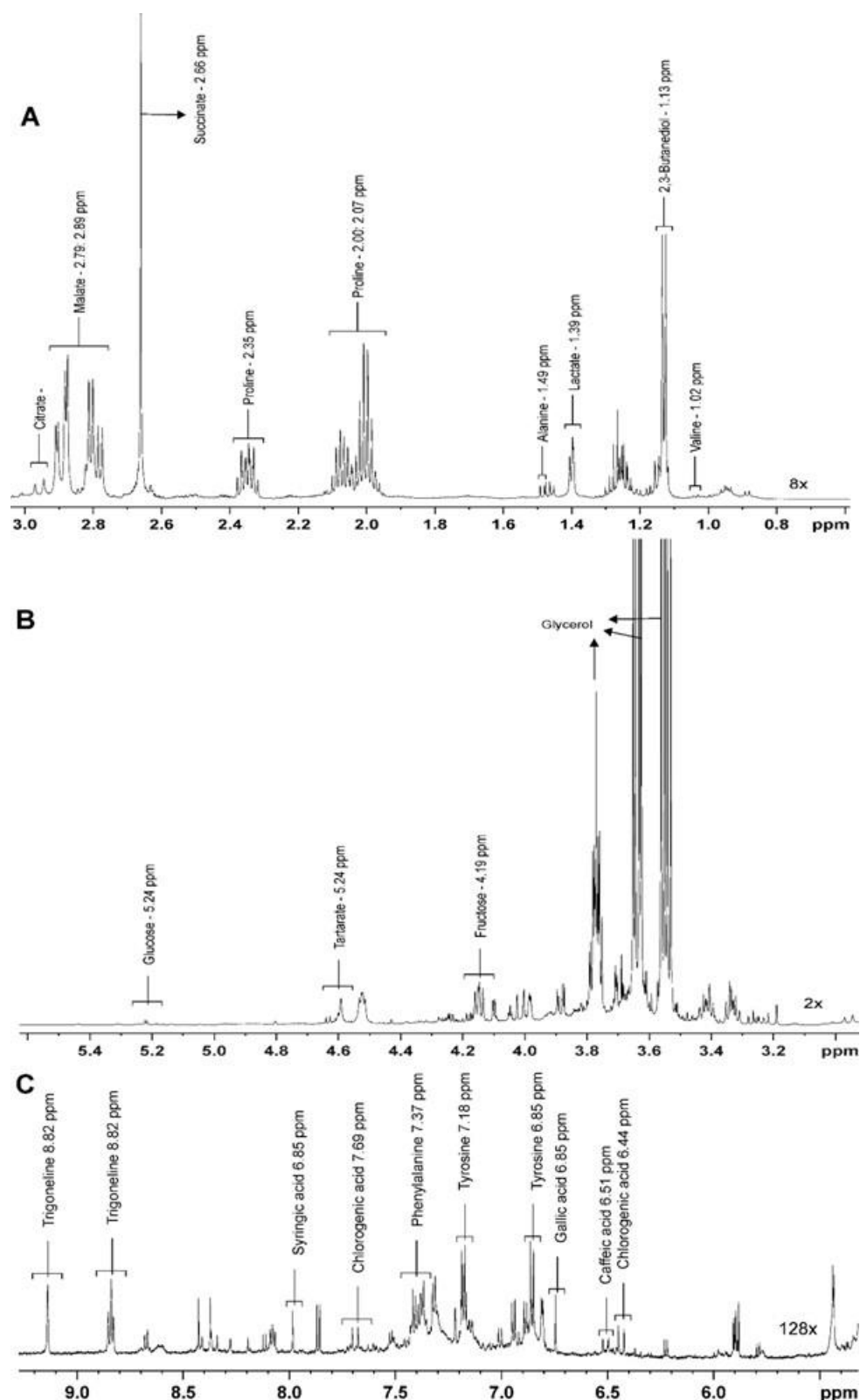


FIGURA 2. Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  do vinho Chardonnay pH 3,10. A) região de aminoácidos e ácidos orgânicos; B) região de carboidratos e glicerol; C) região de compostos fenólicos minoritários.

A análise de componentes principais dos dados espectrais das amostras de vinho mostrou uma clara discriminação entre as amostras de vinho das zonas 1 e 2. O gráfico de escores resultante da PCA obtido pela combinação de PC 1 (38,14% de variância explicada) e PC 3 (14,67% de variância explicada) é mostrado na Figura 3. Uma diferenciação entre os vinhos foi observada ao longo da PC 3 onde o vinho da zona 1 foi

colocado em valores negativos da PC 3, enquanto o vinho da zona 2 foi exibido em valores positivos da mesma componente. Diferente da PC 3, as variáveis associadas às PC 1 e PC 2 (componentes responsáveis por explicar a maior parte da variância dos dados) não contribuíram significativamente para discriminar os vinhos devido à influência do sinal do metabólito majoritário referente ao glicerol. Através dos gráficos dos *loadings*, foi possível identificar o peso das variáveis (metabólitos) responsáveis pela discriminação entre as amostras. E mesmo que uma pequena parte da variância total dos dados sustente a diferenciação entre os vinhos, isso pode ser considerado importante, visto que pequenas variações em alguns poucos compostos do vinho podem proporcionar diferença em suas propriedades organolépticas. Além disso, a divisão de zonas de manejo foi realizada em um pomar de área relativamente pequena, onde variações do vigor podem não ser tão expressivas como em pomares de maior porte, o que pode não ter proporcionado maiores diferenças entre os compostos químicos dos vinhos. De modo geral, através dos gráficos de *loadings* os compostos das regiões alifática (caracterizada pelos aminoácidos e ácidos orgânicos) e dos carboidratos (caracterizadas pelos álcoois e açúcares) foram identificados com maior correlação no vinho da zona 1 (maior vigor vegetativo). No entanto, para os compostos da região aromática (caracterizada pelos compostos fenólicos), em geral, uma maior correlação foi verificada na zona 2 (menor vigor vegetativo). A principal diferença entre as amostras foi devido a maior correlação dos sinais do metabólito frutose nas amostras da zona 1, sugerindo que o vigor vegetativo influenciou no processo de fermentação.

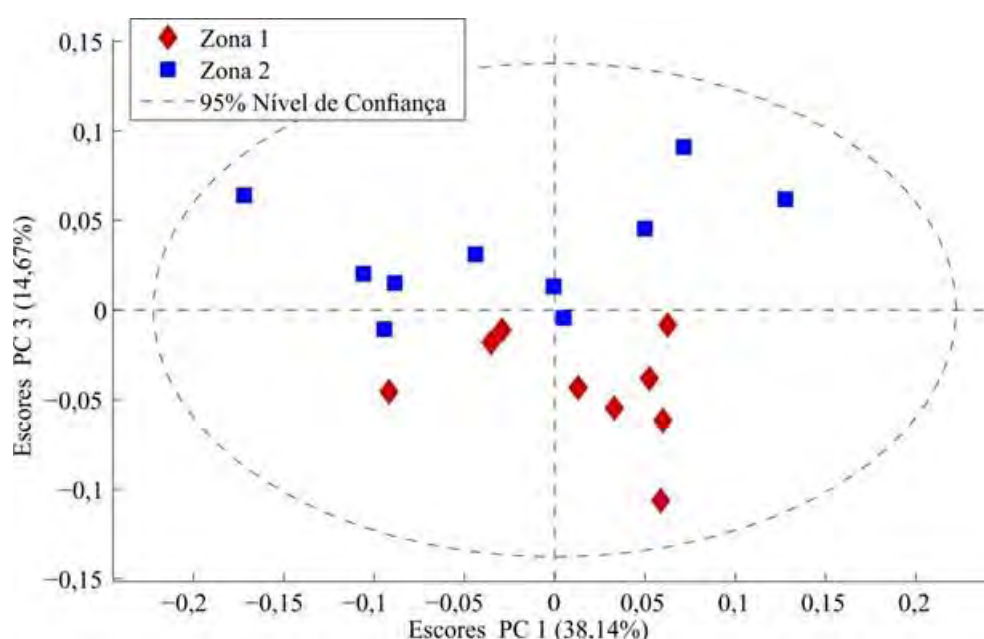


FIGURA 3. Gráfico de escores (PC 1 vs PC 3) da análise de componentes principais (PCA) de dados espectrais obtidos a partir de espectros de  $^1\text{H}$  RMN de vinhos produzidos a partir das uvas da zona de manejo 1 (losangos vermelhos) e 2 (quadrados azuis).

**CONCLUSÃO:** A delimitação de zonas de manejo para fins de colheita específica em pomar de videira de vinho cv. Chardonnay utilizando apenas como base a variabilidade espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) permitiu a produção de dois vinhos de composição química quantitativamente diferente. A espectroscopia por ressonância magnética nuclear ( $^1\text{H}$  RMN) permitiu identificar diferenças na composição química entre os vinhos das duas zonas de manejo delimitadas.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pelo suporte prestado durante o trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- GODELMANN, R.; FANG, F.; HUMPFER, E.; SCHÜTZ, B.; BANSBACH, M.; SCHÄFER, H.; SPRAUL, M. Targeted and nontargeted wine analysis by 1H NMR spectroscopy combined with multivariate statistical analysis. Differentiation of important parameters: grape variety, geographical origin, year of vintage. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.5610-5619, 2013.
- HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v.24, n.7, p. 1759-1769, 1990.
- IBGE – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 – Escala 1:5.000.000. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php)>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- JENKS, G.F. Generalization in statistical mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v.53, n.1 p.15–26, 1963.
- KHAKIMOV, B.; BAK, S.; ENGELSEN, S. B. High-throughput cereal metabolomics. **Journal of Cereal Science**, v. 59, p. 393-418, 2014.
- KING, P.D.; SMART, R.E.; McCLELLAN, D.J. Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke's Bay, New Zealand. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 20, p. 234–246, 2014.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**: Open Source Geospatial Foundation Project. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- RAMALINGAM, A. et al. Proteomics and Metabolomics: Two Emerging Areas for Legume Improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1-21, 2015.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- TROUGHT, M.C.T.; BRAMLEY, R.G.V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterising spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, p.17, p.79–89, 2011.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2. ed. Chichester, Wiley and Sons, 2007. 315p.

## **CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO A PARTIR DE MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

**EDUARDO ANTONIO SPERANZA<sup>1</sup>, CÉLIA REGINA GREGO<sup>2</sup>, CRISTINA APARECIDA GONÇALVES RODRIGUES<sup>3</sup>, GUILHERME MARTINELI SANCHES<sup>4</sup>, ARIIVALDO LUCHIARI JUNIOR<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Cientista da Computação, Analista, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP, Fone: (19) 3211-5700, eduardo.speranza@embrapa.br.

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP, Fone: (19) 3211-5700, celia.grego@embrapa.br.

<sup>3</sup> Zootecnista, Pesquisadora, Embrapa Territorial, Campinas – SP, Fone: (19) 3211-6200, cristina.rodrigues@embrapa.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola, Estudante de doutorado, UNICAMP, Campinas – SP, Fone (19) 3521-1266, guilherme.sanches@cropman.com.br

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP, Fone: (19) 3211-5700, arioivaldo.luchiari@embrapa.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A caracterização da variabilidade espacial de uma área de cultivo agrícola pode ser identificada a partir de diversos fatores não antrópicos e temporalmente estáveis relacionados ao solo e à cultura. Alguns desses fatores, principalmente aqueles relacionados ao solo, podem ser de difícil obtenção, uma vez que a coleta e análise de amostras de solo georreferenciadas é uma tarefa normalmente dispendiosa com relação ao custo e ao tempo do processo. Por outro lado, diversos desses fatores podem ser altamente correlacionados com a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), que pode ser medida por meio de sensores de indução eletromagnética (IEM) em altas resoluções espaciais. Este trabalho descreve um experimento realizado em talhão de cultivo de cana-de-açúcar, onde foram obtidos dados de CEa do solo a partir do sensor EM38-MK2<sup>®</sup>. A partir desses dados, foram identificadas duas unidades de gestão diferenciada (UGDs) onde a variabilidade do solo é bastante distinta. Essas UGDs podem ser tratadas de maneira diferenciada em atividades dentro do ciclo da agricultura de precisão, permitindo a realização da coleta e análise de solo utilizando quantidades limitadas de amostras, de acordo com a variabilidade espacial identificada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Unidades de Gestão Diferenciada, Indução Eletromagnética, Densidade Amostral

### **CHARACTERIZATION OF SOIL SPATIAL VARIABILITY FROM ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASURES**

**ABSTRACT:** The spatial variability characterization of a crop field can be identified from several non-anthropogenic and temporally stable soil and plant features. Some of these features, especially those related to soil, can be difficult to obtain, since collections and analysis of georeferenced soil samples are usually expensive and time consuming tasks. Moreover, several of these features can be highly correlated with the apparent electrical soil conductivity (ECa), which can be measured by electromagnetic induction sensors in high spatial resolutions. This paper describes an experiment in a sugarcane crop field, where soil ECa data were obtained from the EM38-MK2<sup>®</sup> sensor. From these data, two management zones (MZs) with quite different soil variability were identified. These UGDs can be differently treated in activities within the precision agriculture cycle, allowing the collection and analysis of soil using limited quantities of samples, according to the identified spatial variability.

**KEYWORDS:** Management Zones, Electromagnetic Induction, Sample Density

**INTRODUÇÃO:** O gerenciamento localizado de uma área agrícola deve levar em consideração diferentes fatores relacionados à lavoura. Dentre esses fatores, a caracterização da variabilidade espacial do solo é um dos mais importantes. Essa caracterização pode ser utilizada em diferentes aplicações relacionadas ao manejo racional de insumos e de água para a irrigação (FORTES et al., 2015). As amostragens de solo tradicionais, devido ao seu alto custo operacional e de análise laboratorial, são normalmente realizadas considerando baixas densidades. Segundo Molin et al. (2015), o padrão utilizado para densidade amostral de solo no Brasil é entre 3 a 5 ha por amostra. Considerando esse padrão, é necessário que a densidade amostral seja aumentada, normalmente por meio de interpolação espacial geoestatística, pois baixas densidades amostrais prejudicam a identificação adequada da variabilidade espacial, interferindo na qualidade do mapa final e na sua capacidade de representar adequadamente a realidade. Entretanto, para que sejam obtidos bons resultados com o uso da geoestatística, devem ser considerados de 0,5 a 2 ha por amostra, o que torna questionável o padrão adotado no Brasil. Na cultura de cana-de-açúcar, Souza et al. (2006) utilizaram a forma da paisagem como critério auxiliar à otimização do esquema amostral na estimação dos atributos do solo Latossolo, e indicaram a maior concentração de pontos nos locais de maior variabilidade espacial dos atributos do solo na pedofoma côncava e convexa em relação à pedofoma linear. Vieira et al. (2008) ressaltam que a definição da quantidade de amostras não pode ser fixada sem que alguns fatores importantes sejam considerados, tais como o conhecimento prévio sobre o ambiente e a variável que está sendo amostrada, além dos recursos financeiros, humanos e de tempo disponíveis para efetuar a amostragem que são particulares para determinada área. Devido à essas dificuldades, a coleta de dados a partir de sensores de campo capazes de obter dados de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo em altas resoluções espaciais tem se tornado constante (ADAMCHUK et al., 2011). As medidas de CEa permitem a identificação cumulativa de diversas propriedades do solo relacionadas à produtividade de uma lavoura, fazendo com que estas se tornem importantes indicadores de variabilidade espacial (LI et al., 2007). Diversas aplicações para caracterização da variabilidade espacial proporcionada por medidas de CEa do solo vem sendo desenvolvidas ao longo dos anos, principalmente em tarefas relacionadas ao delineamento de unidades de gestão diferenciada (UGDs). Para essa tarefa, esse tipo de dado tem sido utilizado em conjunto com dados de altimetria (PERALTA e COSTA, 2013); altimetria e produtividade (KITCHEN et al., 2005); atributos físicos e químicos obtidos a partir de amostragens de solo (MORARI et al., 2009; MORAL et al., 2011; SCUDIERO et al., 2013); e índices de biomassa (LI et al., 2007). Este trabalho teve como principal objetivo a caracterização da variabilidade espacial do solo presente em uma lavoura de cana-de-açúcar. Essa caracterização foi realizada a partir de medidas de CEa realizadas por meio de sensor proximal, com o intuito de delinear UGDs para auxílio à definição da grade de amostragem para as atividades futuras em uma área de estudo em agricultura de precisão.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em um talhão de cultura de cana-de-açúcar da Fazenda Santa Helena, localizada em Ibaté-SP, com coordenadas centrais aproximadas 180899E e 7567018S, no sistema de referência de coordenadas WGS84 UTM Zona 23S, e área de aproximadamente 14 ha (FIGURA 1). O sistema de plantio mecanizado adotado foi do tipo Meiosi (Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente) gerenciado pela Usina Santa Cruz, arrendatária da produção da propriedade.



FIGURA 1. Talhão experimental de cana-de-açúcar. Fonte: *Google Maps* (<http://maps.google.com>).

Para a caracterização da variação da CEa, foi utilizado o sensor EM38-MK2<sup>®</sup> (Geonics Limited, Ontario, Canadá) (FIGURA 2), inserido em um tubo plástico componente do seu conjunto, e acoplado a uma esteira de plástico resistente ao atrito (FIGURA 3), para que pudesse ser conduzido em campo por um quadriciclo. Os dados coletados pelo sensor (frequência de coleta de dados de 1Hz, espaçamento de 10 m entre passadas e velocidade de deslocamento de 10-15 km h<sup>-1</sup>) foram transmitidos instantaneamente via conexão *Bluetooth* para um equipamento GPS de mão modelo Juno (Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA, EUA).



FIGURA 2. Sensor EM38-MK2<sup>®</sup> (Geonics Limited, Ontario, Canada).



FIGURA 3. Estrutura plástica para utilização do sensor EM38-MK2<sup>®</sup>.

Foram obtidas medidas de CEa do solo na posição dipolo horizontal em ambos espaçamentos de bobinas do sensor (0.5 m e 1.0 m), em fevereiro de 2018, antes da operação de subsolagem para o plantio da cana. Dados técnicos, construção e especificação do sensor são descritos em Heil e Schmidhalter (2017). Esses atributos foram uniformizados em uma grade regular de 5 m, a partir de interpolação espacial utilizando o algoritmo da krigagem ordinária (VIEIRA, 2000) (FIGURA 4).

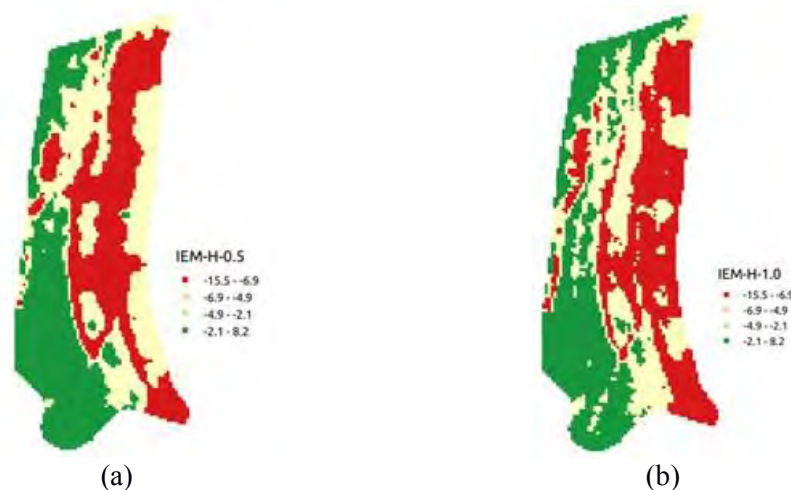


FIGURA 4. Condutividade elétrica aparente do solo (em mS/m) após a interpolação espacial, considerando os espaçamentos de bobina de 0,5 m (a) e 1,0 m (b).

A partir dos dados exibidos na FIGURA 4, foram obtidos mapas de UGDs que permitiram a identificação de diferentes níveis de variabilidade espacial das propriedades do solo para a área estudada. Para a obtenção

desses mapas, foram utilizados algoritmos de agrupamento específicos para dados espaciais (SPERANZA et al., 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após a realização de análises de agrupamento, considerando diversas quantidades de UGDs, chegou-se à conclusão de que, por razões logísticas e de aplicabilidade do modelo, e por esta ser considerada uma área experimental pequena, seria estabelecida uma divisão em 2 UGDs, considerando os procedimentos e dados referenciados na seção anterior. A FIGURA 5 exibe o mapa final de UGDs utilizado nos experimentos.



FIGURA 5. Mapa de UGDs definido para a área experimental, considerando CEa do solo em duas profundidades.

Com o intuito de analisar a variabilidade com relação aos dados de CEa do solo, medidas relacionadas à estatística descritiva das amostras internas à cada uma das duas UGDs estabelecidas foram observadas. A TABELA 1 exibe essas medidas para os dados correspondentes aos mapas IEM-H-0.5 e IEM-H-1.0.

TABELA 1. Estatística descritiva considerando dados de CEa (em mS/m) no dipolo horizontal com espaçamento de 0,5 m de profundidade (IEM-H-0.5) e 1,0 m de profundidade (IEM-H-1.0), separada por UGDs.

Estatística	IEM-H-0.5			IEM-H-1.0		
	Área Total	UGD1	UGD2	Área Total	UGD1	UGD2
Média	-4,60	-0,10	-10,57	-4,27	-2,41	-6,74
Intervalo	52,65	46,92	26,34	23,73	19,70	14,32
Desvio Padrão	8,62	8,56	3,60	3,52	3,49	1,43
Variância	6221	3550	2673	6213	3551	2671

De acordo com a TABELA 1, as amostras contidas na UGD1, tanto para o mapa IEM-H-0.5 quanto para o mapa IEM-H-1.0, são representadas por um intervalo maior de medidas, proporcionando, conseqüentemente, uma maior variância e desvio padrão quando comparadas com as amostras contidas na UGD2. De fato, se analisarmos os mapas da FIGURA 4, é fácil verificar que, na área representada pela UGD1 na FIGURA 5, existe grande variação dos quatro níveis de classificação adotados, principalmente na região noroeste desses mapas. Por outro lado, a área representada pela UGD2 na FIGURA 5 mostra, para ambos os mapas da FIGURA 4, uma predominância muito grande de amostras com baixa CEa, além da ausência de amostras contendo valores altos de CEa. O modelo digital de elevação da área experimental, exibido na FIGURA 6, mostra uma tendência de declive da área nas direções do norte até o sul e do leste ao oeste.

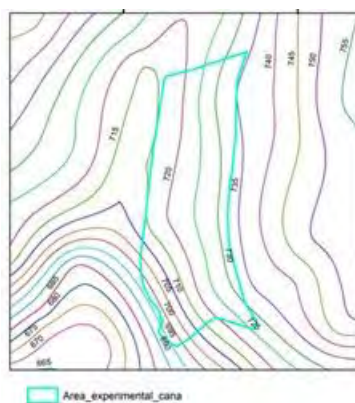


FIGURA 6. Modelo Digital de Elevação da área experimental.

Considerando o declive especificado na FIGURA 6, é possível correlacionar os valores mais altos de CEa do solo também com áreas mais baixas, onde há tendência de aumento da umidade e, portanto, da concentração maior de argila no solo, tornando-o mais apto à condutividade elétrica. Assim, é possível utilizar o mapa da FIGURA 5 para fundamentar a proposição de um esquema de amostragem de solo georreferenciada para caracterização das propriedades físicas e químicas do solo considerando amostras compostas, em diferentes pontos em cada uma das UGDs, semelhante ao que foi utilizado por Luchiar Jr. et al. (2000). Nesse caso, considerando os dados da Tabela 1, poderiam ser coletadas mais amostras na área da UGD1 (com maior variabilidade espacial) do que na área da UGD2 (com menor variabilidade espacial), permitindo a redução da quantidade de amostras e custos relacionados à análise de solo.

**CONCLUSÃO:** Este trabalho descreveu uma área experimental de cana-de-açúcar, para caracterização da variabilidade espacial da área de cultivo a partir de dados de condutividade elétrica do solo (CEa), obtidos por meio de sensoriamento proximal. Como resultado, foi possível verificar a eficácia do sensor EM38-MK2 em realizar medidas com alta acurácia e capazes de proporcionar a divisão da área em pelo menos duas subáreas, UGD1 e UGD2, identificadas, respectivamente, como áreas com maior e menor variabilidade espacial. Essa subdivisão servirá para guiar a atividade de amostragem de solo, fazendo com que áreas com variabilidade espacial desprezível sejam amostradas em menores densidades de pontos, proporcionando a redução de custo e tempo com análises laboratoriais.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos à Usina Santa Cruz e à Fazenda Santa Helena, pela disponibilização da área experimental e de seu corpo técnico para atendimento às questões operacionais dos experimentos. Agradecemos também à Rede AP da Embrapa e ao Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), pela disponibilização de recursos para execução dos experimentos; e ao pesquisador Carlos César Ronquim, da Embrapa Territorial, pela articulação para utilização da área experimental.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; ROSSEL, R. A. V.; MARX, D.V.; SAMAL, A.K. Using targeted sampling to process multivariate soil sensing data. *Geoderma*, v. 163, n. 1-2, p. 63-73, 2011.
- FORTES, R.; MILLÁN, S.; PRIETO, M.H.; CAMPILLO, C. A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. *Precision Agriculture*, v. 16, n. 4, 2015.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. The application of EM38: determination of soil parameters, selection of soil sampling points and use in agriculture and archaeology. *Sensors*, v. 17, n. 11, p. 2540, 2017.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH K. A.; MEYERS, D.B.; DRUMMOND, S.T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005.
- LI, Y.; Zhou, S.; Feng, L.; Li, H-Y. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 56, n. 2, p. 174-186, 2007.
- MOLIN, J.P., AMARAL, L.R., COLAÇO, A.F. Agricultura de precisão. 1. ed. São Paulo: Oficina



de Textos, 2015, 238p.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; REBOLLO, F. J. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 2, p. 223-230, 2011.

MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68, n. 1, p. 97-107, 2009.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L.. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 218-226, 2013.

SCUDIERO, E.; TEATINI, P.; CORWIN, D.L.; DEIANA, R.; BERTI, A.; MORARI, F. Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 54-64, 2013.

SOUZA, Z.M., MARQUES JUNIOR, J., PEREIRA, J.T., MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.3, p.829-836, 2006

SPERANZA, E.A.; CIFERRI, R.R.; GREGO, C.R.; VICENTE, L.E. A Cluster-Based Approach to Support the Delineation of Management Zones in Precision Agriculture. In: **e-Science (e-Science), 2014 IEEE 10th International Conference on**. IEEE, 2014. p. 119-126.

VIEIRA, Sidney R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. **GIS Brasil**, v. 98, 2000.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R.. **Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M. & LANDELL, M.G.A. (Eds). *Cana de açúcar*. 1 ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008, p. 839-852.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. **Embrapa Monitoramento por Satélite-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2008.

## **CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO EM UVAS VINÍFERAS COM USO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM**

**DANIELLE CRISTINA DA SILVA DIAS<sup>1</sup>, ALISSON PEREIRA DOS SANTOS<sup>2</sup>, IARA JEANICE SOUZA FERREIRA<sup>3</sup>, DANIEL DOS SANTOS COSTA<sup>4</sup>, BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro – BA.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia da Computação, Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Juazeiro – BA, lissonpsantos2@gmail.com.

<sup>3</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, iarajeanice@hotmail.com.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola, Professor, Colegiado de Engenharia da Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro – BA, daniel.costa@univasf.edu.br.

<sup>5</sup> Engenheira Mecânica, Professora, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, barbara.teruel@feagri.unicamp.br.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A qualidade dos cultivos de uva e seus estágios de maturação são fundamentais na etapa pós-colheita de setores vitivinícolas, pois tais fatores garantem o sucesso produtivo. Para se classificar os frutos em seus diferentes estágios de maturação, se torna cada vez mais atraente fazer uso de métodos não destrutivos de análise, uma vez que a maioria das avaliações disponíveis envolve custos e elevada demora. Visando tal contexto, o trabalho objetivou realizar a classificação dos estágios de maturação em uvas viníferas por meio de imagens digitais de refletância VIS. Foram utilizadas 168 bagas da variedade Aragonês submetidas a aquisição de imagens RGB, pré-tratamentos matemáticos e análise multivariada utilizando técnicas de segregação e classificação PCA e LDA. A melhor discriminação amostral por PCA foi obtida com aplicação da área de normalização. A técnica de LDA gerou 97,02% de acertos na previsão dos estágios de coloração investigados. O método não destrutivo de análise se mostrou adequado para classificar os diferentes estágios de maturação da uva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise multivariada. Pós-colheita. Técnica não destrutiva.

### **CLASSIFICATION OF MATURATION STAGES IN VINEYARD GRAPES WITH THE USE OF DIGITAL IMAGE PROCESSING**

**ABSTRACT:** The quality of grape crops and their stages of maturation are fundamental in the post-harvest phase of wine sectors, because these factors guarantee productive success. In order to classify the fruits in their different stages of maturation, it becomes increasingly attractive to use non-destructive methods of analysis, since most of the available evaluations involve costs and high delays. Aiming at this context, the objective of this study was to classify the stages of maturation in wine grapes using digital images of VIS reflectance. 168 berries of Aragonese variety grapes were submitted to RGB images acquisition, mathematical pre-treatments and multivariate analysis using PCA and LDA classification and segregation techniques. The best sample discrimination by PCA was obtained using the area normalization technique. The LDA method generated 97.02% accuracy in predicting the staining stages investigated. The non-destructive method of analysis was adequate to classify the different stages of grape maturation.

**KEYWORDS:** Multivariate analysis. Post-harvest. Non-destructive technique.

**INTRODUÇÃO:** A vitivinicultura no Brasil se destaca por sua alta produtividade, geração de empregos, exportações e expansão no agronegócio. No semiárido, com o aprimoramento de novas tecnologias, o cultivo da videira ocorre com facilidade pela boa disponibilidade de radiação solar e pela prática de irrigação, o que possibilita colheita durante todo o ano. A qualificação produtiva de uma empresa de viticultura está diretamente ligada a qualidade do fruto e ao estágio de maturação, sendo este quem dita o tempo da colheita e a fase que o fruto está pronto para o armazenamento. Para obtenção da classificação, de acordo com o estágio de maturação, se torna interessante adotar processos não destrutivos de análise, visto que avaliações comuns requerem tempo e custos elevados. Dentre métodos que vêm sendo utilizados como forma não

destrutiva estão aqueles por imagens digitais por refletância VIS no espaço de cor RGB, que quando submetidos a reconhecimento de padrões, são eficientes ferramentas de auxílio para análises de composição de alimentos (FERNÁNDEZ-ESPINOSA, 2016; FERREIRA, 2015). O exame de dados resultantes do uso de tais métodos é viabilizado por diferentes técnicas de quimiometria, as quais relacionam informações químicas da fruta com as matemáticas. Em meio a essas técnicas, a análise por componentes principais (PCA) e a análise discriminante linear (LDA) são as mais empregadas. Com a PCA é possível extrair características de cor das imagens, fazer a redução da dimensão original dos dados, além de observar tendências de distribuição e dispersão das amostras (FERNÁNDEZ-ESPINOSA, 2016). Pela aplicação de LDA, se obtêm o reconhecimento supervisionado dos estágios de maturação da fruta (FERREIRA, 2015). Dentro do que foi apresentado, o objetivo do estudo foi realizar a classificação dos estágios de maturação em uvas viníferas por meio de imagens digitais por refletância VIS.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As uvas da variedade Aragonês foram colhidas no município de Lagoa Grande, Pernambuco, Brasil (Latitude: -9.05363 e Longitude:-40.198688). As 168 bagas amostradas foram submetidas a um sistema de aquisição de imagens composto por uma câmera fotográfica Canon T5i, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação ajustável e uma caixa de controle de acendimento dos LEDs apresentado na Figura 1A. O sistema de iluminação é composto por 15 LEDs CREE *Solderless* XPE2 de 3W de potência a uma distância angular de 24°, sendo três vermelhos com espectro entre 620 a 630nm, três verdes com espectro 525nm, três azuis com espectro entre 460 a 465nm, três brancos frio 5000K a 8300K e três brancos quente 3200K a 3500K (Figura 1B).

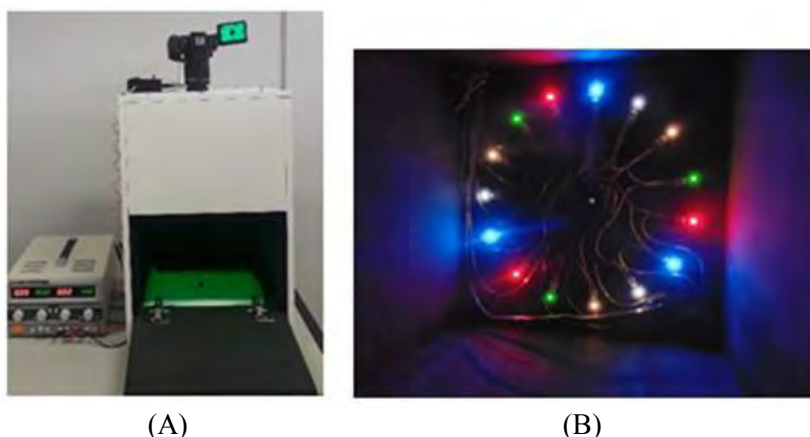


FIGURA 1. Sistema de aquisição de imagens. (A) – Câmera fotográfica, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação e controle de acendimento dos LEDs; (B) – 12 LEDs utilizados na aquisição de imagens.

O processo de obtenção das imagens consistiu da aquisição de cinco fotos por baga de uva, cada foto com uma fonte de iluminação de cor diferente seguindo a sequência: Vermelho; Verde; Azul; Branco frio; Branco quente. A câmera foi utilizada com os seguintes parâmetros: ISO-100; tempo de exposição 1/2s; F/5.6; distância focal de 48mm. No pré-processamento das imagens, etapa responsável pelo destaque da região de interesse, foi utilizado o método de Otsu (1979), método este que consiste na escolha de um ponto de corte no histograma de uma imagem permitindo separar imagem em duas áreas, como pode ser observado na Figura 2.

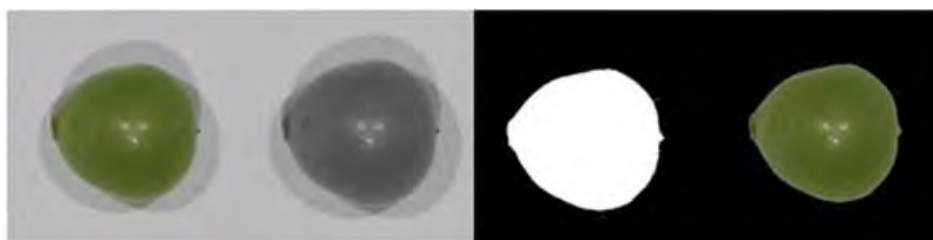


FIGURA 2. Etapas do pré-processamento das imagens.

Com a região de interesse já selecionada pelo pré-processamento das imagens, foram obtidos doze atributos diferentes relacionados aos diferentes espaços de cor. No espaço de cor RGB (*Red, Blue and Green*) foram

obtidos seis atributos, R, G e B, correspondendo aos valores de intensidade médios de cada imagem, e r, g, b, que são os valores normalizados das variáveis definidas anteriormente. No espaço de cor CIE-Lab, foram obtidos três atributos, L, a e b, correspondendo aos valores de intensidades médios neste espaço de cor. As últimas três variáveis foram definidas de forma semelhante, H, S e V, representando os valores médios de intensidade da imagem no espaço de cor HSV. Os dados advindos dos diferentes espaços de cores foram submetidos a diversos pré-tratamentos, sendo: área de normalização; normalização vetorial unitária; normalização média; normalização máxima; e normalização de faixa. As amostras de uvas foram classificadas em três estágios de maturação definidos por Combe (1995) como: *green*; *véraison*; e *ripe*. Foi utilizado a análise das componentes principais (PCA) para verificar uma possível discriminação das amostras quanto aos estágios de maturação. Como método supervisionado, foi utilizado a análise linear discriminante (LDA), contudo, em virtude do número de variáveis, foi utilizado as componentes principais como entrada no modelo LDA. Foi utilizado a matriz de confusão do LDA para verificar o desempenho do classificador quanto a sua assertividade.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 3 demonstra a discriminação dos estágios de maturação em cada amostra pelo método de PCA.

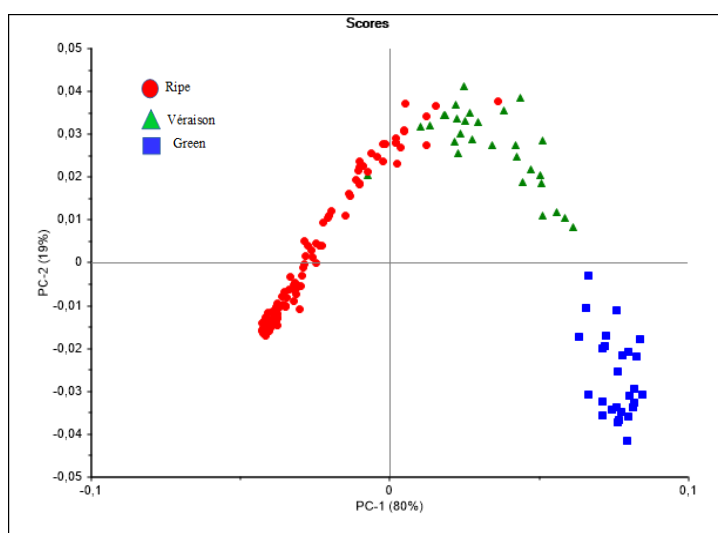


FIGURA 3. Scores da Análise de Componentes Principais (PCA) sobre dados pré-tratados com área de normalização, explanando os diferentes estágios de maturação da uva.

A melhor discriminação amostral foi obtida com aplicação da área de normalização. A primeira componente principal (PC-1) e a segunda componente principal (PC-2) conseguem retratar 99% da variabilidade dos dados (Figura 3), indicando que as amostras foram altamente susceptíveis à classificação e que tanto os dados de calibração quanto os de validação são representativos, fato sintetizado na Tabela 1.

TABELA 1. Relação entre a explicação e a variabilidade verificada para calibração e validação de dados de classificação submetidos a PCA.

Principais Componentes (Explicação)	Variação Total (%)	
	Calibração	Validação
2	99,6182709	99,5944595

Em estudos semelhantes, Rodríguez-Pulido et al. (2013) revelaram que a separação de diferentes tipos de amostras de uvas quanto à maturação utilizando PCA para tratar dados gerados com uso de imagens hiperespectrais NIR foi bem sucedida, com a primeira componente principal explicando cerca de 96% da variância dos dados. Já Musingarabwi et al. (2016), trabalhando com a mesma cultura, relatam que os scores das PCAs obtidos por análise das bagas com espectroscopia no infravermelho médio (MIR) e Transformada de Fourier (FT) conseguem mostrar conjuntos de amostras muito bem definidos para cada um dos quatro

estágios de maturação observados. Os resultados da LDA, apresentados na matriz de confusão, são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2. Matriz de classificação LDA dos três estágios de maturação para 168 amostras da uva Aragonês.

	Véraison	Green	Ripe	Total
<b>Previsão</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	-
<i>Véraison</i>	<b>27</b>	0	3	30
<i>Green</i>	0	<b>27</b>	0	27
<i>Ripe</i>	2	0	<b>109</b>	111
<b>Acertos (%)</b>	93,10	100	97,32	97,02

A classificação com a LDA proporcionou um elevado índice de discriminação dos estágios de maturação das uvas (97,02%) (Tabela 2). Garrido-Novell et al. (2012) assim como He et al. (2017) obtiveram por meio de imagens RGB, percentuais de classificação por LDA, situadas em torno de 66% e 81%, respectivamente, para duas culturas diferentes.

**CONCLUSÃO:** A análise e processamento de imagens digitais RGB associada às técnicas de classificação PCA e LDA são ferramentas poderosas para realizar a discriminação dos diferentes estágios de maturação em uvas viníferas e, consequentemente determinar a época da colheita de maneira não destrutiva.

## REFERÊNCIAS

- COMBE, B. G. (1995). Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, 1, 100–110.
- FERNÁNDEZ – ESPINOSA, A. Combining PLS regression with portable NIR spectroscopy to on-line monitor quality parameters in intact olives for determining optimal harvesting time. **Talanta**, v. 148, p. 216 – 228, 2016.
- FERREIRA, M. M. C. Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações. **Editores Unicamp**. 496 p. 2015.
- GARRIDO-NOVELL, C. et al. Grading and color evolution of apples using RGB and hyperspectral imaging vision câmeras. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p.281–288, 2012.
- HE, Z.-L. ET AL. A method of green litchi recognition in natural environment based on improved LDA classifier. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.140, p.159–167, 2017.
- MUSINGARABWI, D.M. ET AL. A rapid qualitative and quantitative evaluation of grape berries at various stages of development using Fourier-transform infrared spectroscopy and multivariate data analysis. **Food Chemistry**, v. 190, p.253-262, 2016.
- OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.
- RODRÍGUEZ-PULIDO, F. J et al. Grape seed characterization by NIR hyperspectral imaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.76, p.74-82, 2013.

## **COMPORTAMENTO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO RGB EM IMAGENS OBTIDAS POR RPA**

**BRENON DIENNEVAN SOUZA BARBOSA<sup>1</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>2</sup>  
, LUANA MENDES GONÇALVES<sup>3</sup>, DIEGO BENDIN MARIN<sup>4</sup>, DIOGO TUBERTINI MACIEL<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG Fone: (38) 991698962, b.diennevan@outlook.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, DEG-UFLA, Lavras – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Mestranda em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG,

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental e Sanitária, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, DEG-UFLA, Lavras – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Em países em desenvolvimento como o Brasil, a investigação acerca de técnicas de sensoriamento remoto de baixo custo financeiro e computacional torna-se imprescindível para o desenvolvimento da agricultura de precisão (AP), principalmente entre os pequenos negócios agrícolas. Diante do atual cenário da agricultura brasileira, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de diversos Índices de Vegetação (IV) aplicados em imagens digitais RGB obtidas por meio de câmera convencional e Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) comercial. O estudo foi desenvolvido em uma área de grama irrigada (58 ha), da qual foram obtidas imagens por meio de uma câmera digital acoplada a uma RPA. Foram avaliados seis IV (MGVRI, GLI, RGBVI, MPRI, VEG, ExG) para distinção de vegetação e solo em um mosaico das imagens obtidas. Todos os IV's foram afetados por sombreamento e manchas devido a reflexão solar. Os IV's MPRI e MVRRI apresentaram os melhores resultados, porém ambos são afetados por regiões onde ocorre sombreamento na área, elevando o valor do IV nesta região, o que, dependendo da avaliação a ser feita pode induzir o produtor a um falso embasamento técnico para futuras tomadas de decisões sobre o manejo da área.

**PALAVRAS-CHAVE:** aeronaves remotamente pilotadas; sensoriamento remoto; classificação de imagens digitais.

### **ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF RGB VEGETATION INDEXES IN RPA IMAGES**

**ABSTRACT:** In developing countries such as Brazil, research on low-cost remote sensing and computational techniques is essential for the development of precision agriculture (AP), especially among small-scale agricultural businesses. Considering the current scenario of Brazilian agriculture, this work had the objective of analyzing the behavior of several Vegetation Indices (IV) applied in RGB digital images obtained through conventional camera embedded in Commercially Remotely Piloted Aircraft (RPA). The study was developed in an irrigated grass area (58 ha), from which images were obtained through a digital camera coupled to an RPA. Six IR (MGVRI, GLI, RGBVI, MPRI, VEG, ExG) were evaluated to distinguish vegetation and soil in a mosaic of the images obtained. All IV's were affected by shading and staining due to solar reflection. The MPRI and MVRRI presented the best results, but both are affected by regions where shading occurs in the area, raising the value of IV in this region, which, depending on the evaluation to be made can induce the producer to a false technical background for future decisions on the management of the area..

**KEYWORDS:** remotely piloted aircraft; remote sensing; classification of digital images.

**INTRODUÇÃO:** O monitoramento das culturas é de extrema importância para a prática da agricultura de precisão. Em países em desenvolvimento, o uso de técnicas de sensoriamento remoto de baixo custo financeiro e computacional torna-se imprescindível para o desenvolvimento de pequenos negócios agrícolas (PONTI, 2013). O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) e de câmeras-RGB de uso comercial de

baixo custo são ferramentas de elevado potencial para a distinção de vegetação verde (ROMEO et al., 2013; KAZMIN et al., 2015). Para o realce de vegetação de outras variáveis em imagens digitais são utilizados os índices de vegetação (IV) (XIAO & MOODY, 2005), e o processo de realce de vegetação e não vegetação pode ajudar nas práticas agrícolas como aplicação de herbicidas dentre outras mais técnicas e de alto custo por aplicação (HAMUDA et al., 2016). Atualmente existem diversos tipos de IV disponíveis na literatura, no entanto estes não são eficientes em condições não uniformes de iluminação (ROMEO et al., 2013). Sendo assim este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de diversos IV aplicados em imagens captadas por câmera RGB convencional embarcada em uma RPA de uso civil para recreação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho foi realizado em uma área de cultivo de grama (*Zoysia japonica*), que ocupa um total de 58 ha, irrigados por um equipamento de irrigação do tipo pivô central, localizada no município de Bom Sucesso-MG (UTM 23K 50940 2.45m E, 7662306.20 m S). O processo de obtenção de imagens teve início às 14:00 horas, sendo utilizado uma RPA (aeronave remotamente pilotada), marca DJI, modelo Phantom 3 Professional de uso civil para recreação, com câmera convencional digital marca DJI, modelo FC300X, com uma câmera embarcada Sony EXMOR 1/2.3” com 12.76 Mega pixels, lentes com FOV de 94°, com abertura ótica de f/2.8, com as bandas RGB (Red, Green, Blue – RGB). Foi realizado um voo em toda a área. O planejamento do voo foi realizado por meio do software de planejamento de voo versão gratuita para smartphones Drone Deploy (<https://www.dronedeploy.com>), com parâmetros para recobrimento frontal e lateral de 70% entre imagens. Rasmussen et al. (2014) recomendam uma sobreposição frontal de no mínimo 75% e lateral de 60% para construção de ortomosaico para obtenção de imagens RGB por câmeras de uso convencional. No entanto, Kakaes et al. (2015) relatam que não existe um padrão mundialmente aceito sobre a melhor sobreposição de imagens frontal e lateral, e que esta definição é de acordo com o alvo a ser imageado. Tais definições de sobreposição de imagens e de velocidade de voo primeiramente foram definidas de acordo com a capacidade operacional do equipamento (tempo de voo), visto que havia à disposição apenas duas baterias para o voo. A velocidade máxima de voo foi definida para 10 m s<sup>-1</sup>.

O processamento das imagens (mosaicagem) foi realizado de forma gratuita na plataforma online (em nuvem) para processamento Drone Deploy em uma versão gratuita para avaliação. Posteriormente neste mosaico, foram aplicados seis Índices de Vegetação (IV- MGVRI, GLI, RGBVI, MPRI, VEG, ExG) (TABELA 1) por meio do software gratuito de SIG Qgis 2.14., correspondentes a porção do visível (RGB) do espectro eletromagnético. A confecção dos mapas temáticos referentes a cada IV aplicado e referente à classificação também foram realizados por meio do Qgis 2.14.

TABELA 1. Índices de Vegetação aplicados em mosaico RGB.

IV	Nome	Fórmula	Referência
MGVRI	Modified Green Red Vegetation Index	$\frac{(G)^2 - (R)^2}{(G)^2 + (R)^2}$	Bendig, et al.(2015)
GLI	Índice Foliar Verde	$\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$	Louhaichi, Borman & Johnson, (2001)
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index	$\frac{G - R}{G + R}$	Yang et al.(2008)
RGBVI	Red Green Blue Vegetation Index	$\frac{G - (B * R)}{(G)^2 + (B * R)}$	Bendig, et al.(2015)
ExG	Excesso de verde	$2G - R - B$	Woebbecke et al., (1995)
VEG	Vegetativen	$\frac{G}{(R)^{a^*} * B^{(1-a)}}$	Hague et al., (2006)

a\* = constante com valor de 0,667  
B=azul, G=verde, R=vermelho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os mapas gerados estão ilustrados na Figura 1. O mosaico gerado (FIGURA 1a) mostra apenas o mosaico referente à área irrigada pelo pivô central (58 ha).

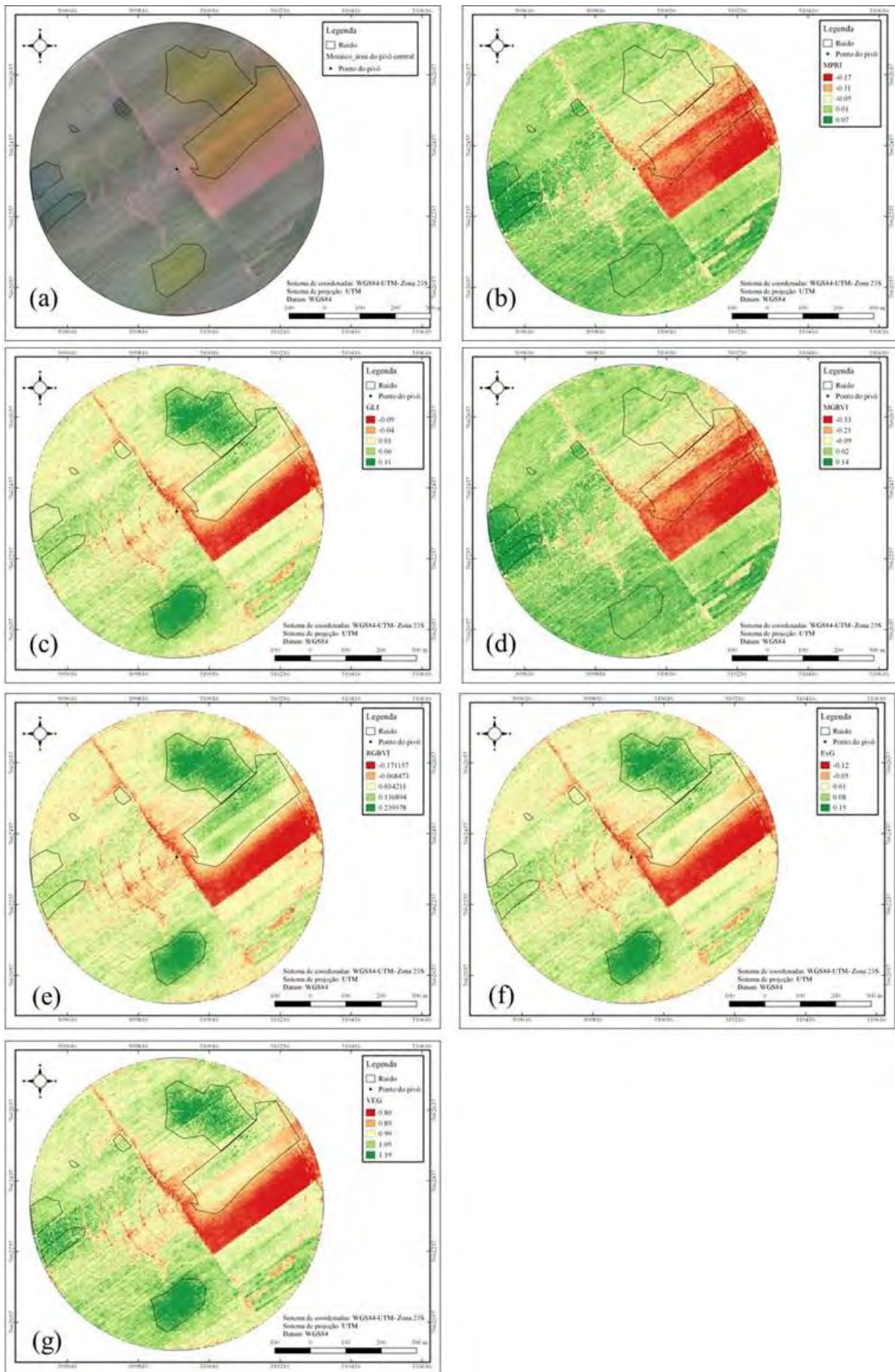


FIGURA 1. IV e classificação semi-supervisionada aplicados em mosaico RGB. (a) RGB; (b) -MPRI; (c) GLI; (d) MGVRI; (e) RGBVI; (f) ExG; (g) VEG.



Após a obtenção do mosaico referente às imagens obtidas da área do pivô foi possível notar a presença de áreas com sombreamento de nuvem e áreas com maior refletância de luz solar (mancha amarelada) denominadas de ruídos, demarcados por um polígono nas imagens (FIGURA 1a).

O efeito na variação do ângulo de incidência solar em imagens obtidas por RPA foi objeto de estudo de Rasmussen et al. (2014). Estes autores sugerem que, para evitar este efeito indesejável nas imagens, as condições atmosféricas para a obtenção de imagens seja em dias totalmente nublados ou que o ângulo de incidência da luz seja o mesmo do posicionamento da câmera, de forma que as condições de iluminação sejam as mais constantes possíveis, ou também por meio de calibração das imagens por meio de monitoramento das condições de iluminação. Ainda segundo Rasmussen et al. (2014), os softwares de confecção de mosaicos podem influir na presença de manchas devido a alteração do ângulo de reflexão da luz, e devem ser testados para se avaliar qual é o melhor para cada IV a ser aplicado. Ortega-Terol et al. (2017) desenvolveram um software de planejamento de voo, processamento de imagens de RPA e detecção de áreas com alterações de refletância da luz solar, obtendo êxito nas suas análises, fornecendo assim mais uma ferramenta para a detecção de ruídos em ortomosaicos.

Dentre os IV avaliados MGVRI, GLI, MPRI, RGVBI, ExG e VEG, observou-se que todos os IV foram afetados pelas variações provavelmente ocasionadas pelo ângulo de reflexão solar (manchas amareladas, que para este caso não foi avaliado ou pela presença de sombreamento na área. O MPRI foi o que menor sofreu efeito de manchas amarelas na imagem.

Para uma simples avaliação de variabilidade de cobertura vegetal e solo pode-se inferir que o IV MPRI é o que melhor se adequa, pois este IV foi o que apresentou melhor aspecto visual. No entanto pode se observar na FIGURA 1b (MPRI) na porção superior esquerda de que o IV MPRI é afetado pelo sombreamento de nuvens, induzindo ao avaliador de que estas regiões a vegetação ali presente está em melhores condições de desenvolvimento do que as de regiões vizinhas, sendo assim esta informação poderá levar a tomada de decisões acerca do manejo da área de forma errônea. Para o caso de imagens multiespectrais onde o IV NDVI foi aplicado, Ortega-Terol et al. (2017) ressaltam que erros na predição dos valores de IV em cerca de 20% podem comprometer tomadas de decisões acerca do manejo da cultura, planejamento de irrigações dentre outras práticas agrícolas. Estes autores enfatizam que quando identificadas áreas afetadas por variações de refletância da luz solar, estas devem ser eliminadas da análise agrônoma quando aplicados IV para análise da vegetação.

O IV GLI (FIGURA 1c) teve comportamento inverso ao observado pelo MGVRI, onde este IV destacou mais as áreas onde havia maiores valores nas regiões com manchas amarelas, na porção superior direita da área, indicando que nesta região há maior cobertura vegetal, o que não é confirmado pela FIGURA 1a.

O IV MGVRI (FIGURA 1d) conseguiu o melhor resultado em uma análise visual, conseguindo realçar de forma eficiente vegetação e solo. Entretanto este IV apresentou áreas de influências dos efeitos da variação dos valores de refletância, principalmente na porção superior esquerda da área, onde são notadas a presença de sombreamento ocasionado pela presença de nuvens, apresentando uma coloração verde escura com valor do IV MGVRI igual 0,014, indicando assim um adensamento de grama em relação a vegetação de regiões vizinha, o que de acordo com a FIGURA 1a para a mesma região não pode ser confirmado. O ruído apresentado na FIGURA 1a acerca dos valores de brilho mais intenso na parte superior direita da área não foram detectados quando aplicado este IV.

Bending et al. (2015) resalta que o IV MGVRI é promissor para o estudo de predição de biomassa em estágios iniciais de desenvolvimento da cevada, no entanto incentivam a maiores investigações acerca da potencialidade deste IV.

O IV RGBVI (FIGURA 1e) apresentou o mesmo comportamento dos IV ExG e GLI, portanto não viável sua aplicação em áreas onde as imagens a serem adquiridas não apresenta condições de luminosidades não são uniformes. No entanto Bending et al. (2015) indica que este IV é mais eficiente em estágios iniciais da cultura, e como na área há vários estágios de desenvolvimento da grama, há a necessidade de realizar mais estudos sobre este IV neste tipo de cultura em vários estágios de desenvolvimento, para avaliar o seu comportamento e variabilidade temporal.

Bareth et al. (2015) constatou que o IV RGBVI tem uma boa correlação com o NDVI, IV mais utilizado mundialmente, estes autores ainda enfatizam que o monitoramento de pastagens com uma plataforma aérea (RPA) e uma câmera RGB podem ser usada para este fim. Entretanto cabe ressaltar que na literatura ainda há poucos trabalhos que correlacionam os efeitos da variação da luminosidade quando aplicados IV em imagens RGB obtidas por RPA e suas consequências para a tomada de decisão.

O IV ExG (FIGURA 1f) conseguiu distinguir bem a vegetação e o solo, porém notou-se que ele foi mais influenciável por altos valores de refletância do que o IV MPRI, destacando estas áreas como áreas com uma

cor verde escura, orientando ao observador de que nestas regiões a vegetação esta mais desenvolvida, ou em pleno vigor, o que não pode ser confirmado. Torrez-Sánchez et al. (2015) em seu trabalho avaliaram a eficácia da segmentação da vegetação utilizando o IV ExG por meio de métodos automáticos de classificação e os resultados obtidos alcançaram cerca de 90% de acerto.

O IV VEG (FIGURA 1g) também conseguiu distinguir a vegetação de solo, porém este IV assim como o ExG e RGBVI foi afetado por regiões onde houve maiores valores de reflectância, como observado na FIGURA 1a. Diante do observado o uso deste IV também deve ser cauteloso em imagens RGB que há alteração de valores de brilho significativo.

**CONCLUSÃO:** Todos os IV's avaliados foram afetados pela variabilidade das condições de iluminação na área. Os IV's MPRI e MGVI foram os que apresentaram melhores resultados em uma avaliação qualitativa referente à discriminação da vegetação e solo, porém seu uso deve ser avaliado com cuidado em imagens que contenha regiões afetadas por sombreamento.

**AGRADECIMENTOS:** A Itograss Agrícola, a CAPES, ao CNPQ, UFLA, PPGEA-UFLA, ao SISU/MEC/PET pelo no desenvolvimento deste estudo e apresentação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

BARETH, G.; BOLTEN, A.; HOLLBERG, J.; AASEN, H.; BURKART, A.; SCHELLBERG, J. Feasibility study of using non-calibrated UAV-based RGB imagery for grassland monitoring: case study at the Rengen Long-term Grassland Experiment (RGE), Germany. **DGPF Tagungsband**, v. 24, n. 2015, p. 1-7, 2015.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; B.; ARETH. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79-87, 2015.

HAMUDA, E.; GLAVIN, M.; JONES, E. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 125, p. 184-199, 2016.

KAKAES, K.; GREENWOOD, F.; LIPPINCOTT, M.; DOSEMAGEN, S.; MEIER, P.; WICH, S. Drones and Aerial Observation: New Technologies for Property Rights, Human Rights, and Global Development: **A Primer. New America**. 2015.

KAZMI, W.; GARCIA-RUIZ, F. J.; NIELSEN, J.; RASMUSSEN, J.; ANDERSEN, H. J. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 112, p. 10-19, 2015.

KREIMER, B.; WAITE, Matt. The feasibility of using small unmanned aerial vehicles for mapping news events. In: **Computafion+ Journalism Symposium**. 2014. Disponível em: [http://benkreimer.com/wp-content/uploads/2014/10/mapping\\_news\\_events.pdf](http://benkreimer.com/wp-content/uploads/2014/10/mapping_news_events.pdf). Acesso em: 19 abr. 2018

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 1 mar. 2001.

ORTEGA-TEROL, D.; HERNANDEZ-LOPEZ, D.; BALLESTEROS, R.; & GONZALEZ-AGUILERA, D. Automatic Hotspot and Sun Glint Detection in UAV Multispectral Images. **Sensors**, v. 17, n. 10, p. 2352, 2017.

PONTI, M. P. Segmentation of low-cost remote sensing images combining vegetation indices and mean shift. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 1, p. 67-70, 2013.

RASMUSSEN, J.; NTAOS, G.; NIELSEN, J.; SVENSGAARD, J.; POULSEN, R. N.; CHRISTENSEN, S. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots?. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 75-92, 2016.

ROMEO, J.; PAJARES, G.; MONTALVO, M.; GUERRERO, J. M.; GUIJARRO, M.; de la CRUZ, J. M. D. L. A new Expert System for greenness identification in agricultural images. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 6, p. 2275-2286, 2013.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; PEÑA, J. M. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 114, p. 43-52, 2015.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. **Pecora**, v.17, p.18-20, 2008.

## **COMPORTAMENTO ESPACIAL E TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE NO MILHO SILAGEM EM PEQUENA PROPRIEDADE**

**ELTON FIALHO DOS REIS<sup>1</sup>, ANDERSON DA SILVA UMBELINO<sup>2</sup>, MARCOS PAULO DE  
OLIVEIRA MARTINS<sup>3</sup>, EDMILSON FERREIRA BORGES<sup>4</sup>, PHILIP DOS SANTOS LEMOS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor. Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, fialhoreis@ueg.br.

<sup>2</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, Fone: (62) 991862719, anderson-umbelino@hotmail.com;

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis - GO, marcospmartins.92@gmail.com;

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis - GO, philiplemos\_@hotmail.com;

<sup>5</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, edmilsonborjes@hotmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A medição da reflectância espectral por sensores remotos proximais na folha da planta, se apresenta como método promissor para a medida de nitrogênio na cultura do milho para silagem. Objetivou-se avaliar o comportamento espacial e temporal do índice de vegetação e a sua relação com a produtividade de milho silagem em pequena propriedade. A reflectância espectral foi obtida aos 20, 35 e 80 dias após a semeadura (DAS) com um sensor espectroradiômetro da Ocean Optics, modelo USB 2000+RAD com resolução de 0,34 nm e a produtividade de massa verde foi determinada em 1m<sup>2</sup> a um raio de 5 m de cada ponto amostral, em 42 pontos por meio de uma malha regular de 37 metros em 6 hectares. Foi utilizada a estatística descritiva para descrever o comportamento preliminar dos dados, a geoestatística por meio do software GS+ 7.0 e a confecção dos mapas de isolinhas com auxílio do software Surfer 9.0. O maior valor de NDVI encontrado no estudo foi aos 35 DAS, seguido pela coleta aos 20 DAS, com valores médios de 0,724 e 0,236, respectivamente. Os valores de NDVI analisados não apresentaram correlação significativa com a produtividade de massa verde. Os mapas temporais de NDVI evidenciaram zonas de manejo com possíveis necessidades de correção do solo, que podem ser analisados em futuros estudos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dependência espacial, krigagem, índice de vegetação.

### **SPACE AND TEMPORAL BEHAVIOR OF VEGETATION AND PRODUCTIVITY INDICES IN SMALL SILAGE ON SMALL PROPERTY**

**ABSTRACT:** The measurement of the spectral reflectance by proximal remote sensors in the plant leaf, is presented as a promising method for the measurement of nitrogen in the corn crop for silage. The objective of this study was to evaluate the spatial and temporal behavior of the vegetation index and its relation with the yield of corn silage on small property. The spectral reflectance was obtained at 20, 35 and 80 days after sowing (DAS) with an Ocean Optics spectroradiometer, model USB 2000 + RAD with a resolution of 0.34nm and the green mass yield was determined in 1m radius of 5 m of each sampling point, in 42 points by means of a regular mesh of 37 meters in 6 hectares. Descriptive statistics were used to describe the preliminary behavior of the data, geostatistics using the GS + 7.0 software and the construction of the isoline maps using Surfer 9.0 software. The highest NDVI value found in the study was at 35 DAS, followed by collection at 20 DAS, with mean values of 0.724 and 0.236, respectively. The NDVI values analyzed did not present a significant correlation with the green mass yield. The NDVI time maps showed management zones with possible soil correction needs, which can be analyzed in future studies.

**KEYWORDS:** Space dependence, krigagem, vegetation index.

**INTRODUÇÃO:** Dentre as culturas que utilizam sensores remotos proximais na agricultura de precisão, o milho (*Zea mays* L.) tem grande destaque, utilizando como ferramenta aplicada no levantamento do vigor da cultura por meio de índices de vegetação, para recomendação de nitrogênio em doses variadas (OLIVEIRA, 2017), variável ainda que pode prever a produtividade com base na refletância da cultura. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais utilizados para prever a produtividade, por ter características de quantificação do crescimento da vegetação e da biomassa acumulada, variando de -1 a +1, sendo desejável maior valor, por apresentar maior vigor e desenvolvimento da cultura (ROUSE et al., 1973). De tal modo, a medição da refletância espectral foliar da planta, se apresenta como método promissor para o sensoriamento instantâneo da deficiência de N em milho, por meio do cálculo de índices de vegetação (SOUZA et al., 2009). Contudo, o uso de sensores terrestre produz dados em grande quantidade, os quais serão submetidos à análise geoestatística e podem ser tornar ferramenta útil no mapeamento de variáveis com efeito na produtividade em áreas agrícolas (MOTOMIYA et al., 2012), podendo assim, obter estimativas confiáveis da variabilidade de indicadores das condições nutricionais da cultura. Com isso objetivou-se avaliar o comportamento espacial e temporal dos índices de vegetação e a sua relação com a produtividade de milho silagem em pequena propriedade.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido em área comercial na Fazenda Piancó localizada no município de Anápolis, GO, com altitude de 1133 m, e coordenadas 16°15.224'S 49°1.336'O. A área é caracterizada como uma pequena propriedade produtora de leite, com área de 6 ha de milho para silagem em cultivo convencional. A coleta dos dados foi realizada dentro de cada célula de uma malha regular quadrangular de 37 m x 37 m totalizando 42 pontos amostrais. Para isso foi utilizado um receptor de GPS Garmin Etrex trabalhando no sistema WGS 84.

A refletância espectral foi obtida aos 20, 35 e 80 dias após a semeadura (DAS) por sensor espectralradiômetro da Ocean Optics, modelo USB 2000+RAD com resolução de 0,34 nm. O aparelho foi conectado a um microcomputador portátil, onde foram armazenados os dados. A fim de se eliminar o efeito do ângulo do sol, as leituras para o NDVI gerado pelo sensor passivo foram realizadas no período das 10h:20min às 14h:20min (VIÑA et al., 2011). A coleta dos dados ocorreu aproximadamente a 1 m do dossel da cultura, realizando três medições em torno de cada ponto amostral. A produtividade de massa verde foi determinada em 1m<sup>2</sup> a um raio de 5 m de cada ponto amostral. O peso das plantas foi determinado utilizando balança digital portátil com precisão de 0,01g e posteriormente extrapolados para t ha<sup>-1</sup>. A análise de dispersão dos dados foi avaliada pela estatística descritiva, identificando os valores discrepantes (outliers) pelo gráfico boxplot e a relação entre os atributos avaliados pela matriz de correlação linear de Pearson. A verificação de normalidade dos dados foi analisada pelo teste de SHAPIRO & WILK (1965) a nível de 5% de probabilidade, desta maneira, todos os procedimentos foram realizados em planilha eletrônica. A dependência espacial foi avaliada pela geoestatística utilizando o semivariograma ajustado no software GS+ versão 7.0, de acordo com o maior coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) e menor soma de quadrado de resíduos (SSRQ). Quando apresentado dependência foi elaborado os mapas de variabilidade espacial pelo método de krigagem ordinária, com auxílio do software Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Conforme a dispersão descritiva dos dados apresentados na tabela 1, o maior valor de NDVI encontrado no estudo foi aos 35 DAS, seguido pela coleta aos 20 DAS, com valores médios de 0,724 e 0,236, respectivamente, refletindo o resultado da adubação de cobertura, que foi realizada aos 25 DAS, com a cultura apresentando 6 a 9 folhas totalmente desdobradas (RAIJ et al., 1997). Essa alteração de valores mostra que o NDVI é um bom indicador para a realização da adubação nitrogenada. Entretanto aos 80 DAS apresentou valor de NDVI muito baixo, o que pode ser explicado pela teoria do gráfico de comprimento de ondas, já que a cultura do milho estava próximo do ponto de silagem e apresentava menor coloração verde, assim houve maior refletância do vermelho (menor quantidade de clorofila já que, está associada à absorção pelos pigmentos foliares, a qual se caracteriza como o fotorreceptor principal) e conseqüentemente reduzindo a refletância do infravermelho próximo que está relacionado a estrutura interna da folha (tamanho e formato das células e quantidade de espaços intercelulares) o que tem relação direta no aumento na quantidade de biomassa (MOREIRA, 2000). Assim, esse valor de NDVI muito baixo é devido a estabilização do acúmulo de biomassa da cultura do milho, conforme OLIVEIRA (2017), que avaliaram modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais e encontrou resultados satisfatórios de NDVI nas primeiras fases de desenvolvimento da cultura.

TABELA 1. Estatística descritiva para Massa Verde (MV), NDVI (20 DAS); NDVI (35 DAS) e NDVI (80 DAS).

Parâmetros Estatísticos	MV (t h <sup>-1</sup> )	NDVI (20 DAS)	NDVI (35 DAS)	NDVI (80 DAS)
Média	46,978	0,236	0,724	0,075
Mínimo	23,400	0,059	0,597	0,010
Máximo	67,600	0,417	0,795	0,148
Mediana	47,150	0,210	0,741	0,078
Assimetria	-0,012	0,748	-0,711	0,006
Curtose	-0,111	0,303	-0,572	-0,373
D. Padrão	9,570	0,081	0,055	0,031
Variância	91,583	0,006	0,003	0,001
Teste W	0,992 <sup>ns</sup>	0,916*	0,918*	0,985 <sup>ns</sup>
CV (%)	20,371	34,322	7,597	41,333
CP	1,000	-0,123 <sup>ns</sup>	0,261 <sup>ns</sup>	0,233 <sup>ns</sup>

CV: coeficiente de variação; CP: coeficiente de correlação de Pearson em relação à produtividade de massa verde (\*) significativo à 5% de probabilidade; (ns) não significativo à 5% de probabilidade; Teste W: teste de normalidade de Shapiro & Wilk; (\*) significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade; (ns) não significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade.

Ainda na tabela 1, verifica-se valores de coeficiente de variação altos para as coletas de NDVI, com exceção aos 35 DAS, evidenciando satisfatória coleta de dados nessa época de cultivo, posto que, a cultura apresentava folhas maiores e conseqüentemente maior presença de pigmentos verdes (clorofila), em tecidos fotossinteticamente ativos, e, portanto, menor proporção de comprimento de onda vermelho refletida, já que a luz vermelha é absorvida por esses pigmentos, sendo a proporção refletida varia inversamente à quantidade de biomassa vegetal (MOTOMIYA et al., 2012). Apesar dos dados de NDVI aos 35 e 80 DAS apresentarem valores de correlação positiva com a produtividade de MV, as mesmas não foram significativas, ocorrendo o mesmo com a primeira coleta de NDVI. O teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965) evidenciou normalidade para as duas primeiras coletas de NDVI, no entanto os valores de assimetria da MV e NDVI aos 80 DAS, negativo e próximo a zero respectivamente, mostram que os poucos valores elevados na estimativa de pontos da vizinhança na krigagem, pouco infere nas variáveis regionalizadas contínuas. Os parâmetros geoestatísticos expostos pelos semivariogramas são apresentados na tabela 2. Os parâmetros apontados pelos semivariogramas, mostraram que a extensão da variação do NDVI foi encontrada na escala espacial utilizada. Os dados apresentaram boa correlação espacial e bom coeficiente de determinação exposto pelo semivariograma e R<sup>2</sup>, conseqüentemente dependência espacial muito alta para o NDVI (20 DAS) e NDVI (35 DAS), entretanto nula para (NDVI 80 DAS) resultando em efeito pepita puro. Contudo para as variáveis que apresentaram dependência espacial, não ocorreu suavização nos mapas de isolinhas interpolados pelo método de krigagem ordinária (Figura 1).

TABELA 2. Modelos teóricos dos semivariogramas ajustados para as variáveis: Massa Verde (MV), NDVI (20 DAS); NDVI (35 DAS) e NDVI (80 DAS)

Parâmetros	Geoestatística						
	Modelo	Co	Co+C1	A	R <sup>2</sup>	RSS	GDE%
Massa Verde	Esférico	9,9000	203,300	449,50	0,888	2606	95,13
NDVI (20 DAS)	Exponencial	0,00001	0,01932	304,20	0,918	1,165.10 <sup>-05</sup>	99,95
NDVI (35 DAS)	Esférico	0,00009	0,00560	329,40	0,884	3,063.10 <sup>-06</sup>	98,39
NDVI (80 DAS)	-	-	-	-	-	-	-

Co – efeito pepita; Co+ C1 – patamar; a – alcance (m); GDE = Co/(Co+ C1) – grau de dependência (%). GDE – Grau de dependência espacial (muito baixa < 20%; baixa 20 a 40%; e) média 40 a 60%; d) alta 60 a 80%; muito alta 80 a 100% segundo classificação proposta por Dalchiavon et al. (2012).

De acordo com o mapa de variabilidade espacial da produtividade de massa verde (Figura 1 A) a cultura do milho apresentou maior produtividade na região mais ao sul da área, parte mais alta do cultivo.

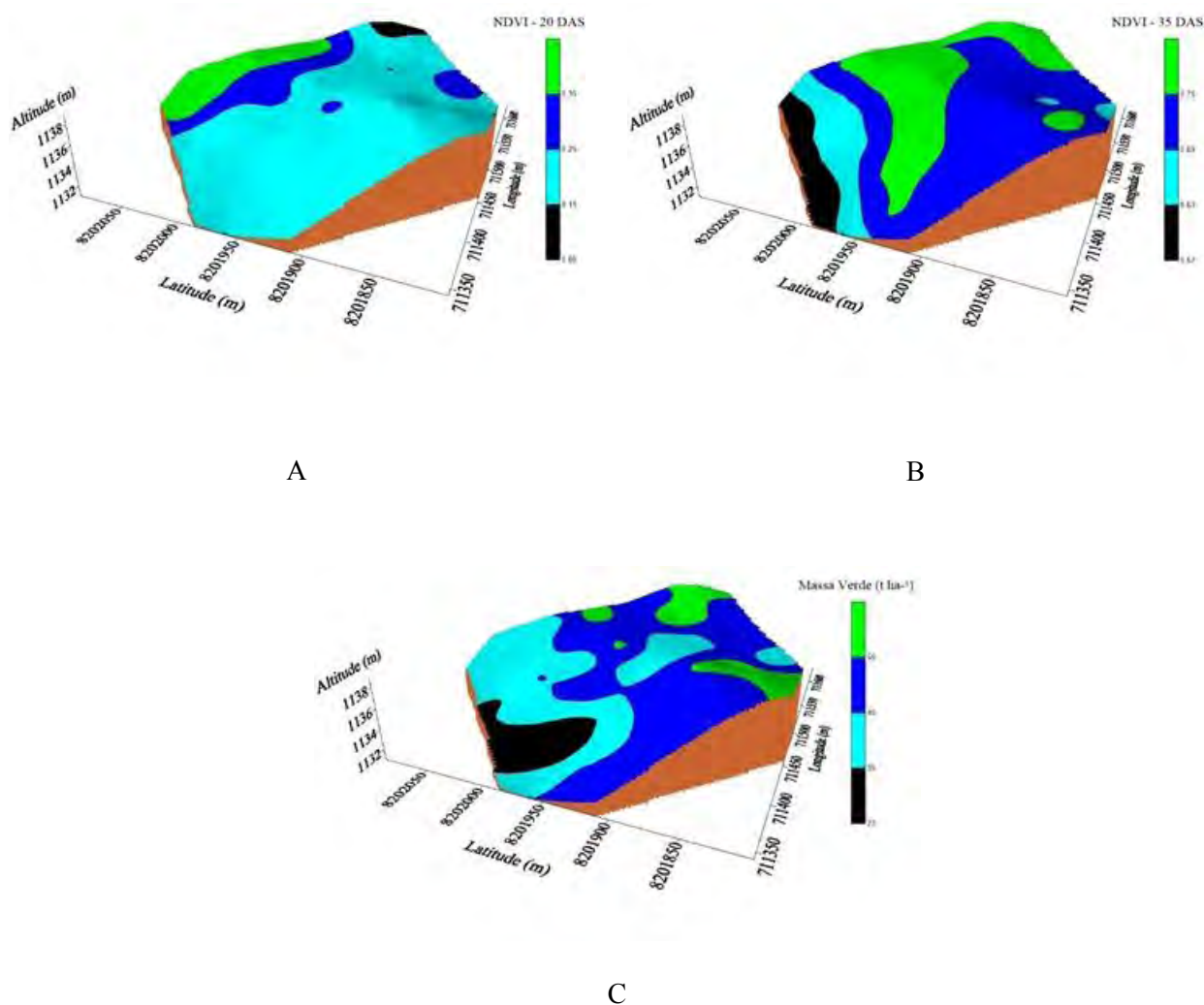


FIGURA 1. Mapas de variabilidade espacial. A – NDVI (20 DAS); B – NDVI (35 DAS); C – Produtividade de Massa Verde.

A interpolação obtida pelos dados de NDVI revelaram a pouca similaridade e não significância da correlação com a produtividade, mostrando que, o mapa de variabilidade espacial do NDVI (20 DAS) apresentou homogeneidade na área na classe de 0,15 a 0,25 e maiores valores na região nordeste do mapa, enquanto que o mapa de NDVI (35 DAS) apresentou valores crescente de maneira que aproxima da região mais alta da área. Verificando a figura 1A e 1B, nota-se o efeito da adubação nitrogenada, onde aumentou o valor do NDVI consideravelmente na área corroborando com outros autores (OLIVEIRA, 2017; BERNARDI et al., 2017). Contudo é facilmente observado que na região norte da área que não houve aumento do NDVI com a adubação nitrogenada e conseqüentemente menor produtividade, evidenciando possíveis estudos com necessidades de correção no solo, com destaque em perdas de nitrogênio por volatilização ou lixiviação e com menor capacidade de armazenamento de água, já que se encontra na única parte da área que apresenta algum desnível, como pode ser visualizado nos mapas de elevação digital.

**CONCLUSÃO:** Os valores de NDVI analisados não apresentaram correlação significativa com a produtividade de massa verde.

O maior valor de NDVI encontrado foi aos 35 DAS, seguido pela coleta aos 20 DAS, evidenciando que a adubação nitrogenada nesse intervalo foi satisfatória para o aumento do NDVI.

Os mapas temporais de NDVI evidenciaram zonas de manejo com possíveis necessidades de correção do solo, que podem ser analisados em futuros estudos.

## REFERÊNCIAS

- BERNARDI, A. C. C.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G. RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.8, p.513-518, 2017.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer versão 9**. Tutorial. User's guide, 2010.
- MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 79f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.
- MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAIIO, F. H. R. Mapeamento do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 112-118, 2012.
- OLIVEIRA, M. F. **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. 2017. 44p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed.atual. Campinas-SP: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3, 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, NASA SP-351, p. 309-317, 1973.
- SHAPIRO, S. S. & WILK, M. B. An analyze of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, n.3/4, p. 591-611, 1965.
- SOUZA, E.G.; ROCHA, T.; OPAZO, M.A.U.; NÓBREGA, L.H.P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, (Suplemento), p.865-872, 2009.
- VIÑA, A.; GITELSON, A.A.; NGUY-ROBERTSON, A.L.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v.115, 2011.



## CONFLITO DE USO DO SOLO E POTENCIALIDADE DE MECANIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIETÊ

RENATA CRISTINA ARAÚJO COSTA<sup>1</sup>, GENER TADEU PEREIRA<sup>2</sup>, FERNANDO ANTÔNIO  
LEAL PACHECO<sup>3</sup>, TERESA CRISTINA TARLÉ PISSARRA<sup>4</sup>, DIEGO SILVA SIQUEIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduanda em Agronomia, Programa Ciência do Solo, UNESP, Jaboticabal – SP. renata.criscosta@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Depto. Ciências Exatas, UNESP, Jaboticabal – SP. <sup>3</sup>Centro de Química de Vila Real (CQVR), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap 1013, 5001–801 Vila Real, Portugal. <sup>4</sup> Profª. Depto. Engenharia rural, UNESP, Jaboticabal – SP. <sup>5</sup>Pós Doutorando Agronomia (Ciência do Solo) Depto. Solos e Adubos, UNESP, Jaboticabal – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O conflito de uso do solo é determinado quando há a necessidade de selecionar áreas que têm sistemas de produção agrícola que são considerados incompatíveis com o uso natural. As situações de conflito são caracterizadas por ações que perturbam o meio e podem produzir poluição ambiental, em especial ao recurso hídrico quando a unidade territorial de trabalho é a bacia hidrográfica, sendo necessária a definição de áreas potenciais para a mecanização nestas áreas. Este trabalho teve como objetivo principal determinar o conflito de uso e o potencial de mecanização por classes de declive em sub-bacias hidrográficas na região da bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo, Brasil. A aplicação de uma metodologia para classificação da aptidão dos solos baseada no parâmetro do índice de rugosidade (*RN*) tem-se revelado eficaz na discriminação de quatro classes de conflito de uso em bacias hidrográficas: agrícola, pastagem, pastagem + floresta e floresta. A avaliação do risco associado ao potencial de mecanização foi analisado. A metodologia preconizou o uso de sistemas de informação geográfica e técnicas de sensoriamento remoto no uso de imagens orbitais e de modelo de elevação digital do terreno. O resultado foi a compartimentação das 3 classes de conflito e uma classe sem conflito e as áreas propícias a mecanização agrícola em 3 classes de declividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aptidão do solo, número de rugosidade do terreno, sistema de informação geográfica.

### LAND USE CONFLICT AND POTENTIALITY OF MECHANIZATION IN THE RIO TIETÊ WATERSHED – SP, BRAZIL.

**ABSTRACT:** Land use conflict is determined when there is a need to select areas that have agricultural production systems that are considered to be incompatible with the natural use. Conflict situations are characterized by actions that disturb the environment and can produce environmental pollution, especially to the water resource when the territorial unit of work is the river basin, and it is necessary to define potential areas for mechanization in these areas. The main objective of this work was to determine the use conflict and the potential for mechanization by slope classes in sub-basins in the Tietê River Basin region, State of São Paulo, Brazil. The application of a methodology for soil classification based on the morphometric parameter Ruggedness Number (*RN*) has been effective in discriminating four classes of conflict of use in watersheds: agriculture, pasture, pasture + forest and forest. The evaluation of the risk associated with the mechanization potential was analyzed. The methodology showed the use of geographic information systems and remote sensing techniques in the use of orbital images and the digital terrain elevation model. The result was the compartmentalization of the three conflict classes and one class without conflict and the areas propitious to agricultural mechanization in three slope classes.

**KEYWORDS:** Soil suitability, roughness number of the terrain, geographic information system.

**INTRODUÇÃO:** O processo de mecanização agrícola auxilia os sistemas de produção agrícola, sendo assim diversas as tarefas que podem ser executadas com grande facilidade e eficiência. Com isso, os custos de produção tendem a ser menores e a propriedade agrícola torna-se mais competitiva. A espacialização das áreas aptas a mecanização em bacias hidrográficas torna a tomada de decisão para o manejo agrícola um sistema de política de uso do solo visando a sustentabilidade ambiental, em consonância com a conservação dos recursos naturais. O conceito de conflito ambiental de uso do solo foi introduzido por MELLO FILHO e ROCHA (1992) e desenvolvido mais tarde por VALLE JUNIOR (2008) e VALLE JUNIOR et al. (2013). De acordo com estes autores, existe conflito quando o uso atual do solo se desvia de um uso adequado avaliado pela aptidão (uso natural) e o potencial de mecanização agrícola em áreas de conflito de uso torna o ambiente mais vulnerável ao processo erosivo do solo. Para determinar as áreas de conflito de uso em bacias hidrográficas se faz a partir do índice de rugosidade (*RN*) natural de uma área. O *RN* é utilizado em estudos focados na prevenção de desastres naturais e vulnerabilidade ambiental (KOVANEN; SLAYMAKER, 2008), bem como na análise comparativa do risco de degradação dos solos em bacias hidrográficas (MELLO FILHO e ROCHA, 1992; PISSARRA et al., 2004; VALLE JUNIOR et al., 2010, 2012, 2013). Nos estudos de VALLE JUNIOR et al. (2014a,b; 2015a,b) e PACHECO et al. (2014), a amplitude do *RN* foi utilizada como medidor dos usos naturais do solo (aptidão), seguindo as abordagens iniciais de ROCHA e KURTZ (2001) e VALLE JUNIOR (2008). De acordo com VALLE JUNIOR (2008) e VALERA et al. (2016), as consequências negativas dos conflitos aumentam com a classe e com a percentagem de área em conflito dentro da sub-bacia. A delimitação de áreas com e sem conflito requer a conversão prévia das aptidões e dos usos atuais do solo, sendo necessária a determinação de áreas mais propícias a mecanização nas zonas de conflito. A mecanização é um processo imprescindível para atividades a serem realizadas em uma propriedade rural, abrangendo as atividades mais simples até as mais intensas, com máquinas agrícolas de grande porte. Desta forma, é necessário ter uma gestão de política de uso do solo que cabe aos gestores a tomada de decisão para respeitar a conservação dos recursos naturais. Este trabalho teve como objetivo principal determinar o conflito de uso e o potencial de mecanização agrícola em sub-bacias hidrográficas na região da bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo, Brasil.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A bacia hidrográfica do Rio Tietê atravessa o Estado de São Paulo cobrindo uma extensão de 72 524.28 km<sup>2</sup>. A área do estudo corresponde à porção da bacia localizada na região do planalto ocidental Paulista que abrange cerca de 37 180.9 km<sup>2</sup> entre as latitudes sul  $-20^{\circ} 30' 49.78''$  e  $-22^{\circ} 47' 12.42''$  e as longitudes oeste de  $-51^{\circ} 36' 11.35''$  e  $-47^{\circ} 53' 7.48''$ , correspondente aos afluentes das 97 sub-bacias dos rios Tietê / Jacaré, Tietê / Batalha e Comitês do Baixo Tietê localizados no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo, em uma rede de drenagem linear que se estende por cerca de 458.314 km do principal curso de água do rio Tietê (Figura 1). Além de possuir características representativas da região do planalto, a bacia do Tietê possui importância histórica no auxílio à colonização e desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo, assim como ambiental devido ao grave problema de poluição das suas águas.

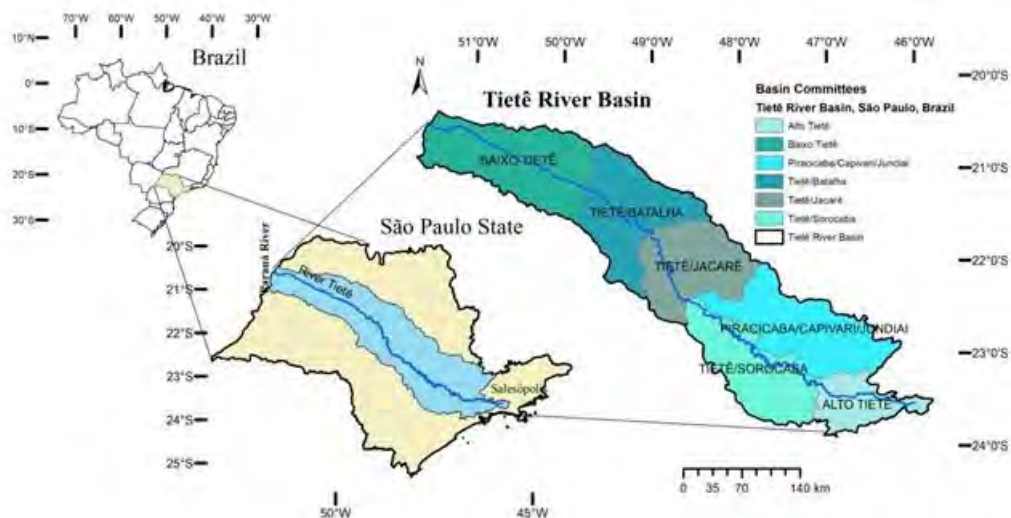


FIGURA 1. Posição geográfica da porção noroeste da Bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo, Brasil.

Para realização do presente estudo, foi utilizado um conjunto de dados georreferenciados do modelo digital de elevação (MDE) do terreno processado da resolução de 3" para 1", ou seja 30 m, pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) no âmbito do Projeto TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (VALERIANO, 2005). Para a produção do mapa de uso do solo, foram utilizadas imagens orto retificadas do satélite SPOT agosto de 2010 (resolução espacial de 5 m), do Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo realizado pelo IG (Instituto Geológico) e pela CPLA (Coordenadoria de Planejamento Ambiental). Todos os mapas em formato raster foram produzidos com uma resolução de 30 × 30 m, tendo em vista a resolução espacial do MDE, re-projetados no Datum SIRGAS 2000, Fuso 22, sul.

Em cada sub-bacia, tributária do Rio Tietê na área de estudo, delimitada no MDE, foram calculadas as declividades pela taxa máxima de alteração no valor da altitude para seus vizinhos. A mudança máxima na elevação da distância entre a célula e seus oito vizinhos identifica a descida mais íngreme do terreno. O plano dos valores  $z$  de uma vizinhança de 3 x 3 células ao redor da célula de processamento ou centro foi calculado usando a técnica de média máxima. Quanto menor o valor do declive, mais plano o terreno; quanto mais alto o valor do declive, mais íngreme é o terreno. Em cada sub-bacia foram calculados os valores do índice de rugosidade (RN), definido como produto da densidade de drenagem pela declividade (STRAHLER, 1952) e mais tarde utilizado por diversos autores como indicador do dinamismo hidrológico (MELTON, 1957; SCHUMM, 1956). Considerando o comprimento total dos cursos de água ( $Cr$ ) em cada sub-bacia assim como a área de cada sub-bacia ( $A$ ), determinados pela função "Calculate Geometry" do ArcMap, foram estimadas as respectivas densidades de drenagem ( $D_d = Cr/A$ ) utilizando a função "Field Calculator", as quais foram posteriormente representadas espacialmente em formato raster. Finalmente, recorrendo-se à ferramenta "Raster Calculator" estimou-se o  $RN = D_d \times Slp$ . O modelo de aptidão baseado no RN define quatro classes de aptidão, cujas designações e códigos de identificação (N) se indicam na Tabela 1. Os limites do RN da classe  $i$  são estabelecidos com base nos valores extremos  $RN_{min}$  e  $RN_{max}$ , avaliados no interior da área em estudo, considerando o número de classes fixado ( $n = 4$ ):

$$Classi: RN_{min} + (i - 1) \times \Delta \leq RN \leq RN_{min} + i \times \Delta \quad (1a)$$

$$\Delta = \frac{RN_{max} - RN_{min}}{n} \quad (1b)$$

com  $1 \leq i \leq n$ . As sub-bacias de baixo RN (Classe 1) deverão ser ocupadas por atividades agrícolas pois correspondem a relevos suaves e de baixa densidade de drenagem. Quando os valores do RN são muito elevados (Classe 4), as sub-bacias são indicadas para ocupação florestal porque as suas encostas são muito inclinadas e densamente recortadas por cursos de água. Finalmente, as sub-bacias com RNs intermédios deverão ser ocupadas por pastagens de gado (Classe 2) ou por um mosaico de pastagens naturais e florestas (Classe 3).

TABELA 1. Capacidade de uso do solo e uso atual e identificação associada ao código (N e A, respectivamente).

Uso do Solo	Código Identificador do Uso Natural (N)	Código Identificador Uso Atual (A)
Agriculture	1	1
Pasture	2	2
Pasture / forest	3	3
Forest	4	4

Para a análise dos desvios entre o uso natural e o uso atual, comparam-se os códigos de identificação respectivos (N e A da Tabela 2) em cada ponto da sub-bacia:

$$ClasseConflito_i = CódigoN_i - CódigoA_j \quad (2)$$

com  $1 \leq i \leq n$  e  $1 \leq j \leq n$ ;

De acordo com a Equação 2, as áreas sem conflito são representadas por regiões onde Código  $N_i$  - Código  $A_j \leq 0$ , sendo que nos locais onde as diferenças são negativas considera-se sustentável a expansão do uso agrícola ou a pastagem de gado. As regiões em conflito compreendem áreas onde Código  $N_i$  - Código  $A_j \geq 0$ ,

reconhecendo-se três classes de conflito: 1, 2 e 3. As áreas da Classe de conflito 1 são oriundas da subtração de  $N-A$  igual a 1, que correspondem as áreas consideradas como aptas para a pastagem, mas que estão com o uso não equivalente a pastagem; As áreas de conflito Classe 2 ( $N-A = 2$ ) ou Classe 3 ( $N-A = 3$ ), trata-se de áreas com potencial florestal ( $N = 4$ ) ou adaptadas a uma ocupação mista por florestas e pastagens ( $N = 3$ ), mas que estão efetivamente ocupadas por outros usos. Genericamente, as zonas em conflito são caracterizadas por áreas com maior vulnerabilidade, onde o uso atual não corresponde ao uso adequado tendo em vista o índice de rugosidade.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os mapas temáticos do conflito de uso do solo e as áreas e porcentagens do conflito de uso podem ser observados nas figuras 2 e 3 e Tabela 2.

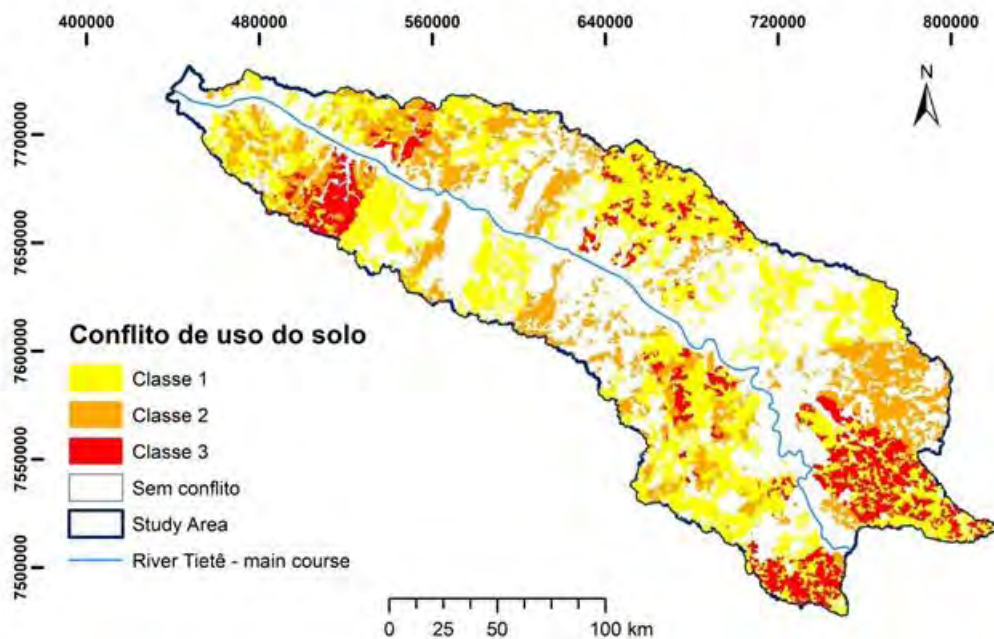


FIGURA 2. Conflito de uso da porção noroeste da bacia hidrográfica do Rio Tietê, SP.

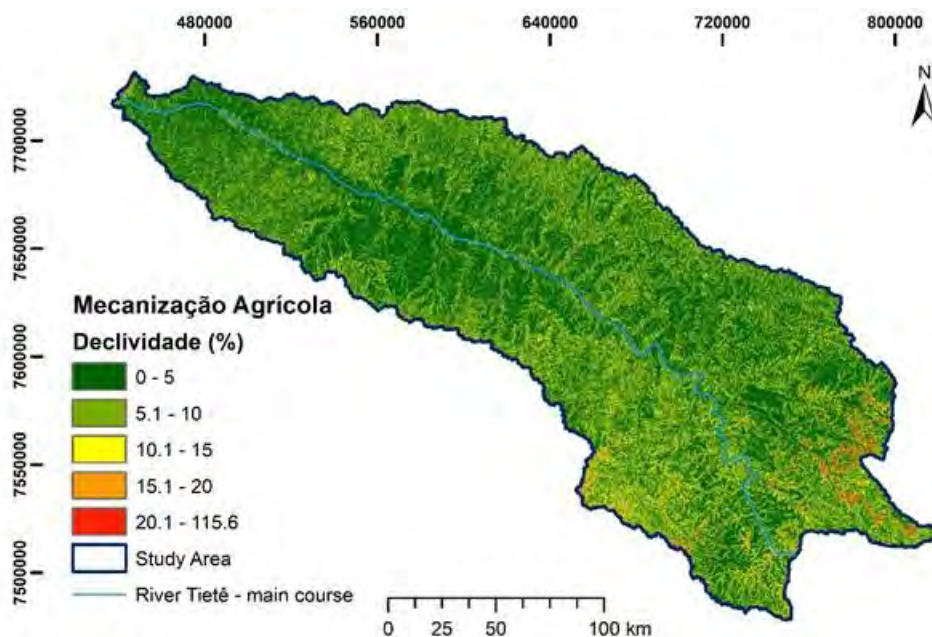


FIGURA 3. Áreas aptas a mecanização agrícola da porção noroeste da bacia hidrográfica do Rio Tietê, SP.

TABELA 2. Classes de conflito de uso e potencial de declividade para mecanização agrícola e respectiva porcentagem da área de estudo.

Classes de Declividade Mecanização Agrícola	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total Conflitos	Sem Conflito	Total - Declividade
0 - 5 extremamente apta	16%	9%	4%	29%	20%	78%
5,1 - 10 muito apta	14%	8%	4%	27%	15%	68%
10,1 -15 apta	3%	1%	1%	5%	3%	13%
15,1 - 20 moderadamente apta	0%	0%	0%	1%	0%	2%
> 20 não recomendada	0%	0%	0%	1%	0%	1%
Totais – Classes de Conflitos	34%	19%	10%	62%	38%	100%

As classes de conflito 1, 2 e 3 e a classe de sem conflito foram identificadas na área de estudo, o que permitiu a elaboração do mapeamento na espacialização em 5 classes de declividade, sendo 4 classes a aptidão das terras para mecanização agrícola. Entre as classes de conflito de uso, a maior participação correspondeu às classes 1 e 2, com 53% da área, e a menor nas áreas relacionadas às declividades mais íngremes 1% em classes com declividade acima de 20%, inaptas à mecanização. A região com maior extensão de conflito de uso foi à área sudeste da região de estudo, onde se concentram as áreas de maior risco à erosão, tendo em vista a maior declividade das vertentes (Figuras 2 e 3 e Tabela 2). O conflito de uso do solo é determinado quando há a necessidade de selecionar áreas que têm sistemas de produção agrícola que são considerados incompatíveis com o recurso natural. As situações de conflito são caracterizadas por ações que perturbam o meio, dentre estas a mecanização das culturas e podem produzir poluição ambiental, em especial ao recurso hídrico quando a unidade territorial de trabalho é a bacia hidrográfica. A intensidade do uso também reflete no conflito e pode ter efeitos negativos como positivos, mas em certos casos e circunstâncias, como fator antrópico da atividade do sistema de produção agrícola. Para o sistema de agricultura de precisão, a espacialização das áreas aptas à mecanização é de extrema importância no que tange à política de uso do solo na base da metodologia de conflito. A metodologia comprova o grande potencial de sistemas de informações geográficas na integração de dados geocodificados e possibilita obtenção de dados quando da obtenção dos mapas especializados da declividade e do potencial de áreas para a mecanização nas sub-bacias localizadas à noroeste da bacia do rio Tietê.

**CONCLUSÃO:** As classes de conflito 1, 2 e 3; e a classe sem conflito de uso foram identificadas na área de estudo. A maior extensão em área corresponde às classes 1 e 2, com 53%; As áreas com declividades mais íngremes corresponde a 1% em classes com declividade acima de 20%, as quais são inaptas à mecanização. A região com maior extensão de conflito de uso foi à área sudeste da região de estudo, onde se concentram as áreas de maior risco à erosão, tendo em vista a maior declividade das vertentes.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de uma bolsa para o primeiro autor (Projeto número 2016 / 19.215-5), e Programa CAPES: PDSE (Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior), Edital nº 19/2016, Processo Número: 88881.135764 / 2016-01. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa ao segundo e último autores. Para os autores integrados no centro de investigação da CITAB, a investigação foi financiada pelo FEDER / COMPETE / POCI - Programa de Competitividade Operacional e Internacionalização, no âmbito do Projeto POCI-01-0145-FEDER-006958, e pelos Fundos Nacionais da Fundação Portuguesa para a Ciência da FCT. e Tecnologia, no âmbito do projeto UID / AGR / 04033/2013. Para o autor integrado no CQVR, a pesquisa contou com o apoio dos Fundos Nacionais da Fundação para a Ciência e Tecnologia da FCT, no âmbito do projeto UID / QUI / 00616/2013.

## REFERÊNCIAS

- KOVANEN D. J., SLAYMAKER O., The morphometric and stratigraphic framework for estimates of debris flow incidence in the North Cascades foothills, Washington State, USA. **Geomorphology**, 99, 224–45. 2008.
- MELLO FILHO J. A., ROCHA J. S. M., Diagnóstico físico-conservacionista da sub-bacia hidrográfica do rio Sesmaria, em Resende-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. Anais Santa Maria, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Rural. pp. 2178–91. 1992.
- MELTON, M. A., An analysis of the relations among climate, surface properties and geomorphology. Technical Report no. 11. Columbia University, Department of Geology; [69 pp.]. 1957.
- PACHECO, F.A.L.; VARANDAS, S.G.P. ; SANCHES FERNANDES, L.F.; VALLE JUNIOR, R.F. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of the Total Environment**, Amsterdam. v. 485 - 486, p. 110-120, 2014.
- PISSARRA, T. C. T., POLITANO, W. FERRAUDO, A. S., Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev Bras Ciênc Solo**. 28, (2), 297–305. 2004.
- ROCHA, J.S.M., KURTZ, S.M.J.M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Editora da UFSM, v. 282, 2001.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Colorado: Bulletin of the **Geological Society of America**. 63, 1117–1142. 1952.
- VALERA, C. A., PISSARRA, T. C. T., MARTINS FILHO, M. V., JUNIOR, R. V., FERNANDES, L. S., PACHECO, F. A. L. A legal framework with scientific basis for applying the ‘polluter pays principle’ to soil conservation in rural watersheds in Brazil. **Land Use Policy**, 66, 61-71. 2017.
- VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. p. 1-8. 2005.
- VALLE JUNIOR, R. F. , GALBIATTI, J. A., MARTINS FILHO, M. V., PISSARRA, T. C. T., Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Rev Engenharia Agrícola**. 30, (5), 897 - 908. 2010.
- VALLE JUNIOR, R. F., GALBIATTI, J. A., PISSARRA T. C. T., MARTINS FILHO, M. V. Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Uberaba. **Glob. Sci. Technol**. 6, (1), 40–52, 2013.
- VALLE JUNIOR, R. F., GALBIATTI, J. A., PISSARRA, T. C. T., MARTINS FILHO, M. V. Caracterização morfométrica da Bacia do Rio Uberaba e determinação do uso potencial do solo. **Rev Caminhos Geogr**. 13, (44), 60–74, 2012.
- VALLE JUNIOR, R. F., VARANDAS, S. G., PACHECO, F. A., PEREIRA, V. R., SANTOS, C. F., CORTES, R. M., FERNANDES, L. F. S., Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. **Land Use Policy**, 43, 48-62. 2015a.
- VALLE JUNIOR, R. F., VARANDAS, S. G., FERNANDES, L. F. S., PACHECO, F. A. Multi Criteria Analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: A scientific tool in environmental policy. **Environmental Science & Policy**. 48, 250-264, 2015b.
- VALLE JUNIOR, R.F., VARANDAS, S.G.P., SANCHES FERNANDES, L.F., PACHECO, F.A.L., Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. **Land Use Policy**. 41, 172–185. 2014a.
- VALLE JUNIOR, R. F., VARANDAS, S., FERNANDES, L. F. S., PACHECO, F. A. L., Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Sci. Total Environ**. 493, 812–827. 2014b.
- VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

## **CONSTRUÇÃO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**MARCELLO GONÇALVES MOREIRA<sup>1</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>3</sup>, EDUARDO MASSAYUKI IWASAKI<sup>3</sup>, BRENON DIENNEVAN SOUZA BARBOSA<sup>4</sup>, PATRICIA FERREIRA PONCIANO FERRAZ<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Estudante de graduação em Engenharia de Controle e Automação, UFLA, Lavras – MG, Fone: (31)996311979, marcellogmoreira@gmail.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Depto. De Engenharia, UFLA, Lavras – MG, gabriel.ferraz@deg.ufla.br

<sup>3</sup> Estudante de graduação em Engenharia de Controle e Automação, UFLA, Lavras – MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG

<sup>5</sup> Zootecnista, Professor, Depto. De Engenharia, UFLA, Lavras – MG

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Aeronaves Remotamente Pilotadas ou RPA, tem sido usadas como veículo (ou plataforma) para obtenção de imagens aéreas na agricultura de precisão (AP). Essas aeronaves são extremamente versáteis, capazes de realizar voo com piloto automático que permite a operação e obtenção de imagens com pouco treinamento. No entanto, o preço no Brasil de uma RPA adequada para aplicações agrícolas é muito alto para pequenos produtores. Diante das dificuldades econômicas para aquisição de uma RPA no Brasil, este estudo teve como objetivo construir protótipo de RPA multirrotor de baixo custo para monitoramento agrícola. Para a construção do protótipo de uma RPA do tipo multirrotor, foram utilizados apenas materiais essenciais para permitir voo estável. A programação da aeronave foi feita usando um Arduino nano, um microcontrolador de baixo custo muito usado em prototipagem e pesquisa. O protótipo foi construído com sucesso, sendo capaz de levantar voo estável e controlável. No entanto, ainda falta adquirir equipamentos para programação e componentes capazes de permitir o imageamento e o voo autônomo. O custo final da RPA foi significativamente menor que o encontrado no mercado para aeronaves capazes de realizar as mesmas tarefas.

**PALAVRAS-CHAVE:** arduino, protótipo, drone.

### **CONSTRUCTION OF A LOW COST REMOTELY PILOTED AIRCRAFT FOR PRECISION FARMING APPLICATIONS**

**ABSTRACT:** Remotely Piloted Aircraft or RPA, has been used as a tool to obtain aerial images in precision agriculture (AP). These aircraft are extremely versatile, capable of flying with autopilot that allows the operation and obtaining images with little training. However, the price in Brazil of a RPA suitable for agricultural applications is very high for small producers. In view of the economic difficulties to acquire RPA in Brazil, this study had the objective of constructing a low-cost RPA capable of recording georeferenced images. For the construction of the prototype of a quadcopter type RPA, only essential materials were used to allow stable flight. The aircraft was programmed using an Arduino nano, a low-cost microcontroller widely used in prototyping and research. The prototype was built successfully, being able to lift stable and controllable flight. However, we still need to acquire programming equipment and components capable of enabling imaging and autonomous flight. The final cost of RPA was significantly lower than that found on the market for aircraft capable of performing the same tasks.

**KEYWORDS:** arduino, prototype, drone.

**INTRODUÇÃO:** De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (2017) o termo aeronave remotamente pilotadas (RPA) refere-se a um veículo aéreo não tripulado onde existe um piloto remoto responsável pela operação segura da aeronave. Comumente chamadas de drones ou VANT, estes

sistemas foram criados inicialmente para fins militares. Seu uso teve início no final dos anos 1950, durante a guerra do Vietnã e a guerra fria (NONAMI, 2007). O custo dos componentes eletrônicos e mecânicos da RPA tem reduzido significativamente com o passar dos anos, tornando viável a utilização destas aeronaves no meio civil e industrial. RPA do tipo multirotor são extremamente versáteis, e podem ser aplicadas em diversas atividades. No Brasil, as pesquisas em RPA são recentes, tendo seu principal foco em áreas de aplicações civil (vigilância policial, inspeção de linhas de transmissão de energia, acompanhamento de safras, controle de pragas, queimadas) (MEDEIROS, 2007). Diversos países possuem trabalhos no desenvolvimento de RPA, em destaque o Japão, possuindo mais de 2000 RPA aplicados na agricultura (JORGE; INAMASU, 2014). Os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas utilizados em AP são compostos de três componentes principais: a estação de controle terrestre (RPS – *Remote Pilot Station*), a RPA, e a câmera acoplada. As imagens adquiridas durante o voo devem ser georreferenciadas, ou seja, possuir junto da imagem uma identificação da posição geográfica, para que posteriormente estas imagens sejam processadas em um software capaz de reconstruir um mapa da região, chamado de mosaico. No mercado de RPA atualmente a uma gama de empresas estrangeiras e brasileiras que comercializam aeronaves capazes de atender as necessidades da agricultura de precisão, no entanto estes equipamentos tem um custo elevado no mercado brasileiro, o que para pequenos produtores agrícolas se torna inviável. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi a construção de um protótipo de RPA de baixo custo para uso no meio agrícola.

**MATERIAL E MÉTODO:** O primeiro passo deste estudo foi realizar uma pesquisa sobre os componentes disponíveis no mercado, averiguando suas especificações e realizados cálculos para decidir se os componentes eram adequados para o projeto. Desejou-se inicialmente comprar apenas os equipamentos essenciais para construir uma RPA capaz de levantar voo estável e controlado para registrar imagens com o menor custo possível. A princípio, esta aeronave não será capaz de realizar voos autônomos, pois não possuirá um GPS embarcado seu sistema. Foi estipulado um peso total máximo de 2 kg, incluindo o peso da estrutura, componentes eletrônicos, motores e câmera. Esse peso permitiu definir quais motores deveriam ser usados para sustentar a aeronave. Para suportar os motores e demais componentes da RPA, a estrutura (*frame*) escolhida foi a genérica F450. Essa estrutura é uma das mais utilizadas no mercado de hobbistas, para construção de drones de recreação. Ela possui o peso aproximado de 282 gramas, é feita de nylon altamente resistente. O *frame* ainda conta com uma placa PCB de distribuição de energia para os motores e trem de pouso em plástico flexível. Apesar do seu uso recreativo, esse *frame* é resistente e facilmente encontrado no mercado, sendo assim uma boa escolha como plataforma de desenvolvimento. Os motores escolhidos foram do tipo BLDC – *Brushless Direct Current* da marca Turnigy. Tendo isto em vista, o motor 2836-8 de 1100Kv este foi selecionado devido ao fácil acesso no mercado, sendo capaz de gerar uma propulsão máxima de 1130g de acordo com informações do fabricante, garantindo a RPA, uma propulsão teórica de 4,5 kg. Na prática, deve ser reservado parte da propulsão para manter a manobrabilidade da aeronave. A RPA projetada, irá ficar estacionária no ar (*hover*) com 50% da potência dos motores. Sobrando assim mais 50% para fazer manobras de subida e resistir ao vento. Em seguida foi escolhido a bateria, Li-Po 4S (14V), com 5000 mAh. Apesar do peso elevado, de acordo com os cálculos realizados com o auxílio da ferramenta web da eCalc, percebe-se que a relação peso e capacidade de carga é adequada para que se tenha um tempo de voo aceitável em aplicações agrícolas. O tempo de voo estimado mínimo é de 7 minutos, quando os motores operarem em potência máxima. Um controlador de velocidade eletrônico (ESC – *Electronic Speed Controller*) foi usado para fazer a comutação das bobinas. Logo, para atender a esses dois pontos foi obtido quatro ESC de 30A (um para cada motor), compatíveis com uma bateria 4S. As hélices selecionadas para a construção foram do tipo 10x4,5 polegadas, de plástico ABS. Como controlador de voo, foi escolhido o Arduino nano, uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto baseada no microcontrolador Atmel. Para sua programação foi usado uma IDE própria do fabricante, também de livre distribuição. Foi escolhido o MPU6050 que é um módulo de medida inercial capaz de comunicar pelo protocolo I2C. Este módulo possui 3 sensores acelerômetros orientados nos três eixos cartesianos espaciais que são capazes de fornecer medidas de aceleração com resolução de  $160 \text{ m.s}^{-2}$  até  $20 \text{ m.s}^{-2}$ . No módulo também estão presentes 3 sensores giroscópios, também orientados nos eixos cartesianos. A resolução da medida de velocidade no MPU6050 é da ordem de  $200 \text{ }^\circ.\text{s}^{-1}$ . Utilizando esses dados é possível determinar a orientação e posição do veículo. O rádio TGY-i6 é um rádio controle (RC) de seis canais de comunicação, que transmite informações a uma frequência de 2,4 Ghz. Essas informações são convertidas pelo receptor em pulsos com largura modulada e 5V de pico, com o tempo padronizado da largura do pulso variando de 1000  $\mu\text{s}$  a 2000  $\mu\text{s}$ .

Uma placa de circuito eletrônico foi projetada (FIGURA 1), para facilitar a conexão do Arduino com os demais componentes do projeto. Um circuito divisor de tensão foi utilizado para enviar um sinal proporcional a carga da bateria ao controlador, para permitir a tomada de ações quando a bateria estiver baixa. A comunicação do controlador com receptor de rádio e ESC é feita pelas portas I/O digitais de 4 a 11 do Arduino. Sendo 4 portas usadas para receber a informação de 4 canais do receptor e 4 para comandar os



ESC. O cabo de controle do ESC possui 3 pinos, VCC, GND e Sinal. Apenas os pinos de Sinal e GND (terra) são utilizados na conexão, não sendo necessário o uso do pino VCC. A biblioteca *Wire* da IDE do Arduino implementa a comunicação I2C. Para esta comunicação, são utilizados os pinos SDA e SCL do Arduino, que no modelo nano, correspondem ao A4 e A5. O diagrama elétrico da Figura 1 mostra em detalhes o circuito utilizado nesse projeto.

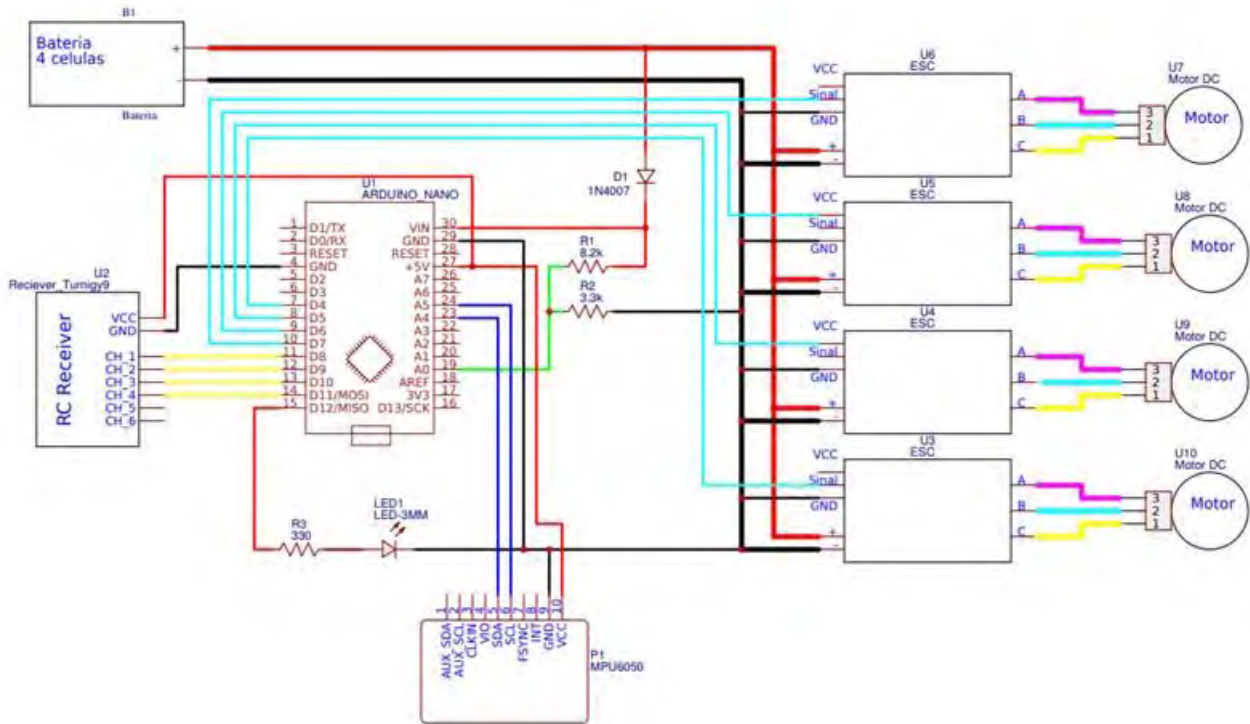


FIGURA 1. Diagrama de circuito eletrônico.

O programa de controle de voo da RPA utilizado foi baseado no programa YMFC-AL, criado por J. Brokking, que consiste em um controlador de voo simples para Arduino, capaz de manter a estabilidade durante o voo a partir de um único IMU. Este programa é dividido em 3 programas separados devido a memória limitada do controlador. O programa de configuração é utilizado para identificar se todos os componentes essenciais para a RPA estão montados corretamente, e calibrar os limites do sinal do rádio controle. Para usá-lo, conecta-se o arduino nano a um computador por meio de um cabo USB. A aeronave deve estar com as hélices removidas e o conector da bateria desligado para evitar o acionamento indevido dos motores. No computador, utilizando a IDE do arduino, o programa de configuração da aeronave deve ser aberto e carregado no arduino. Em seguida, abrindo o monitor serial da IDE, são mostradas mensagens na tela do computador requisitando comandos específicos do usuário. Essas mensagens solicitam que o usuário realize comandos específicos no rádio controle a fim de identificar quais canais estão sendo usados, a amplitude do sinal de cada canal e qual o ponto central. Posteriormente, o programa requer que o usuário que rotacione a RPA, para identificar em qual orientação foi instalado o MPU6050. Todas as informações são armazenadas na memória não volátil (EEPROM) durante a execução do programa e são usadas pelos demais programas quando um novo código é carregado no arduino. O segundo programa é utilizado para testar o funcionamento da comunicação via rádio, balanceamento das hélices e funcionamento do sensor cinético. Para usá-lo, novamente o arduino deve ser conectado ao computador e o programa deve ser carregado com a IDE. No monitor serial no computador, o usuário pode enviar uma letra ao Arduino, pedindo para realizar um dos testes citados acima. O teste de comunicação via rádio é ativado enviando a letra "r" no monitor serial. É impresso no monitor a posição atual dos controles, e a qual função (aceleração, arfagem, rolagem, guinada) estão conectados. Neste momento, movimentar os controles do rádio deve resultar na alteração dos valores apresentados na tela do computador. O teste do sensor cinético é ativado enviando a letra "a". Na tela do computador é exibida a inclinação atual da RPA em graus. Os valores de inclinação apresentados com a aeronave nivelada devem ser anotados, posteriormente serão usados para calibrar o sensor. A função de balanceamento de hélices funciona com base na vibração causada pelas hélices em movimento. A vibração prejudica a estabilidade da aeronave durante o voo e, portanto, deve ser minimizada. Para usá-la, as hélices devem ser instaladas na aeronave, e o controle remoto deve estar ligado e com o controle de aceleração posicionado no mais baixo. Com a bateria conectada a RPA, ao enviar um número e 1 a 4 no monitor serial, é possível selecionar qual motor será acionado. Para aumentar a rotação do motor deve ser usado o acelerador do RC. No monitor serial, é mostrado a vibração percebida pelo IMU. Foram colocadas fitas adesivas para ajustar o peso de cada lado da hélice, de modo a reduzir a vibração percebida pelo sensor. Os

dois primeiros programas foram executados com a RPA conectada a um computador. O último programa é utilizado para fazer o voo da aeronave. Ele foi carregado conectando o arduino ao computador e transferindo o programa pela IDE, porém após a transferência do programa, o cabo de conexão foi retirado. O programa é executado assim que o conector da bateria é ligado. O funcionamento do programa consiste em três passos que devem ser executados ciclicamente, e um quarto passo executado esporadicamente. Ao início do programa, uma sequência de configuração é executada uma única vez. Essa sequência verifica se o programa de configuração foi executado corretamente e calibra o IMU. Os dados enviados pelo rádio controle estabelecem a inclinação desejada da aeronave, e a aceleração dos motores. Sempre que o controlador detecta uma mudança de estado na comunicação com o RC, uma interrupção é gerada, os pontos desejados de operação da RPA são atualizados. Esta operação é o passo esporádico que ocorre somente quando o usuário altera um comando no RC. O primeiro passo do algoritmo de voo é coletar os dados de inclinação, e compara-los com os pontos desejados. Em seguida essas diferenças são usadas em três algoritmos de controle PID, um para cada eixo de rotação cartesiano. Por fim, o resultado dessas operações é interpolado e enviado como sinal de controle para o acionamento dos quatro motores. Dentro do algoritmo também estão presentes trechos que limitam a amplitude dos sinais gerados, ajustes para compensar a perda de carga da bateria, e bloqueios caso alguma falha seja detectada. Para analisar os resultados da construção, um voo de teste foi realizado, e comparado visualmente com a estabilidade do voo de uma RPA comercial.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O peso final da construção da RPA ficou em 1,4 kg e custo total de R\$ 1.562,49. Na Tabela 1 estão descritos os valores unitários dos componentes.

TABELA 1. Preço das peças para a montagem da RPA.

Peças	Quantidade	Valor (R\$)	Total(R\$)
Motor 1100 KV	4	79,90	319,60
ESC 30A	4	45,99	183,96
Bateria 4S	1	250,00	250,00
Frame F450	1	92,50	92,50
Carregador da bateria	1	80,00	80,00
Arduino nano	1	21,00	21,00
Radio controle e receptor	1	409,99	409,99
MPU6050	1	13,00	13,00
Placa PCB	1	10,00	10,00
Frete	-	122,44	122,44
Outros gastos*	-	60,00	60,00
<b>Total</b>	-	-	1562,49

\*Gastos relacionados a parafusos e conexões, fios, fita isolante, pilha, solda e afins.

Um módulo GPS e um rádio de telemetria são necessários para permitir o voo automático da aeronave. Um sensor GPS 6M é capaz de fornecer informações de posicionamento global ao RPA. O rádio de telemetria permite a comunicação da estação de controle no chão, com o RPA. Ambos os componentes podem ser encontrados no mercado brasileiro. O sensor GPS NEO-6M, custa aproximadamente R\$ 100,00, e um kit transmissor-receptor de rádio para telemetria custa aproximadamente R\$ 150,00. O *gimbal* deve ser comprado em função do peso da câmera. Um *gimbal* de dois eixos genérico para RPA podem ser comprados com o preço aproximado de R\$ 300,00. Com isso o custo final da construção da RPA chegaria a um valor aproximado de R\$ 2100,00, um preço menor que o encontrado atualmente no mercado, que gira em torno de R\$ 5.000,00 para o drone DJI Phantom 3, e R\$ 10.000,00 para o DJI Phantom 4.



FIGURA 2: Protótipo da RPA de baixo custo.

O tempo de voo pairando calculado foi de 13 minutos. Um teste dentro do laboratório, com os motores continuamente acionados a 50% da potência, foi realizado e apresentou autonomia de aproximadamente 14 minutos. Durante o teste do IMU, uma inclinação de 2 graus no eixo da arfagem foi percebida. Esta inclinação foi corrigida alterando uma seção do código de voo, reservada para esse tipo de ajuste. Durante o teste de voo da RPA, a aeronave decolou com sucesso, mostrando que os motores escolhidos para o projeto foram bem dimensionados. Mantendo os comandos de arfagem, guinada e rolamento na posição central, a aeronave se manteve nivelada. Provando que o algoritmo desenvolvido por J. Brokking do código YMFC-AL de controle de estabilidade baixado da internet estava sendo executado com sucesso com os valores dos ganhos PID originais. Ao mover os controles, a RPA se mostrou responsiva aos comandos, movendo para a direção desejada. No estado atual, o algoritmo sendo executado no controlador de voo é responsável apenas por manter a aeronave nivelada. O piloto deve constantemente ajustar o acelerador para manter a aeronave parada em uma determinada altitude, e também deve compensar o vento. Esse aspecto do modo de voo torna a pilotagem difícil para iniciantes, o que é indesejável. Também observou-se durante a compilação do código que o programa de controle de pilotagem ocupa 12104 bytes da memória reservada para programa, correspondendo a 40% da memória de programa disponível no Arduino Nano. As variáveis globais ocupam 516 bytes, correspondendo a 25% da memória dinâmica disponível. Para evitar problemas futuros de expansão, é importante adquirir um controlador mais potente. Um controlador promissor é o Raspberry Pi, um computador baseado em Unix, de pequeno porte e preço acessível (TORRES; ROCHA; SOUZA, 2016). De acordo com o fabricante, a versão mais simples possui um processador de 1 GHz de um núcleo, e 512 MB de RAM. Um algoritmo de travamento vertical (*Altitude Hold*) deve ser usado para evitar a necessidade o ajuste de aceleração do piloto. Para isso, algum tipo de sensor deve ser utilizado para medir a altitude na aeronave. Um barômetro pode ser instalado, de modo a medir a altitude da aeronave (SILVA, 2013). Também é interessante travar a RPA nos outros eixos horizontais, conhecido como *Position Hold*. Para isso, o RPA precisa conhecer seu posicionamento global de alguma maneira. Os algoritmos de travamento exigem uma precisão maior dos sensores, porém apenas um IMU apresenta muito ruído e ocorre um deslocamento (*drifting*) à medida que o tempo passa (ALEXA; NIKOLAKOPOULOS; TZES, 2012). Para evitar esse efeito, é necessário usar um GPS para corrigir esse desvio. Técnicas de fusão de sensores podem ser usadas para integrar os dados de posição do GPS, IMU e barômetro (KIM; SUKKARIEH; WISHART, 2003). Por fim, um dispositivo de telemetria seria necessário para permitir a comunicação entre uma estação de controle terrestre e a aeronave. Nessa estação seria possível enviar comandos complexos a RPA, como dados de trajetória, altitude e acionamento da câmera. Após a implementação dessas modificações, já previstas no projeto, a aeronave estaria apta a realizar tarefas de aquisição de imagens para aplicações de técnicas de AP (JORGE; INAMASU, 2014). A RPA no presente momento tem potencial para construção de um sistema mais complexo e robusto, e permite a fácil compreensão da dinâmica envolvida no processo de controle. No entanto não é possível registrar imagens. Para tal será necessário a instalação de um suporte para câmera, módulo GPS e barômetro. A instalação desses componentes extras acarretará em uma sobrecarga do controlador Arduino. Deve ser estudada a substituição do controlador por outro mais potente, capaz de realizar as operações mais rápidas e preferivelmente em paralelo. Com essas modificações a RPA poderá ser usada no mapeamento georreferenciado de lavouras.

**CONCLUSÃO:** Foi possível construir uma aeronave de baixo custo, capaz de levantar voo estável e se manter no ar. A RPA desenvolvida, no entanto, não é capaz de realizar voos automáticos e registrar imagens georreferenciadas. Também o único modo de voo presente é o voo estabilizado, um modo manual de pilotagem, difícil de controlar e que exige constante ajuste dos controles por parte do piloto. Para permitir

funcionalidades de voo automático, é necessário modificar o controlador utilizado na construção, desenvolver e implementar algoritmos para travamento de posição e altitude e adicionar um sensor GPS, barômetro e magnetômetro. O custo final da RPA foi de R\$ 1.562,00, e com as modificações sugeridas acima, acredita-se ser possível construir uma aeronave completa por R\$ 2.500,00. Este valor é 60% menor que o encontrado no mercado para uma aeronave capaz de executar funções similares como o DJI Phantom 3.

**AGRADECIMENTOS:** A UFLA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SISU/MEC/PET aporte para o desenvolvimento e apresentação dos resultados deste estudo.

## **REFERÊNCIAS:**

ALEXIS, Kostas; NIKOLAKOPOULOS, George; TZES, Anthony. Model predictive quadrotor control: attitude, altitude and position experimental studies. **IET Control Theory & Applications**, v. 6, n. 12, p. 1812-1827, 2012.

BRASIL. RBAC-E n.94, de 02 de maio de 2017. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial**. Agência Nacional de Aviação Civil. 94. ed. [S.l.], p. 4-5, maio. 2017. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DJI Store. Disponível em: <<https://store.dji.com/>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

ECalc. The most reliable electric Motor Calculator on the web. Disponível em: <<https://ecalc.ch>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

JORGE, LA de C.; INAMASU, Ricardo Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

KIM, Jong-Hyuk; SUKKARIEH, Salah; WISHART, Stuart. Real-time Navigation, Guidance, and Control of a UAV using Low-cost Sensors. In: **Field and Service Robotics**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. p. 299-309.

MEDEIROS, F. A.; ALONÇO, A. D. S.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, V. D. O.; JÚNIOR, M. L. L. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2375-2378. 2008.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NONAMI, Kenzo. Prospect and Recent Research & Development for Civil Use Autonomous Unmanned Aircraft as UAV and MAV. **Journal of System Desing and Dynamics**, v. 1, n. 2, p. 120-128, jan. 2007.

SILVA, Leonam Pecky da. Projeto e construção de um quadricóptero remotamente pilotado e do seu sistema de determinação e controle de atitude. 2013.

TORRES, Andrei B.B.; ROCHA, Atslands R.; DE SOUZA, José N. Análise de desempenho de brokers mqtt em sistema de baixo custo. In: **Anais do XXXVI congresso da sociedade brasileira de computaç ao. Sociedade Brasileira de Computação**. 2016.

## **CONTEXTO HISTÓRICO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL**

**TAINARA BRUNA MONTAGNA<sup>1</sup>, MARCIELLI HAUSCHILDT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, Doutoranda em Geografia - UNIOESTE, Bolsista CAPES, Francisco Beltrão – PR. Fone: (46) 98803-7396, tainaramontagna@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduanda em Geografia Bacharelado – UNIOESTE, marcy.elli@hotmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A agricultura de precisão se introduz na agricultura dentro de uma nova agricultura baseada em tecnologia e na busca pela inovação, tornando-se um diferencial para o meio rural. A agricultura de precisão surge em meados nos anos 1980, porém no Brasil sua propagação ocorre na segunda metade de 1990 com a origem do GPS e logo após as colhedoras equipadas com monitores de produtividade. Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo principal contextualizar o histórico da agricultura de precisão no Brasil, visto que é escasso os estudos relacionados a essa perspectiva. Como procedimento metodológico, é realizado um estudo de caráter bibliográfico, onde tem como base a pesquisa de diferentes referenciais bibliográficos sobre o assunto abordado.

**PALAVRAS-CHAVE:** histórico; Brasil; tecnologia.

### **HISTORICAL CONTEXT OF PRECISION AGRICULTURE IN BRAZIL**

**ABSTRACT:** Precision farming is introduced into agriculture within a new agriculture based on technology and the search for innovation, becoming a differential for the rural environment. Precision farming arose in the mid 1980s, but in Brazil its propagation occurs in the second half of 1990 with the origin of GPS and soon after the harvesters equipped with productivity monitors. In this sense, the main objective of this article is to contextualize the history of precision agriculture in Brazil, since there are few studies related to this perspective. As a methodological procedure, a bibliographic study is carried out, based on the research of different bibliographic references on the subject.

**KEYWORDS:** historic; Brazil; technology.

**INTRODUÇÃO:** Segundo o Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (2013), José P. Molin aborda que a agricultura de precisão surgiu na Europa em meados de 1980, onde foi criado o primeiro mapa de produtividade e nos EUA, ocorreu a primeira adubação com doses variadas. Porém, um marco importante que ocorreu por cerca de 1990, foi a origem do GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélites). Já no Brasil, as atividades relacionadas à agricultura de precisão se desenvolveram em cerca de 1995, através da importação de equipamentos, em especial o uso de colhedoras equipadas com monitores de produtividade.

Para Jakubaszko (2012) a agricultura de precisão não é uma tecnologia para se fazer agricultura, ou seja, é um novo jeito de se praticar a agricultura, e que além disso, dá garantias reais de aumento de produtividade, e redução nos custos dos insumos.

Mariano (2014) relata que a agricultura de precisão se insere dentro de uma nova agricultura baseada em tecnologia e na busca pela inovação, com característica de possuir um diferencial para o meio rural. Ao utilizar através do maquinário a informação tecnicizada no campo, o produtor rural consegue um acesso rápido e fácil as informações que são referentes ao processo de otimização da atividade de plantio.

Assim, o presente artigo, tem como objetivo principal contextualizar o histórico do processo da agricultura de precisão no Brasil, visto que são escassos estudos relacionados a essa questão.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente artigo trata-se de uma pesquisa de caráter bibliográfico para responder as questões que se refere ao histórico da agricultura de precisão no Brasil. Desta forma, o estudo tem como base a leitura dos principais referenciais bibliográficos sobre surgimento da agricultura de precisão no Brasil.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** De acordo com Resende et al (2010) as primeiras iniciativas de adoção e pesquisa de agricultura de precisão no Brasil iniciaram na segunda metade da década de 1990, através da popularização dos equipamentos GPS e também, o desenvolvimento de diferentes equipamentos, dispositivos e programas computacionais com a finalidade de obter e processar dados georeferenciados. Para os autores, houve um grande entusiasmo por parte dos produtores, quanto a disponibilização de colhedoras equipadas com GPS e sensores de produtividade. Em contrapartida, houve uma certa retração dos agricultores em adquirir esses maquinários, em virtude da dificuldade de utilização do monitor de colheita, de processamento de dados coletados, e também, aos mapas de colheita dos produtores.

Diante desse fato, surge no Brasil várias empresas especialistas, com a finalidade de prestar serviços a esses agricultores, principalmente no que se refere às amostragens georeferenciadas, mapeamento de fertilidade do solo, e, distribuição de corretivos e fertilizantes em taxa variável.

Acosta et al (2010) ilustram um símbolo de difusão da tecnologia de agricultura de precisão quanto ao seu ciclo de adoção (Figura 1). Segundo os autores, quando a técnica foi introduzida no Brasil por cerca de 1997, tinha-se a necessidade de mapas de produtividade como a primeira ferramenta a se elaborar, seguindo os modelos norte-americano e europeu. Assim, historicamente este fato tem origem no desenvolvimento da informática, na eletrônica e no geoprocessamento de dados. Ao ser implantada no Brasil, a agricultura de precisão enfrentou uma série de impactos em relação ao seu local de origem, visto que os recursos para investimentos estavam escassos, principalmente em relação aos mapas de colheita e ao manuseio dos equipamentos de precisão. Diante disso, há um grande destaque de empresas privadas que deram suporte a esses fatores relacionados a agricultura de precisão.

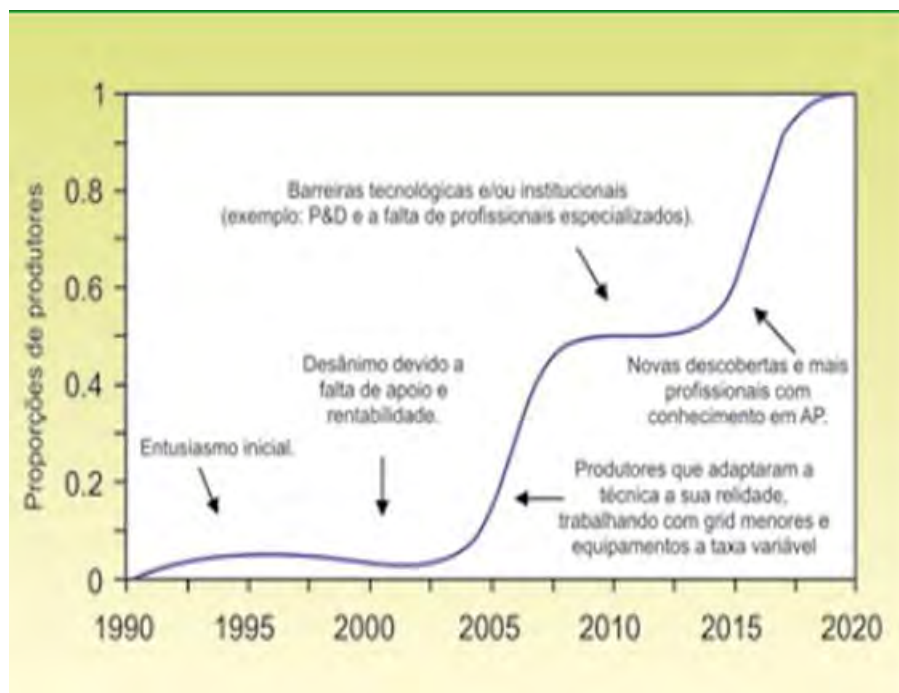
Abaixo segue a Figura 1 que trata-se da representação clássica do ciclo da agricultura de precisão e, o Gráfico 1, que aborda o prognóstico da agricultura de precisão no mundo, ambos são elaborados por Acosta et al (2010).



FIGURA 1. Representação clássica do ciclo de Agricultura de Precisão. Classical representation of the Precision Agriculture cycle. Elaborado: ACOSTA et al (2010).

## GRÁFICO 1. Prognóstico de adoção da Agricultura de Precisão no Mundo. **Prognosis of adoption of precision agriculture in the world.**

Adaptado de Bongiovani (2003) apud Acosta et al (2010).



Segundo os autores Acosta et al (2010) nos anos de 2000, iniciou-se o Projeto Aquarius, na cidade de Não-Me-Toque, o trabalho resultou em uma difusão tecnológica, ou seja, transformou o projeto em uma referência nacional. Os resultados do projeto segundo os autores, foram:

- 1) Os mapas de colheita e variabilidade dos principais nutrientes não possuíam uma relação direta entre si;
- 2) A utilização de corretivos e fertilizantes poderiam trazer alguns retornos, visto que os solos do Sul do Brasil são ácidos e pobres, principalmente devido a erosão do sistema convencional;
- 3) Os custos elevados do processo de coleta de solo, análise e geração dos mapas de fertilidade, foram alguns dos fatores negativos enfrentados pelos produtores;
- 4) Tecnologia de aplicação à taxa variável, pois a grande maioria dos equipamentos de aplicação era importada, com custo alto e de difícil adaptação.

Esses foram alguns dos fatores apresentados pelos autores como desafios em que a agricultura de precisão enfrentou no início de sua adoção no Brasil.

**CONCLUSÃO:** A pesquisa referente ao contexto histórico da agricultura de precisão aborda alguns elementos importantes quanto a adoção no Brasil. Assim, é utilizado como base alguns autores que fazem essa contextualização e alguns fatores relevantes deste processo, como o alto custo dos equipamentos, além da falta de empresas ou pessoas capacitadas quanto a esclarecimento de uso e manejo de tais equipamentos dotados de tecnologias. Em um próximo momento, pretende-se contextualizar a agricultura de precisão, bem como as fases deste processo por cerca dos anos de 1990 que foi o ano de sua adoção até os anos de hoje.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, José A. de. A.; LEMAINSKI, Claudio L.; SANTI, Olavo G. R.; LONDERO, Guilherme.; BUSATO, Marcelo. Constante evolução. **Revista Cultivar**. p.12-16. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão: Boletim técnico**. Brasília: MAPA, 2013. 36p.

INAMASU, Ricardo Y.; BERNARDI, Alberto C. C. de. A agricultura de precisão. In: BERNARDI, Alberto C. C. de.; NAIME, João de. M.; RESENDE, Álvaro V. de.; BASSOI, Luís H.; INAMASU, Ricardo Y. (Org). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 596p. p.21-33.

JAKUBASZKO, Richard. Plantar e colher sem nenhum erro. **DBO Agrotecnologia**. p. 26-33. 2012.

MARIANO, Mikaele G. **A agricultura de precisão como ferramenta de competitividade: um estudo de caso na Agrícola Wehrmann**. Monografia (Bacharel em Gestão do Agronegócio) Planaltina: Universidade de Brasília. 2014. 38 f.

RESENDE, Álvaro V.; SHIRATSUCHI, Luciano S.; COELHO, Antonio M.; CORAZZA, Edegar J.; VILELA, Marina F.; INAMASU, Ricardo Y.; BERNARDI, Alberto C. C.; BASSOI, Luis H.; NAIME, João M. Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: NOVOS CAMINHOS PARA AGRICULTURA CONSERVACIONISTA NO BRASIL, XVIII., 2010, Piauí. **Anais...** Piauí: UFPI, 2010. p. 1-23.



## **CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DO USO DO SOLO PELA VARIABILIDADE DO NDVI**

**ALINE SPAGGIARI ALCÂNTARA<sup>1</sup>, MAILSON FREIRE DE OLIVEIRA<sup>2</sup>, FRANCISCA  
NIVANDA DE LIMA ESTEVAM<sup>3</sup>, TERESA CRISTINA TARLÉ PISSARRA<sup>4</sup>, RENATA CRISTINA  
ARAÚJO COSTA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), Depto. Eng. Rural, UNESP Jaboticabal – SP, Fone: (16)99227-5330, alineespaggiari@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP Jaboticabal – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), Depto. Eng. Rural, UNESP Jaboticabal – SP,

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Prof<sup>a</sup>. Dr., Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP

<sup>5</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), Depto. Eng. Rural, UNESP Jaboticabal – SP,

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O uso de índices de vegetação se destaca entre as tecnologias, como poderosas ferramentas indicadoras do desenvolvimento da vegetação. Com isso surgem técnicas ligadas ao sensoriamento remoto como instrumento em potencial, tanto na coleta como no processamento das informações referentes às áreas agrícolas. No entanto, é necessário saber se essas ferramentas alternativas são capazes de prover informações específicas e confiáveis com relação ao estado das lavouras agrícolas. Dessa forma, objetivou-se avaliar a qualidade a partir da variabilidade do NDVI para identificação do padrão das classes de uso do solo e utilizar o método controle estatístico de processo para verificar o padrão comportamental do NDVI em cada classe. O delineamento experimental foi baseado nas premissas do controle estatístico de processo (CEP). Foi feita a análise descritiva dos dados e as ferramentas utilizadas foram as cartas de controle e amplitude móvel, como indicadores de qualidade áreas de mata nativa, solo exposto, solo com palha, cana-de-açúcar, área urbana e de água. O controle estatístico de processo demonstrou qualidade na classificação supervisionada de áreas de solo exposto, solo com palha e água. Em contrapartida, para áreas urbanas apresentou maior variabilidade de processo, denotando pior qualidade na classificação destes dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cartas de controle, Índice de vegetação, Classificação de imagens.

### **STATISTICAL CONTROL APPLIED IN THE IDENTIFICATION OF SOIL USE BY NDVI VARIABILITY**

**ABSTRACT:** The use of vegetation indices stands out among the technologies, as powerful tools indicative of vegetation development. With this, techniques related to remote sensing emerge as a potential instrument, both in the collection and processing of information related to agricultural areas. However, it is necessary to know if these alternative tools are able to provide specific and reliable information regarding the state of agricultural crops. In this way, the objective was to evaluate the quality from the variability of the NDVI to identify the pattern of the classes of soil use and to use the statistical process control method to verify the behavioral pattern of NDVI in each class. The experimental design was based on the premises of the statistical process control (SPC). A descriptive analysis of the data was carried out and the tools used were control charts and mobile range, such as quality indicators of native forest, exposed soil, soil with straw, sugar cane, urban and water area. Statistical process control demonstrated quality in the supervised classification of areas of exposed soil, soil with straw and water. On the other hand, for urban areas it presented greater process variability, denoting worse quality in the classification of these data.

**KEYWORDS:** Control charts, Vegetation index, Image Classification.

**INTRODUÇÃO:** O uso de índices de vegetação pode ser utilizado como um indicador no ambiente agrícola. Para minimizar a variabilidade devido à fatores externos, a reflectância espectral tem sido

transformada e combinada em vários índices de vegetação (Ponzoni, 2001). Entre as ferramentas utilizadas para medir o índice de vegetação, o NDVI (Diferença Normalizada Índice de Vegetação) tem sido amplamente utilizado. No entanto, é necessário saber se essas ferramentas alternativas são capazes de prover informações específicas e confiáveis com relação ao estado das lavouras agrícolas. Neste contexto, as ferramentas do controle estatístico de processo são uma alternativa para aumentar o nível de qualidade dos indicadores (variáveis), atuando como uma análise de dados, em que objetiva o melhor gerenciamento de determinada operação, como forma de diminuir o nível de variabilidade inerente à mesma (Silva et al., 2013). Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade a partir da variabilidade do NDVI para identificação do padrão das classes de uso do solo e utilizar o método controle estatístico de processo para verificar o padrão comportamental do NDVI em cada classe.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi fundamentado na utilização de uma imagem orbital do satélite LANDSAT 8 no dia juliano 317 de 2017, com resolução espacial de 30 m no formato GEOTIFF com bandas multiespectrais separadas. Foram utilizadas as bandas 4 e 5 para o cálculo do NDVI conforme a equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Sendo que:

NDVI é o Índice de vegetação da diferença normalizada pelo vermelho

IVP sendo a reflectância no infravermelho próximo

V sendo a reflectância na banda do vermelho

Após o cálculo do NDVI procedeu-se a classificação pelo método supervisionado, utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança, que é um método considerado paramétrico. A identificação de cada uso (solo exposto, solo com palha, cana-de-açúcar, água área urbana e vegetação nativa) foi realizada a partir do método visual de fotointerpretação do padrão espectral do alvo realizada a partir da imagem Landsat 8, Cor Natural, composição de bandas 432. Foi realizada uma amostragem do NDVI utilizando 100 pontos aleatórios para cada classe de uso, a amostragem resultou em um banco de dados que foi transportado ao Excel com os valores de NDVI correspondentes. A análise da qualidade da identificação dos usos utilizando como critério o índice NDVI foi feita pelo delineamento experimental baseado nas premissas do controle estatístico de processo (CEP). Os dados foram submetidos a análise descritiva e as ferramentas utilizadas foram as cartas de controle de valores individuais e amplitude móvel geradas pelo programa computacional MINITAB® 16. Como indicadores de qualidade utilizou-se as áreas de mata nativa, solo exposto, solo com palha, cana-de-açúcar, área urbana e de água. Os dados foram utilizados para a confecção das cartas de controle, independentemente da suposição de normalidade. No entanto, segundo Samohyl (2009), a normalidade, embora desejável, não é fundamental para a aplicação das técnicas de CEP. Para tanto, nas cartas, o processo sob controle, também denominado como estável, demonstra somente variação aleatória dentro dos limites (superior e inferior) de controle tanto das cartas de valores individuais como nas de variação do processo (amplitudes móveis). Já um processo que se encontra fora de controle, ou seja, com pontos além dos limites de controle inferior e superior, demonstra variação devido a causas especiais, não assinaláveis ou não aleatórias, extrínsecas ao processo, tendo sido calculados com base no desvio padrão das variáveis, como demonstrado nas equações 2 e 3.

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (2)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (3)$$

Em que,

LSC: limite superior de controle;

$\bar{x}$ : média geral da variável;

$\sigma$ : desvio-padrão; e,

LIC: limite inferior de controle.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise dos parâmetros da estatística descritiva (Tabela 1) mostra que os valores médios e medianos das classificações das áreas estão próximos e que o coeficiente de variação é muito baixo. Os baixos valores dos coeficientes de variação encontrados indicam um menor grau de variabilidade do conjunto de dados, ainda valores inferiores a 0,25 indicam que o conjunto de dados é razoavelmente homogêneo. Além disso, o desvio padrão também é considerado baixo, indicando mais uma

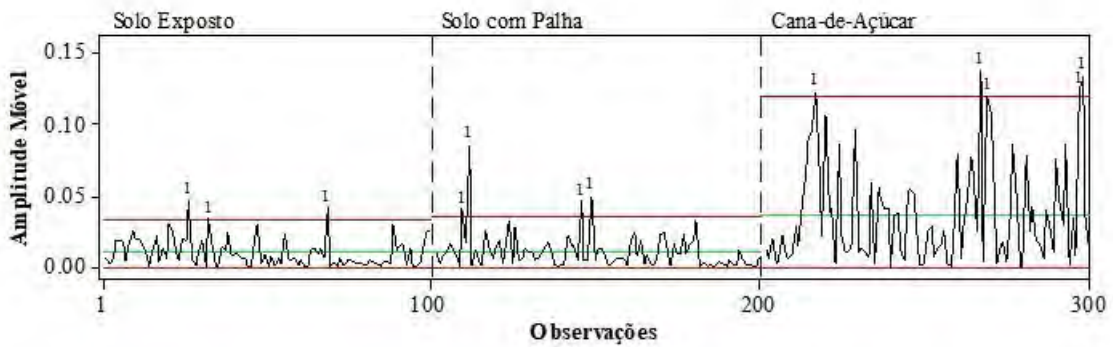
vez, que os dados não estão dispersos, evidenciando baixa variabilidade do processo. Deve-se notar, no entanto que mesmo com baixos valores, o maior desvio padrão e amplitude dos dados foi obtido para área urbana, podendo caracterizar um processo fora de controle. Uma ferramenta que pode ajudar no monitoramento da variabilidade e manutenção da qualidade do processo são os gráficos de controle. A área de cana-de-açúcar analisada apresenta uma amplitude de valores entre 0,13 e 0,47, com média 0,38; valores próximos dos encontrados por Zanzarini et al. (2013) representam áreas com menor porte vegetativo e mais dessecadas (Weir; Herring, 2012). Com relação aos índices de simetria e curtose, observamos que a distribuição dos dados de água, vegetação nativa e cana são deslocados para a esquerda, área urbana são deslocados para a direita, e solo exposto e com palha são mais próximos de zero caracterizando uma boa distribuição dos dados. Os índices de curtose indicam curva leptocúrtica para a área urbana.

TABELA 1. Estatística descritiva para os indicadores de qualidade Água, Área Urbana, Solo Exposto, Vegetação Nativa, Solo com Palha, e Cana.

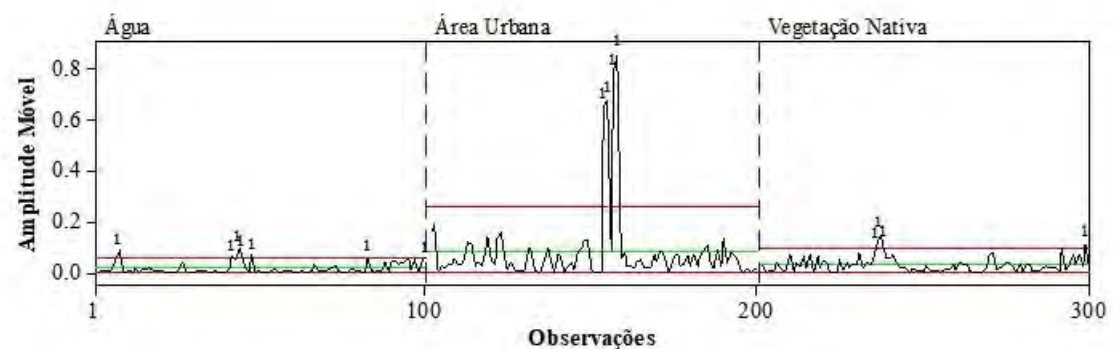
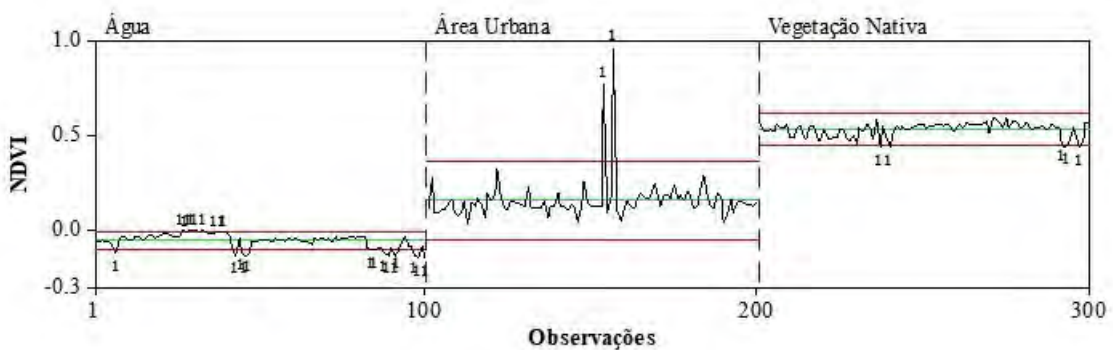
	Água	Área Urbana	Solo Exposto	Vegetação Nativa	Solo com Palha	Cana
Média	-0.06227	0.1543	0.10679	0.52856	0.17353	0.38503
$\sigma$	0.00368	0.0115	0.00146	0.00373	0.00201	0.00522
CV	0.03677	0.1149	0.01457	0.03734	0.02013	0.05217
Mínimo	-59.05	74.43	13.65	7.06	11.6	13.55
Mediana	-0.15113	0.0278	0.0785	0.43362	0.11967	0.27816
Máximo	-0.00904	0.9595	0.14806	0.59315	0.25211	0.4765
Amplitude	0.14209	0.9316	0.06956	0.15953	0.13244	0.19834
Cs	-0.88	5.12	0.21	-0.88	0.58	-0.2
Ck	0.14	31.81	-0.12	0.12	2.45	-1.06

$\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; Cs – Coeficiente de assimetria; Ck – Coeficiente de curtose.

As cartas de controle apresentadas na Figura 1 A, demonstraram que para as áreas de solo exposto, solo com palha a classificação da imagem apresentou uma melhor qualidade de processo quando comparadas com as demais. Sendo caracterizada por apresentar menor variabilidade dos dados, o que ocorre quando estes situam-se próximos a média. Kariyeva e Leeuwen (2011) utilizando variáveis ambientais identificaram uma relação solo-paisagem. Os valores avaliados apresentaram correlação com o NDVI, e demonstraram a eficácia no uso de imagens de satélite para análise ambiental. Apesar disso, ocorre uma restrição na análise de correlação de acordo com a metodologia apresentada no estudo, de ruído (por exemplo, nuvens). A imagem a ser usada deve ser tratada para que não haja interferência nos resultados correlacionado. Observamos para a carta de controle apresentada na Figura 1 B, que a classificação de área urbana apresentou maior variabilidade de processo, com dois pontos fora de controle de valores bem maiores que os demais, o que pode ter elevado a média e a variabilidade do processo. A classificação de água e vegetação nativa tiveram pouca variabilidade, demonstrando qualidade no processo. No entanto, o uso correto de dados de imagens de satélite é condicionado principalmente pelas propriedades de refletância e absorção dos componentes da superfície e pelo comportamento da atmosfera, que afeta as imagens em diferentes comprimentos de onda por espalhamento, absorção e refração da luz. Essa interação causa mudanças significativas na propagação da radiação de um alvo (Song; Woodcock, 2003). As cartas de amplitude móvel, A e B, mostraram maior variabilidade de processo, com exceção da das áreas classificadas para água, podendo ser decorrente dos vários pontos fora de controle apresentados nas cartas de valores individuais.



(A)



(B)

FIGURA 1. Cartas de controle individual e média móvel para NDVI, (A) para Água, Área Urbana e Vegetação Nativa. (B) para Solo Exposto, Solo com Palha e Cana-de-Açúcar.

**CONCLUSÃO:** O controle estatístico de processo demonstrou melhor qualidade na identificação do padrão do NDVI para as áreas de solo exposto, solo com palha e água na área em estudo. Em contrapartida, para áreas urbanas apresentou maior variabilidade de processo, denotando pior qualidade na classificação destes dados.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq, e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.

## **REFERÊNCIAS**

- KARIYEVA, J.; LEEUWEN, W. J. D. VAN. Environmental drivers of NDVI- Based vegetation phenology in Central Asia. **Remote Sensing**, v.3, p.203-246, 2011.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In. Sensoriamento Remoto - Reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, **EMBRAPA**, 2001. p.157-199.
- SAMOHYL, R. W. Controle Estatístico de Qualidade. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2009.
- SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p.61-69, 2013.
- SONG, C.; WOODCOCK, C.E. Monitoring forest succession with multitemporal landsat images: factors of uncertainty. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, New York, v.41, n.11, p.280-392, 2003.
- WEIR J.; HERING, D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). **NASA Earth Observatory**. 2012.
- ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.6, p.608–614, 2013.

## **CORRELAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE ANÁLISE VISUAL E POR IMAGEM AÉREA DA EFICÁCIA DE CONTROLE DE PLANTAS INFESTANTES**

**SAULO F. B. CAMPOS<sup>1</sup>, HELI H. T. ASSUNÇÃO<sup>2</sup>, MATHEUS A. S. NETO<sup>3</sup>, NICOLAS G. CAMERA<sup>3</sup>, JOAO P. A. R. CUNHA<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Eng°. Agrônomo, Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia - MG, Fone: (34)991453079, sauloagroufu@hotmail.com.

<sup>2</sup>Eng°. Agrícola e Ambiental, Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

<sup>3</sup>Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

<sup>4</sup> Eng°. Agrícola, Prof°. Dr. Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, Dept°. Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Para que a agricultura de precisão possa ser utilizada com sucesso no controle de plantas infestantes, é necessário desenvolver metodologias eficientes de identificação, controle de plantas infestantes e avaliação de eficácia de herbicidas, visando a redução de custo de implantação. Objetivou-se nesse trabalho correlacionar os resultados do método de análise visual e por processamento de imagens aéreas, na avaliação do controle de plantas infestantes pulverizadas com herbicida glifosato. A análise visual da eficácia de controle das plantas foi realizada mediante a escala de notas de controle das plantas infestantes, desenvolvida pela Asociación Latino-americana de Malezas - ALAM, após 35 dias da aplicação do herbicida glifosato, em parcelas com distintas condições de aplicação. Junto à avaliação visual, foram realizados voos com aeronave remotamente pilotada (ARP) e coletadas imagens aéreas da área, para quantificar a proporção de controle de plantas infestantes, por diferença de espectros com auxílio do software ImageJ. Utilizou-se o teste t de Student para dados pareados e análise de correlação de Pearson. De acordo com os resultados, houve correlação positiva entre os dois métodos, indicando as mesmas tendências, contudo, numericamente os resultados encontrados foram distintos, exceto na testemunha. Há potencial de uso de imagens aéreas para avaliação de controle de plantas infestantes, mas, há que se aprofundar os estudos por valores mais próximos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produto fitossanitário, Glifosato, ImageJ.

## **CORRELATION BETWEEN METHODOLOGIES OF VISUAL ANALYSIS AND AERIAL IMAGE OF THE EFFECTIVENESS INFESTING PLANTS CONTROL**

**ABSTRACT:** In order for precision agriculture being successfully used to control weeds, it is necessary to develop efficient methodologies for identifying, controlling weeds and evaluating the effectiveness of herbicides, in order to reduce implementation costs. The objective of this work was to correlate the results of the visual analysis method and aerial image processing in the evaluation of the control of weed plants sprayed with glyphosate herbicide. The visual analysis of the effectiveness control of the plants was carried out with a scale of control notes of the weeds, developed by the Latin American Association of Malezas - ALAM, after 35 days of application of the glyphosate herbicide, in plots with different application conditions. In addition to the visual evaluation, flights with remotely piloted aircraft (ARP) and aerial images of the area were performed to quantify the proportion of control of weeds by difference of spectra using ImageJ software. Student's t-test was used for paired data and Pearson's correlation analysis. According to the results, there was a positive correlation between the two methods, indicating the same trends, however, numerically the results found were distinct, except in the control. There is potential for using aerial images to evaluate the control of weeds, but it is necessary to study them more closely.

**KEYWORDS:** Phytosanitary product, glyphosate, ImageJ.

**INTRODUÇÃO:** Uma das principais tarefas da agricultura de precisão é monitorar as condições de crescimento das plantas, para que os insumos sejam aplicados nos locais corretos e nas quantidades adequadas (ANDERSEN et al., 2005; BALASTREIRE & BAIIO, 2001). Com o advento das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) - também conhecidas como drones, veio à tona o desafio de desenvolver programas computacionais ou rotinas computacionais para aquisição, tratamento e análise das imagens aéreas captadas por máquinas fotográficas embarcadas, pois os aparelhos por si só não identificam plantas infestantes, pragas e doenças na lavoura. Uma alternativa para esta finalidade é o *software* ImageJ, um programa de processamento de imagem baseado em Java, de domínio público, desenvolvido no National Institutes of Health nos Estados Unidos. Ele está em desenvolvimento desde 1997, sendo capaz de exibir, analisar, processar, calcular estatísticas e porcentagens de valores de área e pixel de seleção definidas pelo usuário, criar histogramas de densidade e gráficos, entre outros (SCHNEIDER et al., 2012). Neste contexto, tradicionalmente, a avaliação do controle de plantas infestantes, seja em experimentos ou em áreas comerciais, é feito por meio do emprego de escalas visuais, muito sujeito à subjetividade e habilidade do avaliador. Rotinas computacionais adaptadas a avaliação de imagens aéreas coletadas por ARPs poderiam melhorar muito a qualidade dos dados obtidos, bem como facilitar a coleta, sendo ainda um método viável economicamente, dado a popularização destas aeronaves. Contudo, ainda não existem estas rotinas bem estabelecidas, para distintas condições. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo correlacionar os resultados do uso da metodologia de avaliação visual e por processamento de imagens aéreas para a análise do controle de plantas infestantes por meio do uso do herbicida glifosato.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia, MG, durante o mês de março de 2018. A área está localizada a uma altitude de 842 metros, topografia plana e clima do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco). O ensaio consistiu em comparar dois métodos de avaliação de controle de plantas infestantes (Método visual e por processamento de imagem) em quatro condições distintas de infestação de plantas infestantes, com quatro repetições. Tais condições foram obtidas por meio de aplicações de herbicida, com e sem adjuvante, em dois volumes de calda (Condição 1: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup>, condição 2: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup> + adjuvante, condição 3: volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, condição 4: testemunha sem aplicação). Utilizou-se o herbicida Roundup Original DI (glifosato – sal de diamônio 445 g i.a. L<sup>-1</sup>) na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>. Como adjuvante foi usado o LI700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico), na concentração de 0,5 L 100 L<sup>-1</sup>. Cada parcela tinha área de 35 m<sup>2</sup>. Antes das pulverizações, foi feito um levantamento fitossociológico das plantas infestantes na área: *Acanthospermum hispidum* DC. (carrapicho carneiro), *Ageratum conyzoides* L. (mentrasto), *Amaranthus deflexus* (caruru), *Commelina benghalensis* L. (trapoeraba), *Raphanus raphanistrum* (nabo), *Chamaesyce hirta* L. (erva de santa-Luzia), *Portulaca oleracea* (beldroega) e *Bidens pilosa* (picão-preto). A aplicação foi realizada quando as plantas infestantes se encontravam em estado de pós-emergência tardia, com média de 50 a 60 cm. A aplicação foi feita por um pulverizador hidráulico montado (FM Copling, modelo JB 80 400 BR-12), com barra de 12 m, dotado de 24 bicos com espaçamento de 50 cm, acionado por um trator 4 x 2 (Ursus, modelo 2-85) com 86 cv de potência. As condições ambientais durante as aplicações foram monitoradas por um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel® 4000), sendo registradas temperaturas variando entre 26 a 29°C; umidade relativa do ar entre 56 e 60% e velocidade média do vento de 4,5 km h<sup>-1</sup>. Passados 35 dias após as aplicações, procederam-se as avaliações do controle. No método visual, a eficiência de controle das plantas infestantes foi avaliada com base na escala de notas visuais desenvolvida pela Asociación Latino-americana de Malezas (ALAM, 1974), conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1. Escala de avaliação visual de controle de plantas infestantes por herbicidas (ALAM, 1974).

Notas	Eficiência de controle (%)	Denominação
1	0-40	Nenhum/pobre
2	41-60	Regular
3	61-70	Suficiente
4	71-80	Bom
5	81-90	Muito bom
6	91-100	Excelente

Para a avaliação via processamento de imagens aéreas, realizaram-se voos em uma altitude média de 40 m em relação ao solo com aeronave remotamente pilotada – ARP, sobre a área experimental. As coletas de imagens foram realizadas por meio de câmera com sensor na faixa espectral do visível (RGB). O modelo utilizado para a coleta das imagens aéreas foi o Phantom 4 Advance+, equipado com o sistema Flight Autonomy da DJI, composto por cinco sensores de visão e câmera de 20 megapixels, posicionamento por satélite de banda dupla (GPS e GLONASS), com quatro hélices e pesando 1368 g com bateria, equipado com o sistema de transmissão Lightbridge HD atualizado, elaborado pela empresa DJI. Após a coleta das imagens, utilizou-se *software* ImageJ para processar as imagens, buscando-se verificar a distribuição das intensidades de cores RGB usando o comando de histograma. Quando necessário, a distribuição em intensidade de cor foi ajustada usando o comando *Color Balance*. As médias referentes à eficiência de controle, visual e por imagens, provenientes das quatro condições de infestação por plantas daninhas foram comparadas pelo teste de t de Student para dados pareados utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 1998). Além disso, procedeu-se à análise de correlação de Pearson entre as duas metodologias.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 1, tem-se a imagem da área experimental com distintas condições (condição 1: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup>, condição 2: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup> + adjuvante, condição 3: volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, condição 4: testemunha sem aplicação), após 35 dias da aplicação do herbicida nas parcelas tratadas. Com auxílio do *software* ImageJ, pôde-se quantificar áreas com maior ou menor presença de plantas infestantes por meio de diferença de cores. Foi separado o verde das plantas infestantes, das demais cores nas parcelas (solo ou palhada), utilizando o comando *Color Balance*.

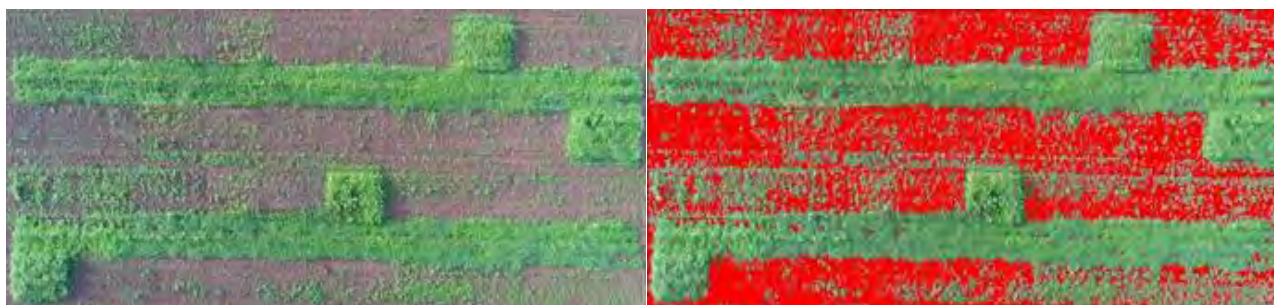


FIGURA 1. Imagem aérea da área experimental aos 35 dias após a aplicação de glifosato, antes (esquerda) e depois (direita) do processamento com auxílio do software ImageJ.

A escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por meio de herbicidas proposta por ALAM (1974) é um método de avaliação muito utilizado, mas está sujeito a habilidade e treinamento do observador para que o resultado não fique sub ou superestimado. A Tabela 2 apresenta o percentual de controle das plantas infestantes por meio da avaliação visual e por análise de imagens aéreas nas quatro condições estudadas. Verifica-se que o resultado obtido por meio da escala visual foi maior em todas as condições testadas, exceto na testemunha (Condição 4) em que o resultado foi semelhante ao obtido por meio da imagem aérea. Contudo, é interessante notar que houve correlação positiva entre os resultados obtidos por imagens e pela avaliação visual. Esta correlação pode ser considerada de forte a muito forte (MUKAKA, 2012), e indica que as tendências de aumento ou decréscimo são mantidas independentemente do método de avaliação.

TABELA 2. Porcentagem de controle de plantas infestantes aos 35 dias após a aplicação do glifosato, utilizando a escala visual de notas (ALAM, 1974) e processamento de imagem aérea.

Condição	Metodologia de análise		Coeficiente de Correlação (r)
	Visual	Imagem Aérea	
Condição 1	66,25 a <sup>1</sup>	29,25 b	0,892*
Condição 2	82,0 a	59,0 b	
Condição 3	87,5 a	67,25 b	
Condição 4	0,0 a	0,5 a	
Média Geral	58,94	39,0	

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste t de Student a 0,05 de significância. \* Significativo a 0,01.

Condição 1: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup>, condição 2: volume de calda de 90 L ha<sup>-1</sup> + adjuvante, condição 3: volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, condição 4: testemunha sem aplicação



Na condição 1, foi observado que houve um controle das plantas daninhas de 66,25% avaliado visualmente, enquanto que na avaliação por imagem aérea nesta mesma condição o resultado foi de 29,25% de controle. Na condição 2, o resultado obtido visualmente foi de 82% de controle ao passo que por imagem aérea foi de 59%. Na condição 3, o resultado visual foi de 87,5% enquanto que por imagem foi de 67,25%. Na testemunha, sem aplicação do herbicida, os resultados obtidos foram semelhantes, ou seja, não foi detectado controle das plantas daninhas.

Apesar de numericamente os resultados terem sido distintos, é interessante observar que houve correlação positiva entre os dois métodos de análise, pois os dados têm a mesma tendência, de aumentar ou diminuir de acordo com as condições testadas, mostrando que o uso de imagens aéreas tem potencial para ser uma alternativa na avaliação de controle de plantas infestantes. Portanto, há que se aprofundar os estudos na busca por valores mais próximos entre os dois métodos de avaliação.

**CONCLUSÃO:** A utilização de ARPs e o processamento digital de imagens demonstraram ser uma nova alternativa para a avaliação da eficácia de controle de plantas infestantes por meio de herbicidas, permitindo o mapeamento de controle das plantas infestantes. Os resultados obtidos com o presente estudo demonstraram que os dados gerados a partir das imagens processadas, apresentaram uma forte correlação positiva com a avaliação visual, no entanto, há que se aprofundarem os estudos e tecnologia na busca por valores mais próximos entre os dois métodos de análise, no que se refere ao percentual de controle.

**AGRADECIMENTOS:** CAPES.

## **REFERÊNCIAS**

ANDERSEN, H. J.; RENG, L.; KIRT, K. Geometric plant properties by relaxed stereo vision using simulated annealing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 49, n. 2, p. 219-232, 2005.

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

BALASTREIRE, L. A.; BAILO, F. H. R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W., "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

## CORRELAÇÃO ENTRE UMIDADE E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO EM POMAR DE VIDEIRA DE VINHO

ROMERO C. ROCHA JÚNIOR<sup>1</sup>, BRUNO R. S. COSTA<sup>2</sup>, HENRIQUE OLDONI<sup>3</sup>, LADISLAU M. RABELLO<sup>4</sup>, LUÍS H. BASSO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, UFV, Viçosa – MG, romerocancella@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP, FCA, Botucatu – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Medidas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) podem ser utilizadas em agricultura de precisão para caracterizar a variabilidade espacial deste e de outros atributos edáficos, o que possibilita a definição de zonas de manejo. Este trabalho teve a finalidade de avaliar a correlação entre a umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ) e a CEa, bem como a caracterização da distribuição espacial desses atributos. As medidas foram realizadas em dois pomares (P1 e P2) de videira de vinho, no município de Espírito Santo do Pinhal, SP. Utilizou-se um sensor de reflectometria no domínio do tempo (TDR), e um sistema microcontrolado desenvolvido pela Embrapa para medida da umidade e CEa, respectivamente. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, análise de regressão e geoestatística, sendo a krigagem ordinária utilizada na interpolação para posterior geração dos mapas temáticos. O coeficiente de concordância Kappa foi utilizado para avaliar a semelhança entre os mapas gerados. Foi possível observar que as variáveis  $\theta$  e CEa apresentaram baixa correspondência, com valores de  $r$  igual a 0,447 e 0,254 para P1 e P2, respectivamente. Foi verificada dependência espacial para as duas variáveis em ambas as áreas, com grau de dependência espacial classificado como forte para P1 e moderado para P2. Conclui-se que a  $\theta$  e CEa apresentam uma baixa correlação entre variáveis e baixa concordância entre os mapas.

**PALAVRAS-CHAVE:** atributos edáficos, variabilidade espacial, vitivinicultura.

## CORRELATION BETWEEN SOIL MOISTURE AND APPARENT SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN VINEYARD

**ABSTRACT:** Measures of soil apparent electrical conductivity (CEa) can be used in precision agriculture to characterize the spatial variability of soil attributes, which makes it possible to define management zones. The objective of this study was to evaluate the correlation between soil moisture ( $\theta$ ) and CEa, as well as the comparison of spatial distribution maps of these attributes. The measurements were carried out in two wine vineyards (P1 and P2), in Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, Brazil. A time domain reflectometry (TDR) sensor was used, and a micro controlled system developed by Embrapa for  $\theta$  and CEa measurement, respectively. Data were analyzed through descriptive statistics, regression analysis and geostatistics. The ordinary kriging was used in the interpolation to generate thematic maps. The Kappa coefficient of agreement was used to evaluate the similarity between the maps generated. It was possible to observe that the variables  $\theta$  and CEa presented low correspondence, with values of  $r$  equal to 0.447 and 0.254 for P1 and P2, respectively. Spatial dependence was verified for the two variables in both areas, with degree of spatial dependence classified as strong for P1 and moderate for P2. It is concluded that  $\theta$  and CEa present a low correlation between variables and low similarity between the maps.

**KEYWORDS:** edaphic attributes, spatial variability, vitiviniculture.

**INTRODUÇÃO:** Vários estudos são realizados no intuito de correlacionar a CEa com outras características do solo, como textura, salinidade, umidade e CTC (CORWIN, LESCH, 2005; SUDDUTH et al., 2005; MOLIN, RABELLO, 2011). A busca no entendimento dessas interações ocorre na intenção de propiciar uma agricultura de forma mais eficiente, rentável e sustentável. A análise da CEa se tornou uma ferramenta de grande importância quando se trata de agricultura de precisão, pois é uma operação relativamente simples de se realizar e econômica em relação a outras técnicas (RABELLO et al., 2014). Essa tecnologia vem sendo empregada em conjunto com outras ferramentas em países da Europa, mundialmente reconhecidos por produzir vinhos finos de alta qualidade. Atualmente no Brasil, a viticultura de precisão (VP) é vista como uma forma de aumentar a qualidade do vinho brasileiro e conseqüentemente sua competitividade diante dos vinhos internacionais. Uma série de trabalhos relacionadas à CEa na VP vem sendo desenvolvidos, como no município de Bento Gonçalves-RS, com a proposta de caracterizar os vinhedos da região de acordo com sua variabilidade espacial (Miele et al., 2011). Outra região que se destaca no emprego da VP é a do interior paulista, com atenção especial para os municípios de São Roque e Espírito Santo do Pinhal. Esse último vem sendo reconhecido pela produção de vinhos finos, onde a aplicação de novas tecnologias tem se tornado um grande auxílio para o viticultor. Apesar dos diversos benefícios que a utilização da VP propicia, seu uso deve ser realizado de forma consciente, para que não haja interpretações equivocadas do ambiente proposto para análise. Na avaliação das medidas de CEa para a caracterização da distribuição espacial, um aspecto deve ser analisado com cautela. Segundo Molin e Rabello (2011), o teor de argila no solo tem grande influência na umidade do mesmo, tornando a mensuração da umidade um ponto crucial para validação dos dados de CEa e definição de zonas de manejo. Portanto este trabalho tem por objetivo avaliar a correlação entre a umidade do solo e a CEa, bem como a caracterização da distribuição espacial desses atributos do solo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente estudo foi realizado em dois pomares de videira de vinho (P1 e P2), localizados no município de Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, Brasil. As áreas analisadas apresentam as seguintes características: P1 com área de 0,60 ha, cv. Cabernet Sauvignon, espaçamento entre fileiras de plantas de 3 m e de 1 m entre plantas e solo com textura franco-argilo-arenosa; P2 com área de 1,50 ha, cv. Cabernet Franc, espaçamento igual à P1 e solo com textura argilo-arenosa. Ambos os pomares eram irrigados por sistema de irrigação por gotejamento, com uma linha lateral por fileira de plantas e dois gotejadores por planta (vazão média de 1,60 l h<sup>-1</sup> por emissor). As videiras foram conduzidas em sistema de espaldeira, com poda do tipo cordão Royat unilateral. O clima da região é classificado como úmido, com pouca ou baixa deficiência hídrica, evapotranspiração de referência total anual entre 855 a 997 mm ano<sup>-1</sup> e mesotérmico (B3rB'3a<sup>2</sup>) (ROLIM et al., 2007). As leituras de umidade foram realizadas com auxílio de um equipamento de *time domain reflectometry* (TDR), modelo TDR 100 (Campbell), e para obtenção da CEa utilizou-se o medidor portátil desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (RABELLO et al., 2011). Ambas as leituras foram realizadas na linha de plantas, na faixa contínua de molhamento proporcionada pelos gotejadores instalados a cada 0,5 m, e na camada de solo de 0-0,20 m de profundidade. As medidas foram realizadas em dezembro de 2017, durante o período de formação do parreiral, em uma grade amostral de aproximadamente 12 x 10 m para P1 e 18 x 10 m para P2. O georreferenciamento dos pontos medidos foi realizado por meio de um receptor *Global Positioning System* (GPS, HiPer® GGD, TOPCON), com o sinal corrigido no mecanismo *Real Time Kinematic* (RTK). Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e a classificação da variação destes em torno da média foi realizada de acordo com Wilding (1985) com base nos valores do coeficiente de variação (CV), sendo considerada baixa (CV ≤ 15%), moderada (15 < CV ≤ 35%) ou alta (CV > 35%). O teste de normalidade não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 5% de significância, também foi aplicado para cada conjunto de dados. O programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017) foi utilizado para a análise estatística descritiva e o teste de normalidade. Para a avaliação da correlação entre as variáveis CEa e  $\theta$ , foi realizada a análise de regressão linear simples, sendo estimada a função de regressão e calculados os coeficientes de correlação linear (r) e de determinação (r<sup>2</sup>). A fim de caracterizar a variabilidade espacial dos dados, a análise geoestatística foi aplicada por meio do ajuste de modelos aos semivariogramas experimentais isotrópicos, onde foram obtidos seus respectivos parâmetros de ajuste (efeito pepita, patamar e alcance da dependência espacial). O menor valor do erro médio quadrático (*root mean square error* - RMSE) foi utilizado como parâmetro para a escolha do melhor modelo teórico de cada semivariograma experimental. A avaliação da dependência espacial dos atributos analisados foi realizada de acordo com o grau de dependência espacial (GDE), que foi calculado e pode ser classificado de acordo com Cambardella et al. (1994) como: GDE ≤ 25% - forte dependência espacial; 25 < GDE ≤ 75% - moderada dependência espacial; e GDE > 75% - fraca dependência espacial. O interpolador utilizado foi a krigagem ordinária. A análise geoestatística e a construção dos mapas de isolinhas foram realizadas utilizando o software Vesper 1.62 (Minasny et al., 2005). Os mapas foram confeccionados com auxílio do

software QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015). Para avaliar o grau de concordância (similaridade) entre os mapas de umidade do solo e CEa gerados pelos diferentes sensores, aplicou-se o coeficiente de concordância Kappa, Cohen (1960), que pode ser classificado de acordo com Landis e Koch (1977) (Tabela 1). Para o presente trabalho, os mapas de umidade do solo foram adotados como de referência para o cálculo do coeficiente.

TABELA 1. Classificação do índice de concordância Kappa segundo sua força de concordância.

Índice de concordância Kappa	Força da concordância
<0,00	Pobre
0,00-0,20	Leve
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Substantial
0,81-1,00	Quase perfeita

Fonte: Modificado de Landis & Koch (1977).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 2 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos conjuntos de dados e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Em P1 a dispersão relativa dos dados em torno da média foi classificada como baixa ( $CV < 15\%$ ) para  $\theta$  e moderada ( $15 < CV \leq 35\%$ ) para a CEa, enquanto em P2 a variação foi moderada para os dois atributos, de acordo com Wilding (1985). Os valores do coeficiente de assimetria variaram de 0,264 a 0,395 para a umidade do solo e de 1,00 a 1,23 para CEa, em P1 e P2, respectivamente, indicando que os dados de umidade seguem de maneira mais evidente uma distribuição normal. Em todas as variáveis foram observados coeficientes de curtose maiores que zero, com valores mais acentuados para CEa (2,16 e 3,51), indicando que houve um afastamento dos dados para a direita da distribuição dos dados. Porém, as séries foram consideradas normais pelo teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% significância, para todos os dados analisados.

TABELA 2. Estatística descritiva dos dados de condutividade elétrica aparente (CEa,  $mS\ m^{-1}$ ) e umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ,  $m^3\ m^{-3}$ )

Pomar	Atributo	n <sup>(a)</sup>	Estatística descritiva <sup>(b)</sup>							D <sup>(c)</sup>	
			Média	Med	Mín	Máx	s	CV (%)	Ass		Cur
P1	CEa	58	3,23	3,20	1,60	6,20	0,81	25,21	1,00	2,16	0,108 <sup>N</sup>
	$\theta$	58	0,13	0,13	0,09	0,19	0,019	14,42	0,264	0,30	0,070 <sup>N</sup>
P2	CEa	110	5,32	5,20	3,00	10,20	1,12	21,07	1,23	3,51	0,110 <sup>N</sup>
	$\theta$	110	0,17	0,17	0,09	0,300	0,034	19,53	0,39	1,05	0,069 <sup>N</sup>

<sup>a</sup> n, número de pontos amostrados.

<sup>b</sup> Med, mediana; Mín, valor mínimo; Máx, valor máximo; s, desvio padrão; CV, coeficiente de variação; Ass, coeficiente de assimetria; Cur, coeficiente de curtose.

<sup>c</sup> D, valor do teste de normalidade de Kormogorov-Smironov; N, distribuição normal.

Por meio da análise de regressão linear, foi possível observar que as variáveis  $\theta$  e CEa apresentaram baixa correspondência, justificada pelos valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,447 para P1 e 0,254 para P2 (Figura 1). Apesar da relação entre os atributos ser diretamente proporcional, a variação de  $\theta$  explicou apenas 20% da variação da CEa em P1 e 6% em P2, de acordo com o coeficiente de determinação  $R^2$ , indicando que a estimativa CEa foi pouco influenciada pelo conteúdo de água no solo, restando um maior peso à um conjunto de outros fatores, como textura, fertilidade, salinidade (CORWIN, LESCH, 2005; SUDDUTH et al., 2005; MOLIN, RABELLO, 2011). Pôde-se observar que o P2 sofreu mais influência de outras variáveis do que o P1, o que pode ser explicada pela diferença na textura do solo. A baixa amplitude, além dos baixos valores de umidade volumétrica do solo medidos em ambos os pomares, também explica a fraca correlação, visto que as duas variáveis apresentam maior correlação quando a umidade do solo é mais elevada (BREVİK et al., 2006).

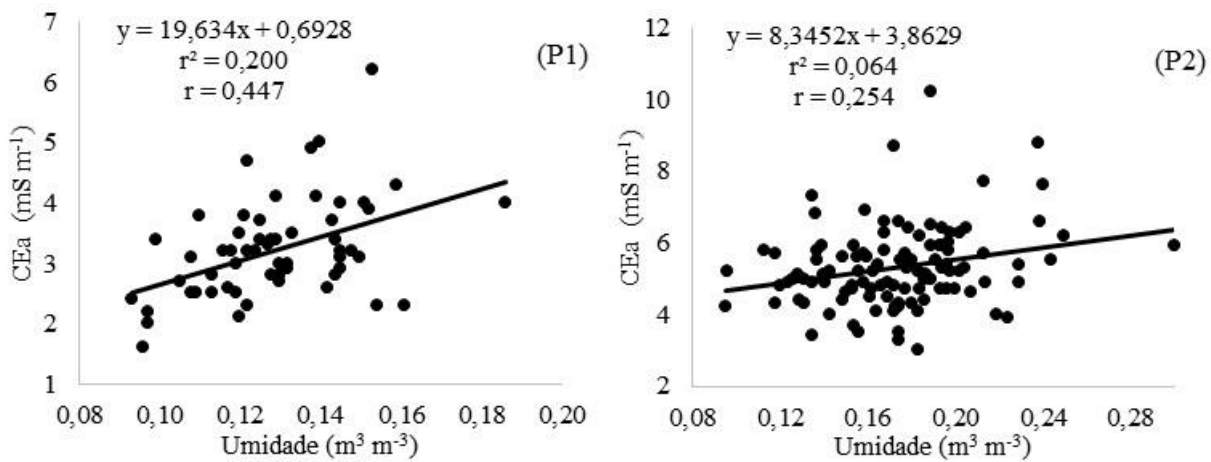


FIGURA 1. Gráfico de dispersão dos dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e umidade volumétrica nos pomares P1 e P2.

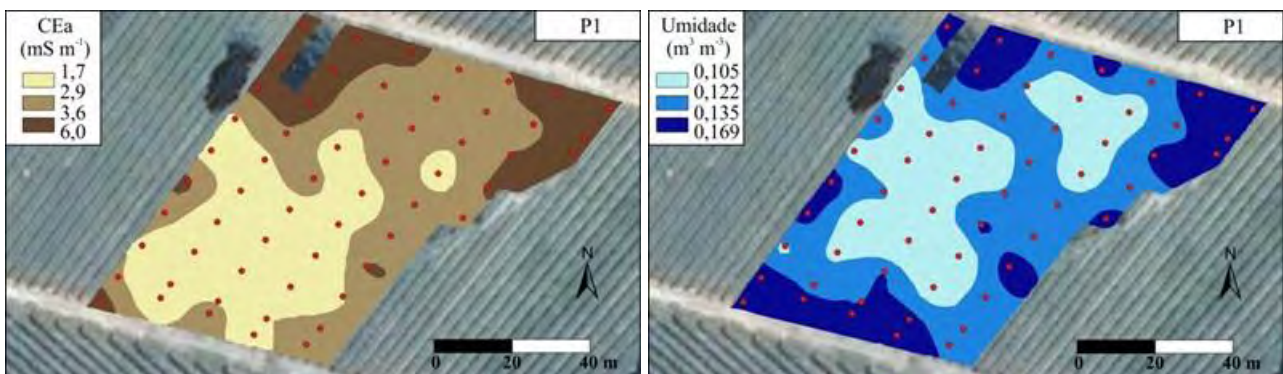
A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros dos semivariogramas gerados a partir dos dados de CEa e umidade do solo medidos em dois pomares de videira de vinho. O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais foi o exponencial, para todos os atributos analisados. Foi verificada dependência espacial para as duas variáveis em ambos os pomares, com grau de dependência espacial classificado como forte para P1 e moderado para P2 (CAMBARDELLA et al., 1994). O alcance da dependência espacial apresentou valores mais altos para CEa, tanto em P1 (87,39 m), quanto em P2 (121,65 m), em comparação ao alcance para umidade do solo (P1 = 27,04 m e P2 = 58,46 m), indicando maior heterogeneidade da umidade nos pomares avaliados.

TABELA 3. Parâmetros dos semivariogramas teóricos dos dados de condutividade elétrica aparente (CEa,  $\text{mS m}^{-1}$ ) e umidade do solo ( $\theta$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

Pomar	Atributo	Parâmetros <sup>(a)</sup>					
		Modelo	Alcance (m)	Efeito Pepita	Patamar	GDE (%)	RMSE
P1	CEa	Exponencial	87,39	0,0000	0,7568	0,00	0,0486
	$\theta$	Exponencial	27,04	0,0001	0,0004	20,60	0,0000
P2	CEa	Exponencial	121,65	0,5450	1,3670	39,87	0,0889
	$\theta$	Exponencial	58,46	0,0007	0,0012	54,42	0,0001

<sup>a</sup> GDE, grau de dependência espacial, de acordo com Cambardella et al. (1994); RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio.

A Figura 2 apresenta os mapas de zonas homogêneas de CEa e umidade do solo em ambos os pomares.



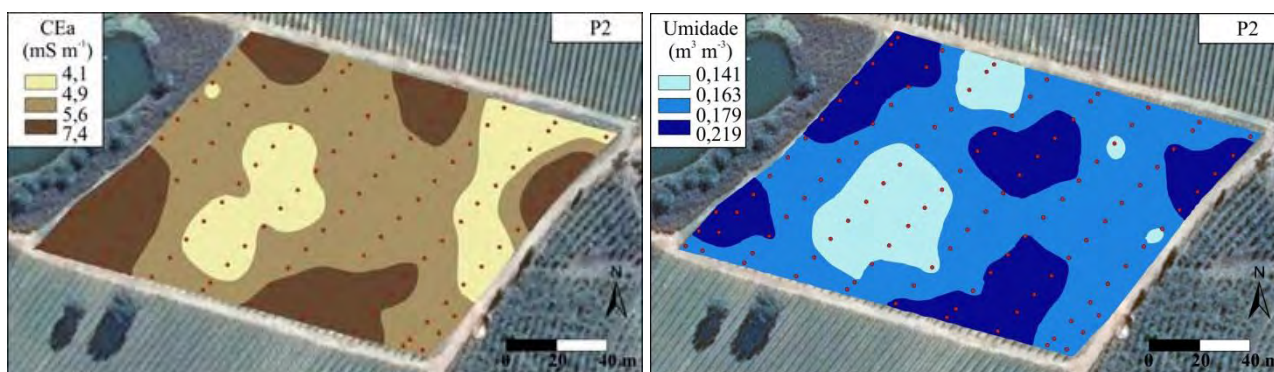


FIGURA 2. Mapas de isolinhas dos pomares P1 e P2, gerados a partir dos dados de condutividade elétrica aparente (CEa) e umidade do solo (Umidade).

Os valores do coeficiente Kappa (Tabela 4) permitiram a classificação da concordância entre os mapas de CEa e umidade do solo. Em P1, a classificação da força de concordância foi razoável, diferentemente de P2, que recebeu uma classificação inferior, correspondente a uma leve força de concordância (LANDIS; KOCH, 1977). A baixa correlação entre os valores medidos de umidade do solo e CEa (Figura 1) refletiu na baixa concordância entre seus mapas em ambos os pomares. Isso mostra que mapas de CEa podem indicar a distribuição espacial da umidade do solo com baixa confiabilidade, sendo necessários outros atributos para aumentá-la. Caso os mapas de CEa sejam utilizados como indicativo de outros atributos do solo, há pouca influência da umidade do solo nas condições apresentadas nesse estudo.

TABELA 4. Valores do coeficiente de concordância Kappa (Kappa) para os mapas de condutividade elétrica aparente e umidade do solo medidos em dois pomares de videira de vinho (P1 e P2).

Pomar	Kappa	Classificação <sup>(a)</sup>
P1	0,31	Razoável
P2	0,20	Leve

<sup>a</sup> Classificação de acordo com Landis e Koch (1977).

**CONCLUSÃO:** Houve uma baixa correlação entre a condutividade elétrica aparente e a umidade do solo, medidas por meio de um medidor portátil desenvolvido pela Embrapa e de um TDR, respectivamente. Foi possível determinar a estrutura da variabilidade espacial para as variáveis avaliadas. A concordância entre os mapas de umidade e condutividade elétrica aparente do solo foi pouco expressiva nas condições de solo apresentadas.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao projeto. À Vinícola Guaspari, pelo suporte prestado durante o trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BREVIK, E.C.; FENTON, T.E.; LAZARI, A. Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. **Precision Agriculture**, v.7, p.393–404, 2006.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.
- COHEN, J. A Coeficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement**, doi:10.1177/001316446002000104, 1960.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1–3 SPEC. ISS., p. 11–43, 2005.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(1), 159-174, 1977.

- MIELE, A.; CARLOS A.F.; JOSÉ M.F.A. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; DE RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C. (Eds.) **Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar**. (p.267-272). São Carlos-SP, Embrapa Instrumentação, 2011.
- MINASNY B.; MCBRATNEY A.B.; WHELAN B.M. Vesper version 1.6. **Australian Centre for Precision Agriculture**, 2005. Disponível em: <https://sydney.edu.au>. Acessado em: 21 de agosto de 2017.
- MOLIN, J.P.; RABELLO, L.M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90–101, 2011.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation Project**, 2015. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acessado em: 15 de janeiro de 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- RABELLO, L.M.; BERNARDI, A.C.C.; INAMASSU, R.Y. Condutividade elétrica aparente do solo In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; DE RESENDE A.V.; BASSOI L.H.; INAMASU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. (pp.48-57). Brasília: Embrapa, 2014.
- RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y.; BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; MOLIN, J.P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C. ed. **Agricultura de precisão: Um Novo Olhar**. São Carlos, SP, Embrapa Instrumentação, p.41-45, 2011.
- ROLIM, G.S., CAMARGO, M.B.P., LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; WIEBOLD, W.J.; BATCHELOR, W.D.; BOLLERO, G.A.; BULLOCK, D.G.; CLAY, D.E.; PALM, H.L.; PIERCE, F.J.; SCHULER, R.T.; THELEN, K.D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263-283, 2005.
- WILDING, L.P. Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In NIELSEN, D. R.; BOUMA, J. (Ed.), **Soil Spatial Variability**. Wageningen: Pudoc., p.166–194, 1985.

## **CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO FEJJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL**

**OTHON LAUAR GODINHO<sup>1</sup>, JOB TEIXEIRA DE OLIVEIRA<sup>2</sup>, CASSIANO GARCIA ROQUE<sup>3</sup>,  
MONICA CRISTINA REZENDE ZUFFO BORGES<sup>4</sup>, RAFAEL BELISARIO TEXEIRA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng. Florestal, Mestrando em Produção Vegetal pela UFMS e Graduando em Agronomia pela UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 981732289, othonforester@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando pela UFV, Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Depto. de solos, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

<sup>4</sup> Mestre: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Nos últimos anos, o feijão no Brasil especificamente na região de Chapadão do Sul-MS, vem tornando-se interessante para anteceder a cultura do algodão safrinha pelo seu curto ciclo. No ano agrícola de 2016/17, este trabalho foi conduzido em um Latossolo Vermelho no município de Chapadão do Sul, MS e objetivou selecionar entre os atributos do solo avaliados, aqueles com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade de grãos de feijão, nas camadas: 1 de 0,00-0,10 m e 2 de 0,10-0,20 m do solo, amostrados em uma malha de 121 pontos georreferenciados (espaçamento de 5 metros entre pontos). Foram determinados os atributos químicos do solo: pH, teor de carbono do solo (C), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e soma de bases (SB). A análise destes dados foi realizada por meio das técnicas estatísticas e geoestatísticas que possibilitaram constatar que para a produtividade de grãos de feijão, a análise de regressão múltipla indica que aproximadamente 20% de sua variação é atribuída à variação nos atributos químicos do solo apresentados no presente estudo. Os atributos químicos pH1, pH2, C1, Ca1, Ca2, Mg1a, Mg2, Al2, SB1 e SB2 têm dependência espacial classificada na maioria como moderada. Tanto linear quanto espacialmente, o C1 do solo se destacou como potencial indicador da produtividade de grãos de feijão quando cultivado sob sistema plantio direto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, manejo do solo, qualidade do solo

### **SPATIAL VARIABILITY OF IRRIGATED COMMON BEAN YIELD CORRELATED WITH CHEMICAL ATTRIBUTES OF A QUARTZARENIC NEOSOL**

**ABSTRACT:** In the last years, beans in Brazil specifically in the region of Chapadão do Sul-MS, has become interesting to precede the crop of safrinha cotton for its short cycle. In the agricultural year of 2016/17, this work was conducted in a Red Latosol in the municipality of Chapadão do Sul, MS and aimed to select among the attributes of the evaluated soil, those with the best linear and spatial correlation, to explain the variability of the productivity of bean grains, in the layers: 1 of 0,00-0,10 m 2 of 0,10-0,20 m of the soil, sampled in a mesh of 121 georeferenced points (spacing of 5 meters between points). The soil chemical attributes were pH, soil carbon (C), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al) and sum of bases. The analysis of these data was carried out using statistical and geostatistical techniques that allowed to verify that for the yield of bean grains, the multiple regression analysis indicates that approximately 20% of its variation is attributed to the variation in soil chemical attributes presented in the present study. The chemical attributes pH1, pH2, C1, Ca1, Ca2, Mg1a, Mg2, Al2, SB1 and SB2 have spatial dependence classified as moderate. Both linearly and spatially, soil C1 was highlighted as a potential indicator of bean grain yield when grown under no-tillage system.

**KEYWORDS:** geostatistics, soil management, soil quality

**INTRODUÇÃO:** Nos últimos anos, o feijão no Brasil especificamente na região de Chapadão do Sul-MS, vem tornando-se interessante para anteceder a cultura do algodão safrinha pelo seu curto ciclo. Segundo a Conab (2018), na safra 2017/2018, a produção de feijão deverá ficar entre 3,30 milhões de toneladas e 3,34 milhões de toneladas, com queda entre 1,6 e 2,8%.



O emprego de técnicas de agricultura de precisão, como sua utilização no manejo localizado da fertilidade do solo, vem sendo amplamente utilizado. As dosagens de insumos são aplicadas de forma variável, visando atender às necessidades específicas de cada local, otimizando o processo de produção e reduzindo os impactos ambientais causados pelas práticas agrícolas. Para tanto, é indispensável a caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo por meio de amostragem capaz de representar tais variações (BOTTEGA et al., 2013).

A geoestatística que é uma das ferramentas da agricultura de precisão, realiza o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e auxilia os programas computacionais empregados na agricultura de precisão, ou seja, os dados gerados e ajustados da interpolação simples de dados (krigagem) e da interpolação cruzada (cokrigagem) entre atributos de planta versus solo servem como base para estimar a variabilidade espacial de determinada variável por meio de outra com facilidade de determinação (MONTANARI et al., 2015).

O objetivo do trabalho foi selecionar entre os atributos do solo avaliados, aqueles com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade dos grãos de feijão e possível criação das zonas específicas de manejo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2011/2012, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, município de Chapadão do Sul (MS). O solo estudado vinha sendo cultivado com a sucessão de culturas soja/milho, respectivamente semeadas no verão e safrinha, sendo que nos últimos dois anos o solo permaneceu em pousio. A cultura foi implantada em meados de outubro de 2011. A planta-teste utilizada foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Pérola, foi realizada a semeadura do feijão em toda a área, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas proporcionando densidade média de 16 plantas m<sup>-1</sup>. As práticas normais de condução da cultura, tais como o tratamento fitossanitário e o cultivo químico, foram procedidas homogêneas em toda a área experimental, conforme recomendações de Fahl et al. (1998).

A área experimental foi definida entre dois terraços, nas direções x e y, assim, demarcou-se uma área de 2.500 m<sup>2</sup> (50,0 m x 50,0 m) que continham 121 pontos amostrais dispostos em malha regular de 5,0 m x 5,0 m.

Foram determinados os atributos químicos do solo pH, (CaCl<sub>2</sub>), teor de carbono do solo, (g kg<sup>-1</sup>), teor de fósforo, (mg.dm<sup>-3</sup>), teor de potássio, (mmolc.dm<sup>-3</sup>), cálcio, (mmolc.dm<sup>-3</sup>), magnésio, (mmolc.dm<sup>-3</sup>), alumínio, (mmolc.dm<sup>-3</sup>) e soma de bases, (mmolc.dm<sup>-3</sup>). Os atributos do solo e da planta foram individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral nas profundidades: 1) 0,00 - 0,10 m e 2) 0,10 - 0,20 m e a produtividade (PRO) dos grãos, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral, com área útil de 3,24 m<sup>2</sup> (1,80 x 1,80 m) em quatro linhas de semeadura. O feijão foi colhido no estágio fenológico entre R7 e R8, com a umidade entre 13 a 15 %.

Para os atributos estudados efetuou-se a análise descritiva inicial, regressão linear e análise geoestatística. Com auxílio do software estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997). Foi utilizada uma planilha de cálculos no Excel para montar a matriz de correlação de Pearson. Após as análises da dependência espacial dos atributos químicos do solo foram realizadas pelo uso do Gamma Design Software GS<sup>+</sup> (2004). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a Equação (GS<sup>+</sup>, 2004):

$$ADE = [C / (C + Co)] \cdot 10 \quad (1)$$

em que: ADE é o avaliador da dependência espacial; C, a variância estrutural; e C+Co, o patamar. A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a) ADE < 25% = variável espacial de baixa dependência; b) 25% ≤ ADE < 75% = moderada dependência e c) 75% ≤ ADE < 100% = forte dependência (DALCHIAVON et al., 2012).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Analisando os atributos pesquisados apresentados na Tabela 1 e segundo a classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002), verificamos que a produtividade de grãos apresentou alta variabilidade (27,4%) análoga aos resultados obtidos por Dalchiavon et al. (2011), que, trabalhando com uma malha de 135 pontos de 2,5 m x 2,5 m entre pontos o autor também encontrou alta variabilidade (20,3%) para a produtividade do feijoeiro.

Analisando os atributos do solo observa-se que pH1, pH2 apresentaram baixa variabilidade, 3,1% - 3,5% respectivamente. Tais dados estão em conformidade com resultados obtidos por Montanari et al. (2013a), trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférrico obteve 4,4% e 4,3% para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Os resultados para os atributos do solo C1 e C2, apresentaram média variabilidade, respectivamente 14,9%, 15,3%. O atributo do solo fósforo para a profundidade (0,00 a 0,10 m) P1, apresentou alta variabilidade (25,6%) e para a profundidade P2 (0,10 a 0,20 m) média variabilidade (17,7%). Resultados discordantes dos obtidos por Montanari et al. (2013a) (43,4% e 43%) e Lima et al. (2013) (32,1% e 48,0%), onde os autores obtiveram variabilidade muito alta para o fósforo nas duas profundidades. Esta

discordância nos dados obtidos pode ser explicada pela adsorção desse nutriente aos óxidos de Fe e Al. (ALVES et al., 2014).

TABELA 1. Estatística descritiva inicial da produtividade do feijão e de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho de Chapadão do Sul, (MS).

Atributo <sup>(a)</sup>	Média	Mínimo	Máximo	DP	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF <sup>(b)</sup>
<b>PRO</b>	2278,7	482,3	3453,3	625,3	27,4	-0,423	0,232	0,084	NO
<b>pH1</b>	4,75	4,40	5,23	0,15	3,1	0,943	0,335	0,048	NO
<b>pH2</b>	4,63	4,16	5,11	0,16	3,5	0,550	0,273	0,146	NO
<b>C1</b>	6,35	2,5	8,05	0,95	14,9	2,212	-0,943	2x10 <sup>-4</sup>	NO
<b>C2</b>	5,13	2,88	6,89	0,79	15,3	0,617	-0,645	0,001	IN
<b>P1</b>	10,58	5,74	21,29	2,71	25,6	3,945	1,365	1x10 <sup>-4</sup>	IN
<b>P2</b>	8,99	5,74	12,62	1,60	17,7	-0,128	0,008	0,111	NO
<b>K1a</b>	0,58	0,37	0,81	0,10	17,5	-0,565	0,071	0,328	LN
<b>K2a</b>	0,51	0,26	0,77	0,10	19,0	0,034	0,030	0,702	LN
<b>Ca1</b>	12,12	8	30,80	4,33	35,8	7,269	2,711	1x10 <sup>-4</sup>	IN
<b>Ca2</b>	10,66	4,30	25,30	3,65	34,2	6,022	2,221	1x10 <sup>-4</sup>	IN
<b>Mg1a</b>	0,88	0,51	1,35	0,17	19,0	-0,627	0,158	0,035	TL
<b>Mg2</b>	6,52	0,01	17,53	3,16	48,5	0,501	0,399	0,010	IN
<b>Al1b</b>	1,32	0,70	1,95	0,22	16,5	0,013	0,184	0,581	LN
<b>Al2</b>	2,25	0,01	10,00	1,36	60,4	9,367	2,313	1x10 <sup>-4</sup>	IN
<b>SB1</b>	24,31	16,34	46,10	6,46	26,6	2,122	1,510	1x10 <sup>-4</sup>	IN
<b>SB2</b>	20,45	8,58	39,19	5,86	28,7	1,324	0,939	1x10 <sup>-4</sup>	IN

(a) PRO = produtividade de grãos, (kg ha<sup>-1</sup>), DP= Desvio padrão pH1 e pH2 = potencial hidrogeniônico, C1 e C2 = teor de carbono do solo, (g kg<sup>-1</sup>), P1 e P2 = teor de fósforo, (mg dm<sup>-3</sup>), K1 e K2 = teor de potássio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Ca1 e Ca2 = teor de cálcio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg1 e Mg2 = teor de magnésio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Al1 e Al2= acidez ativa do solo, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), SB1 e SB2 = soma de bases, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). a = dados transformados log, b= dados transformados log(x\*10). (b) DF= distribuição de frequência, NO= normal, IN= indeterminada, LN= log normal e TL= tendendo log normal.

Para potássio K1a e K2a, apresentaram média variabilidade com valores de 17,5% - 19%, diferentes dos obtidos por Dalchiavon et al. (2011) onde o autor encontrou para o K, variabilidade muito alta (38,5%). O autor descreve que a alta variabilidade para o K pode indicar que a mesma pode ter sido interferida pela cultura antecessora (milho) por conta de adubação, o que não ocorreu neste trabalho pois o solo estava em pousio nos últimos dois anos conforme descrito anteriormente. O cálcio apresentou variabilidade muito alta com valores de 35,8% e 34,2%, condizentes com os obtidos por Alves et al. (2014) onde o autor trabalhando com uma malha de 230 m x 228 m em duas profundidades obteve 44,81% e 43,39% respectivamente. Para o magnésio foram observados valores para as profundidades Mg1a e Mg2 de 19,0% e 48,5% respectivamente. Cavalcante et al. (2007) verificou valores de magnésio, em sistema de plantio direto, 35% e para o preparo convencional de 49%. A média variabilidade encontrada para o Mg1a está divergente das encontradas pelos autores citados acima e se pode ser explicada, pois os dados do Mg1a deste trabalho foram normalizados por log.

Para SB1 e SB2, apresentaram alta variabilidade, respectivamente 26,6% e 28,7; Matias et al. (2015) também encontraram variabilidade alta (20,58%) trabalhando em um Latossolo Amarelo Distrófico com soja plantada em sistema convencional com pontos georreferenciados em duas áreas com 50 pontos cada; Dalchiavon et al. (2011) encontrou variabilidade muito alta (30,4%) trabalhando com feijoeiro irrigado com pivot central, em um Latossolo Vermelho Distroférico em sistema de semeadura direta. Segundo Cavalcante et al. (2007), coeficiente de variação maior que 35 % revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado. Se for maior que 65 %, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Contudo, se for menor que 35 %, a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida; indicando neste trabalho que Ca1, Ca2, Mg2 e Al2 apresentaram série de dados heterogêneas e média com pouco significado; para Silva et al. (2003), mesmo encontrando coeficientes de variação baixos para Ca, Mg e Al, aplicações a lanço, seguidas de revolvimento do solo para incorporação, podem gerar variabilidade no solo, podendo assim indicar o alto valor do coeficiente de variação para elementos Ca1, Ca2 Mg2 e Al2 obtidos nesta análise.

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média; em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média geométrica, caso seja do tipo lognormal (Rosa Filho et al., 2009) citado por MONTANARI et al. (2010). Portanto a média de tendência central que representa o atributo da planta PRO e os atributos do solo pH1, pH2 e P2 deverá ser a média em razão de sua distribuição de frequência normal ficando em concordância com os dados obtidos por Dalchiavon et al. (2011). Para os atributos do solo C1,

C2, P1, Ca1, Ca2, Mg2, Al2, S1 e S2 a distribuição de frequência foi do tipo indefinida; para os atributos K1a, K2a e Al1b a frequência foi do tipo log normal; e Mg1 tendendo a log.

Observa-se na Tabela 1 que a produtividade dos grãos de feijoeiro tem valor médio de 2.278,7 kg.ha<sup>-1</sup> ficando próximo aos valores encontrados por Montanari et al. (2010) com 2.200,9 kg.ha<sup>-1</sup>, porém abaixo dos valores encontrados por Dalchiavon et al. (2011) com média de 3.044 kg.ha<sup>-1</sup> e, bem acima da média do município referidas pela Conab (2017) que giram em torno de 1.800 kg.ha<sup>-1</sup>.

No estudo das correlações lineares de Pearson da PRO com os atributos químicos do solo, a PRO firmou correlações positivas e significativas com Ca1 (r = 0,200\*), Ca2 (r = 0,260\*), Al1 (r = 0,170\*), C2 (r = 0,150\*) e SB2 (r = 0,170\*). Diferente dos encontrados por Dalchiavon et al. (2011) que obteve relação direta para a matéria orgânica e pH. Foram encontradas correções significativas entre a SB com o Ca e Mg, dados também verificados por Matias et al. (2015) que encontrou significância nas correlações SB com o Ca e Mg. A correlação negativa encontrada entre o pH e o Al também foi constatada por MATIAS et al. (2015) que encontrou valor de r = -0,140. Na análise de regressão múltipla da PRO, em função de todos os atributos do solo no presente estudo, o modelo testado (Equação 2) explicaram aproximadamente 20,4% da variação da produtividade de grãos de feijão na profundidade (0,00 a 0,20 m) (r<sup>2</sup> = 0,204\*\*). Dalchiavon et al. (2011) explicaram aproximadamente 22,1% da variação da produtividade de grãos de feijão irrigado, plantado em sistema de semeadura direta, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, estudado em um Latossolo Vermelho Distroférico, com malha amostral georreferenciada com 135 pontos.

A análise geoestatística (Tabela 2) evidenciou que houve dependência espacial para o semivariograma do atributo Mg1a e semivariograma cruzado PG = f(C1) que se ajustaram ao modelo esférico, enquanto que PRO, C1, e SB1 ajustaram ao modelo exponencial, concordando com Montanari et al. (2013b) que dizem que os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta. Porém os atributos pH1, pH2, Ca1, Ca2, Al2 e SB2 se ajustaram ao modelo gaussiano. Para os demais elementos do solo C2, P1, P2, K1a, K2a e Al1b, observamos o efeito pepita puro (epp). Quando o variograma apresenta-se como efeito pepita puro (caso em que os pontos do variograma estariam praticamente alinhados ao eixo das abcissas) significa que a estruturação da variável, se existir, não pode ser visualizada na escala utilizada, não havendo, portanto nenhuma vantagem para que se adote o método geoestatístico para o estudo da mesma (ANDRIOTTI, 2010).

TABELA 2. Parâmetros estimados para o semivariograma simples e cruzado das variáveis.

Atributo (a)	Modelo (b)	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(b)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação Cruzada		
							%	Classe	a	b	C
<b>γ(h) Simples – Atributo da planta</b>											
PRO	exp.	2,2x10 <sup>5</sup>	4,25x10 <sup>5</sup>	32,1	0,67	8,65x10 <sup>9</sup>	50,0	Mod.	6,21	0,99	0,420
<b>γ(h) Simples – Atributo da solo</b>											
pH1	Gau.	1,23x10 <sup>-2</sup>	2,07x10 <sup>-2</sup>	7,5	0,43	1,44 x10 <sup>-5</sup>	40,6	Mod.	3,00	0,35	0,145
pH2	Gau.	1,43x10 <sup>-2</sup>	2,07x10 <sup>-2</sup>	7,0	0,74	1,44 x10 <sup>-5</sup>	45,1	Mod.	1,52	0,76	0,28
C1	exp.	4,92x10 <sup>-1</sup>	9,85 x10 <sup>-1</sup>	30,6	0,52	9,48x10 <sup>-2</sup>	50,1	Mod.	1,52	0,76	0,27
C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K1a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca1	gau.	7,0	16,50	18	0,93	6,65	57,6	Mod.	-2,13	1,18	0,815
Ca2	gau.	8,00	14,50	59	0,81	13	44,8	Mod.	-0,06	1,43	0,335
Mg1a	esf.	6,50	12,40	24	0,90	2,31	47,6	Mod.	0,03	0,99	0,521
Mg2	gau.	4,30	10,20	5,1	0,77	8,57	57,8	Mod.	2,56	0,61	0,226
Al1b	epp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2	gau.	1,00	1,79	5,5	0,51	8,19x10 <sup>-2</sup>	44,1	Mod.	0,73	0,68	0,23
SB1	exp.	2,45x10 <sup>-1</sup>	48,76	45,3	0,74	1,75x10 <sup>2</sup>	53,9	Mod.	-9,04	1,39	0,62
SB2	gau.	5,00	32,65	6,0	0,84	80,40	84,7	Forte	9,63	0,53	0,23
<b>γ(h) Cruzado [planta = f(solo)]</b>											
PG=F(C1)	esf.	1,0x10 <sup>-1</sup>	1,06 x10 <sup>2</sup>	62,3	0,93	7,89 x10 <sup>2</sup>	99,9	Forte	324,5	0,96	0,715

(a) PRO = produtividade de grãos, (kg ha<sup>-1</sup>), C<sub>0</sub> = pepita, C<sub>0</sub> + C = patamar, A<sub>0</sub> = alcance, pH1 e pH2 = potencial hidrogeniônico, C1 e C2 = teor de carbono do solo, (g kg<sup>-1</sup>), P1 e P2 = teor de fósforo, (mg dm<sup>-3</sup>), K1 e K2 = teor de potássio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Ca1 e Ca2 = teor de cálcio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg1 e Mg2 = teor de magnésio, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Al1 e Al2 = acidez ativa do solo, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), SB1 e SB2 = soma de bases, (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). a = dados transformados log, b = dados transformados log(x\*10). (b) esf = esférico, exp = exponencial, gau = gaussiano, epp = efeito pepita puro e Mod = moderado. (c) SQR = Soma do quadrado do resíduo; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Na Tabela 2, a relação decrescente dos coeficientes de determinação espacial ( $r^2$ ) se deu na seguinte maneira nós semivariogramas simples: 1) Ca1 - 0,925, 2) Mg1a - 0,902, 3) SB2 - 0,835, 4) Ca2 - 0,812, 5) Mg2 - 0,768, 6) pH2 - 0,739, 7) SB1 - 0,738, 8) PRO - 0,667, 9) C1 - 0,521, 10) Al2 - 0,512, 11) pH1 - 0,435. O valor encontrado (0,738) para soma de bases em profundidade de 0,00 a 0,10 m, com ADE classificado em médio (53,9%) e modelo ajustado exponencial com alcance de 45,3 m, comparados com Alves et al. (2014) trabalhando em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, com a cultura da cana-de-açúcar, em 121 pontos amostrais georreferenciados, encontraram valor menor de  $r^2$  de 0,073 com ADE classificada como muito alto (87,3%), o modelo ajustou-se ao tipo exponencial com alcance de 51,9 m.

Também com relação ao avaliador da dependência espacial (ADE), a relação foi em primeiro SB2 com 84,7%, seguida do Mg2 com 57,8%, Ca1 57,6%, SB1 53,9%, C1 50,1%, PRO 50,0%, Mg1a 47,6%, pH2 45,1%, Ca2 44,8%, Al2 44,1% e por último pH1 40,6%. A relação decrescente dos alcances da dependência espacial foi: Ca2 - 59,0 m, SB1 - 45,3 m, PRO - 32,1 m, C1 - 30,6 m, Mg1a - 24,0 m, Ca1 - 18,0 m, pH1 - 7,5 m, pH2 - 7,0 m, SB2 - 6,0 m, Al2 - 5,5 m e Mg2 - 5,1 m. Portanto, exclusivamente com base na presente pesquisa, assim como visando auxiliar a pesquisa futura, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances da dependência espacial a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 5,1 m para os atributos do solo e para o atributo da planta não menor que 32,1 m.

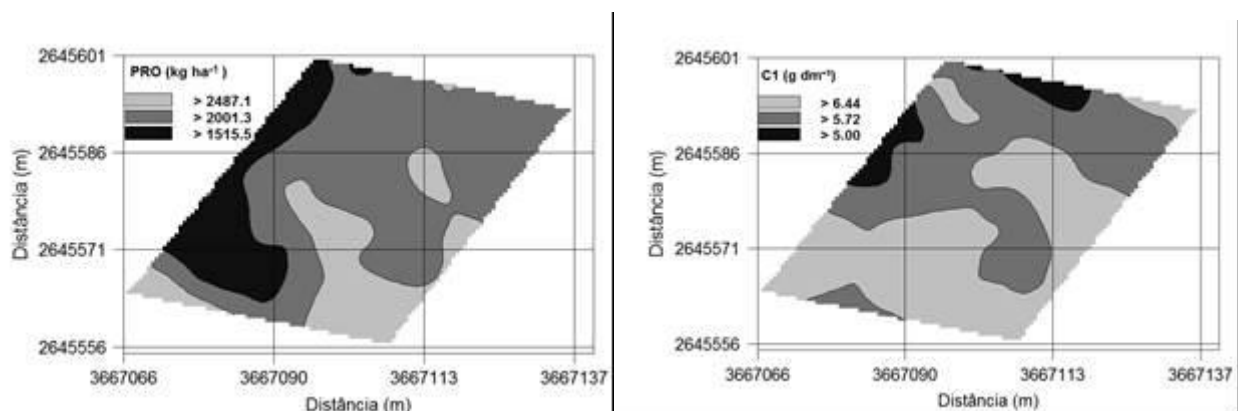


FIGURA 1. Mapas de krigagem da produtividade de grãos do feijão, ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), e carbono (C1) de um Latossolo Vermelho de Chapadão do Sul (MS).

Em termos de co-krigagem, houve ajuste entre PG e C1. Foi constatado que 92,6% (C1) da variabilidade espacial da produtividade de feijão puderam ser explicados pela variabilidade espacial de C1, de forma que os maiores valores de produtividade de feijão foram registrados justamente nas regiões centrais e sul, possivelmente pelo fato de ser as áreas onde foram obtidos os maiores valores de carbono no solo, na profundidade de 0,00 a 0,10 m (Figura 2). A dependência espacial para esta co-krigagem foi alta (ADE=99,9 (PRO=f(C1))), sendo ajustado o modelo do tipo esférico (Tabela 4; Figura 2).

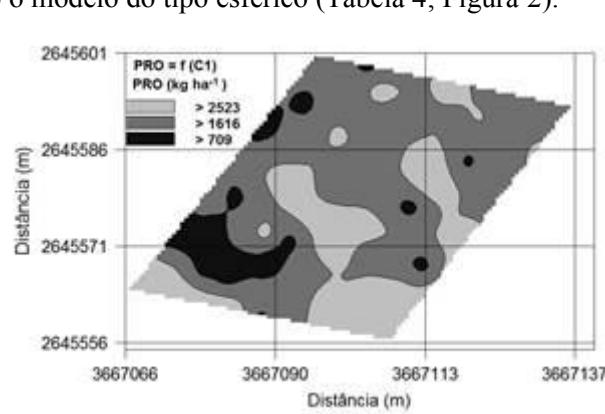


FIGURA 2. Mapa de cokrigagem da produtividade de grãos do feijão, ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), em função do carbono C1 de um Latossolo Vermelho de Chapadão do Sul (MS).

Assim, pode-se inferir que a variabilidade espacial entre o atributo C1 do solo com a produtividade de grãos de feijão seguiram o mesmo comportamento linear; portanto, pela co-krigagem de alta significância, pode-se estimar a produtividade do feijão pelo efeito direto do aumento do carbono no solo.

**CONCLUSÃO:** A análise de regressão múltipla dos dados indicou que aproximadamente 20% da produtividade de grãos de feijão é atribuída à variação de todos atributos químicos do solo descrito no presente trabalho. Os atributos químicos pH1, pH2, C1, Ca1, Ca2, Mg1a, Mg2, Al2, SB1 e SB2 têm dependência espacial classificada na maioria como moderada. Tanto linear quanto espacialmente, o C1 do solo se destacou como potencial indicador da produtividade de grãos de feijão quando cultivado sob sistema plantio direto.

## REFERÊNCIAS

- Alves, V.; Montanari, R.; Carvalho, M. P.; Correa, A. R.; Roque, C. G. Atributos tecnológicos, stand e produtividade da cana-planta correlacionados com aspectos da fertilidade do solo em Chapadão do Céu (GO). *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS*, v. 1, n. 1, p. 75-91, jul./set 2014.
- Andriotti, J. L.; *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. (ed.) Unisinos, São Leopoldo-RS 165 p., 2010.
- Bottega, E. L.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Souza, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza-CE* v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG*, v. 31, n. 2, p. 1329-1339, 2007.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. *Perspectivas para a agropecuária, safra 2017/2018*; Brasília: Conab, 2018
- Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. P., Freddi, O. S., Andreotti, M., Montanari, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia, Campinas*, v. 70, n. 4, p.908-916, 2011
- Fahl, J. I.; Camargo, M. B. P.; Pizzinatto, M. A.; Betti, J. A.; Melo, A. M. T.; de Maria, I. C.; Furlani, A. M. C. *Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. 6. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 393 p. (Boletim técnico, 200), 1998.
- Gamma design software: GS+. *Geostatistics for environmental sciences*. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 159 p., 2004.
- Lima, S. D. L.; Silva, S. A.; Silva, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza-CE*, v.44, p.16- 23, 2013.
- Matias, S. S. R.; Baptistel, A. C.; Nobrega, J. C. A.; Andrade, F. R.; Silva, J. B. L. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, Belém-PA*, v. 58, n. 2, p. 217-227, 2015.
- Montanari R., Carvalho, M. P., Andreotti, M., Dalchiavon, F. C., Lovera, L. H., Honorato, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1811-1822, 2010.
- Montanari R., Carvalho, M. P., Filho, M. C. M. T., Dalchiavon, F. C. Produção de matéria seca da braquiária de acordo com os atributos químicos de um Latossolo em Selvíria, Mato Grosso do Sul. *Revista. Ceres, Viçosa*, v. 60, n.6, p. 772-784, nov/dez, 2013b.
- Montanari R.; Panachuki, E.; Lovera, L. H.; Correa, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; Queiroz, H. Á.; Tomaz, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. *Revista Brasileira de Ciência o Solo, Viçosa, MG*, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.
- Montanari, R.; Rodrigues, G. G.; de Passos, M.; Dalchiavon, F. C.; Machado, F. C.; Gonzalez, A. P. Atributos químicos de um Latossolo espacialmente relacionados com a produtividade e componentes de produção do feijão em Selvíria (MS). *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lajes-MG* v. 12, n. 3, p. 271-281, 2013a.
- Pimentel-Gomes, F. P., Garcia, C. H. (2002) *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais*. Piracicaba, FEALQ. 309p. 2002.

Rosa filho, G.; Carvalho, M. P.; Andreotti, M.; Montanari, R.; Binotti, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 283-293, 2009.

Schlotzhaver, S. D.; Littell, R. C. SAS system for elementary statistical analysis. 2. ed. Cary: SAS, 441 p., 1997.

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, London, v.52, p.591-611, 1965.

Silva, V. R.; Reichert, J. M.; Storck, L.; Feijó, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arenico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

## **CUSTO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES SOBRE FALHAS EM CANA SOCA: UMA ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORTE AUTOMÁTICO DE SEÇÕES**

**RAFAEL DE GRAAF CORRÊA, CRISTIANO ZERBATO<sup>2</sup>, DANILO TEDESCO DE OLIVEIRA<sup>3</sup>,  
MAILSON FREIRE DE OLIVEIRA<sup>4</sup>, CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Tecn. em Mecanização em agricultura de precisão, Mestre em Agronomia, Doutorando em Agronomia, Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone: (14) 99672-0095, rafadegraaf@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>3</sup> Tecn. em Mecanização em agricultura de precisão, Mestrando em Agronomia, Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Agronomia, Doutorando em Agronomia, Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A presença de falhas em lavouras de cana-de-açúcar pode ser considerada um fator intrínseco em seu processo de produção, aumentando com a idade do canavial. Apesar de ser possível reduzir os índices de falhas no canavial por meio de técnicas de manejo conservacionistas ainda não é possível extinguir esse problema no processo de produção da cultura, fazendo com que insumos sejam desperdiçados deliberadamente (?) nos locais de falha. Objetivou-se por meio do presente demonstrar por meio de uma análise econômica o quanto se perde por aplicar adubos de cobertura nos locais de falha, e analisar qual espaçamento de falhas devem ser considerados ao realizar o CAS na distribuição de adubo de cobertura na cana de açúcar. Para o experimento utilizou-se imagens obtidas por RPA (aeronave remotamente pilotada) de três áreas de produção de cana-de-açúcar com índices de falhas de 7%, 17%, e 35% e de custos de produção de cana-de-açúcar para a região de Guariba-SP, Brasil. Observou-se que a maior concentração de falhas no canavial possui comprimento superior a 0,5 m, com isso considera-se cortar a seção apenas em falhas maiores que essa. O custo por aplicar fertilizante sobre as falhas oscilou entre R\$ 49,00 e R\$ 376,00 ha<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum spp.*, agricultura de precisão, adubação de cobertura.

### **COST OF THE APPLICATION OF FERTILIZERS ON SKIPS IN SUGARCANE RATOON: AN ANALYSIS OF THE IMPORTANCE OF THE AUTOMATIC CONTROL OF SECTIONS**

**ABSTRACT:** The presence of skips in sugarcane plantations can be considered an intrinsic factor in its production process increasing with the age of the cane field. Although it is possible to reduce fallow rates in cane fields by means of conservation management techniques, it is not yet possible to extinguish this problem in the crop production process, causing inputs to be wasted at the skips sites. The objective of this study was to demonstrate, through an economic analysis, how much is lost by applying cover fertilizers to the skips sites, and to analyze the size of skips should be considered when performing ASC in the distribution of cover fertilizer in sugarcane. For the experiment, images obtained by RPA from three areas of sugarcane production with skips rates of 7%, 17%, and 35% were used, and production costs for sugarcane region of Guariba-SP, Brazil. It was observed that the greatest concentration of failures in the sugar cane has a length of more than 0.5 m, with this it is considered to cut the section only in faults larger than this one. The cost of applying fertilizer on the faults oscillated from R\$ 49.00 to R\$ 376.00 ha<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** *Saccharum spp.*, precision agriculture, cover fertilization.

**INTRODUÇÃO:** As falhas na rebrota dos canaviais podem ser consideradas um fator inerente ao processo de produção da cana-de-açúcar, afetando as lavouras desde o plantio até o último corte. Elas podem ser causadas por diversos fatores, como má qualidade das operações mecanizadas (SERAFIM et al., 2013; SANTOS et al., 2013), problemas no preparo do solo, cultivares inadequados, infestações de pragas, e

problemas climáticos (MATSUOKA & STOLF, 2012). Considera-se falha de rebrota qualquer espaçamento entre soqueiras superior a 0,5 m (STOLF, 1986). A identificação e quantificação das falhas nas linhas de cultivo de cana-de-açúcar é extremamente importante pois existe uma correlação direta desse índice com a produtividade do canavial (MATSUOKA & STOLF, 2012; BOCCA et al., 2015). Além dos prejuízos à produtividade do canavial as falhas ocasionam também desperdício de fertilizantes já que por falta de tecnologia embarcada os equipamentos que fazem a sua distribuição aplicam de modo indiscriminado os fertilizantes sobre os locais que não possuem plantas, gerando um gasto desnecessário com adubos, e contaminando o lençol freático por meio da lixiviação dos fertilizantes não absorvidos pelas plantas. No entanto, as tecnologias que efetuam o corte automatizado de seções presentes no mercado não são utilizadas com a finalidade de interromper a aplicação de fertilizantes em cobertura sobre as falhas de rebrota nas lavouras de cana-de-açúcar. Este trabalho parte da hipótese que o corte automático de seções apresenta diferenças significativas sobre o custo da aplicação de fertilizantes em cobertura nos canaviais. Objetivou-se por meio do presente demonstrar por meio de uma análise econômica o quanto se economizaria por utilizar o corte automático de seções (CAS) sobre as falhas nos canaviais, e analisar qual o comprimento mínimo de falhas que deve ser considerado ao realizar o CAS na distribuição de adubo de cobertura nas soqueiras de cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para a realização do trabalho foram quantificadas as falhas de três talhões de canaviais na região de Guariba-SP, Brasil. As áreas selecionadas para o mapeamento se encontravam após o 1º, 3º e 5º corte, e todas possuíam o mesmo padrão tecnológico empregado nos tratamentos culturais, com todas as operações mecanizadas e plantadoras e colhedoras equipadas com sistemas de direcionamento automático. A quantificação das falhas foi realizada em área total dos talhões selecionados por meio do mapeamento aéreo efetuado por um RPA (aeronave remotamente pilotada) equipado com uma câmera RGB adquirindo imagens com pixels de 2x2 cm. De acordo com STOLF et al. (2016) a quantificação das falhas por meio do mapeamento aéreo é tão eficiente quanto a quantificação visual. Para identificar as falhas utiliza-se algoritmos computacionais que reconhecem as linhas da cultura, identifica-se e identificam as soqueiras e estimam o espaçamento entre elas, e classifica-se e separa então classificar como falha qualquer espaçamento maior que um valor considerado, sendo empregado na maior parte das vezes 0,5 m (Figura 1). As imagens aéreas foram processadas com o algoritmo de identificação de falhas da empresa AGREMO e as falhas encontradas foram classificadas de acordo com seu comprimento como pode ser visto na Tabela 1.

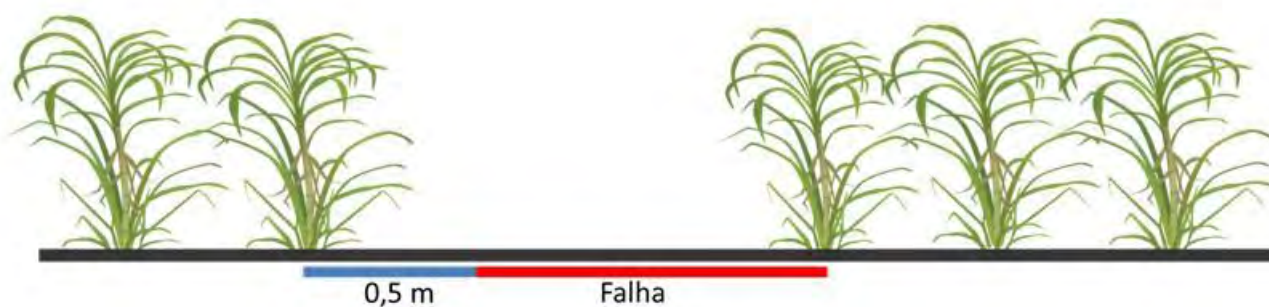


FIGURA 1. Esquema da classificação das falhas do algoritmo computacional utilizado no mapeamento e quantificação das falhas nas lavouras amostradas.

TABELA 1. Resultados da quantificação de falhas nos talhões mapeados

Talhão / Área	Falhas (%)	Total de falhas (m)				
		<0,5 m	0,5-1 m	1-1,5 m	1,5-2,5 m	>2,5 m
1ª corte (23,77 ha)	7,07%	109,8508	2342,73743	2426,807	2800,075646	3530,92
3ª corte (8,24 ha)	17,37%	970,5631	5243,61747	3245,231	2771,401424	2079,983
5ª corte (10,1 ha)	35,72%	1389,326	6141,90358	4568,537	5723,301454	18263,32
Média	20,05%	823,2466543	4576,086158	3413,524944	3764,926175	7958,074869

Para o cálculo do valor economizado com insumos foi considerada a aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 20-05-20 com custo de R\$1.406,00 ton<sup>-1</sup>, apresentada por uma tabela de custos de produção de cana-



de-açúcar na região de Guariba-SP, Brasil disponibilizada pela SOCICANA (2017), e que foi formulada com base nas práticas adotadas pelos produtores associados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 2 é possível verificar a quantidade de insumos que deixaria de ser aplicada e a economia com fertilizantes decorrente da utilização do corte automático de seções sobre as falhas nas linhas de cana-de-açúcar. Observa-se que após o 1º corte a cultura recém estabelecida apresenta 7,07% de falhas e devido ao fato da colheita ter sido realizada com tecnologias de direcionamento automático atribui-se esse valor a problemas no plantio mecanizado, que de acordo com SERAFIM et al. (2013) reduz o índice de brotação devido a danos mecânicos nas gemas causados pelo processo de distribuição de rebolos nos sulcos de plantio.

TABELA 2. Resultado das análises do desperdício de insumos e retorno financeiro recorrente da utilização do CAS.

Talhão	Falhas	Fertilizante economizado (kg ha <sup>-1</sup> ano)					TOTAL
		<0,5 m	0,5-1 m	1-1,5 m	1,5-2,5 m	>2,5 m	
1ª corte	7,07%	0,35	7,39	7,66	8,83	11,14	35,37
3º corte	17,37%	8,83	47,73	29,54	25,23	18,93	130,26
5º corte	35,72%	10,32	45,61	33,92	42,50	135,62	267,97
Média	20,05%	6,50	33,58	23,71	25,52	55,23	144,53
Talhão	Falhas	Economia do Fertilizante (R\$ ha <sup>-1</sup> ano)					TOTAL
		<0,5 m	0,5-1 m	1-1,5 m	1,5-2,5 m	>2,5 m	
1ª corte	7,07%	0,49	10,39	10,77	12,42	15,66	49,73
3º corte	17,37%	12,42	67,10	41,53	35,47	26,62	183,14
5º corte	35,72%	14,51	64,13	47,70	59,75	190,68	376,76
Média	20,05%	9,14	47,21	33,33	35,88	77,65	203,21

No terceiro corte onde a cultura geralmente já passou por mais fatores causadores de falhas (MATSUOKA & STOLF, 2012) os índices chegaram a 17,37%, e com isso, a utilização do CAS reduz a utilização de fertilizantes em até 130,26 kg ha<sup>-1</sup>, economizando R\$ 183,14 ha<sup>-1</sup> com fertilizantes, ou seja, a cada 1000 ha submetidos a essa tecnologia, o valor economizado é suficiente para implantar novos 27 ha de cana-de-açúcar (SOCICANA, 2017). No 5º corte o índice de falhas se torna ainda mais elevado chegando a 35,72%, onde o CAS gera economia de 267,97 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizantes e R\$ 376,00 ha<sup>-1</sup> de economia. De forma geral, a média da economia com fertilizante proveniente da utilização de CAS a cada 1000 ha chega a R\$ 203.211,86 por ano. Atualmente os canaviais levam de 5 a 7 cortes para serem renovados (RUDORFF et al., 2010), desta forma, pode-se considerar que a cada 1000 ha cultivados que utilizarem o CAS nas aplicações de NPK durante todo seu ciclo a economia com fertilizantes se porta entre R\$ 1.016.059,30 e R\$ 1.422.483,02, correspondente a cerca de 16% do custo de renovação dos canaviais (SOCICANA, 2017). Quanto ao tamanho mínimo da falha a ser considerado ao realizar o corte automático de seções recomenda-se utilizar acima de 0,5 metros (Figura 2), pois o tempo de resposta dos equipamentos disponíveis no mercado poderia ser um impedimento a realização do CAS em pequenas falhas que apresentam baixo retorno econômico. Além do mais, acredita-se que por ser pequena, a falha está próxima a soqueira vizinha, e possivelmente o insumo aplicado sobre ela pode ser absorvido pelo sistema radicular das plantas vizinhas.

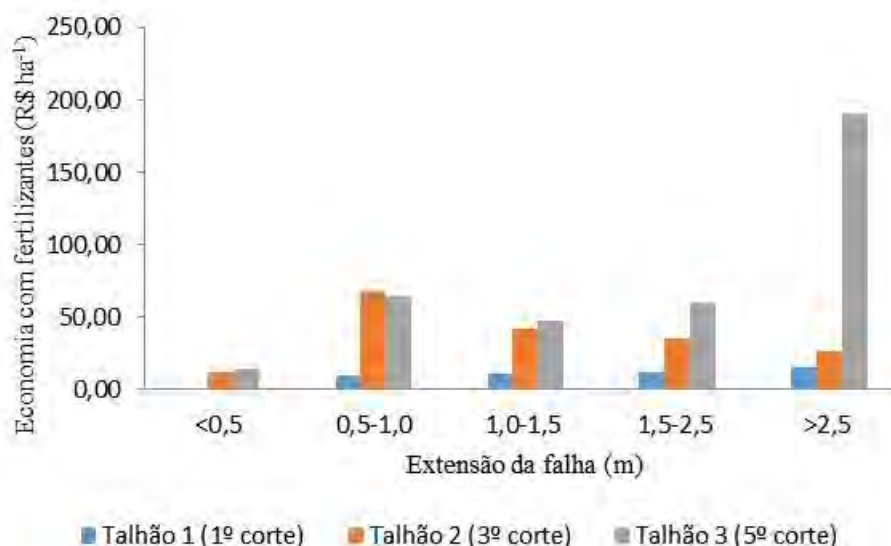


FIGURA 2. Gráfico da economia de fertilizantes em função do tamanho da falha na linha de cana-de-açúcar.

**CONCLUSÃO:** A economia com fertilizante proveniente da utilização de corte automático de seções na aplicação de NPK em cobertura ao longo de todo o ciclo chega a mais de 16% do custo de renovação do canavial.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos à empresa BEMBRÁS AGRO pela aquisição e fornecimento dos mapas de falhas utilizados no desenvolvimento desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BOCCA, F.F., RODRIGUES, L.H.A., ARRAES, N.A.M., When do I want to know and why? Different demands on sugarcane yield predictions. **Agriculture Systems**. v.135, n.???, p.48–56. 2015.
- MATSUOKA, S., STOLF, R., 2012. Chapter 5 - sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping. In: GONCALVES, J.F., CORREIA, K.D. (Eds.), **Sugarcane: Production, Cultivation and Uses**. Nova Science Publishers, p.137–157.
- RUDORFF, B.F.T., DE AGUIAR, D.A., DA SILVA, W.F., SUGAWARA, L.M., ADAMI, M., MOREIRA, M.A., 2010. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing** v.2, p.1057–1076.
- SANTOS, M. A. L.; SILVA, S.; ZOCOLER, J. L.; TEODORO, L.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. S. Avaliação de falhas na brotação da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 9, n. 4, p. 30-37, 2013.
- SERAFIM, L.G.F.; STOLF, R.; SILVA, J.R.; SILVA, L.C.F.; MANIERO, M.A.; BASSINELLO, A.I. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar. **STAB** (Piracicaba), v. 31, n.???, p. 22-25, 2013.
- SOCICANA – Associação dos produtores de cana de Guariba. **Custo médio operacional região de Guariba: Propriedade de grande escala**. 2017. Disponível em: <http://socicana.com.br/custos-de-producao/>
- STOLF, R. Methodology for gap evaluation on sugarcane lines. **STAB** , v.4 n.6 p.12-20, 1986.
- STOLF, R ; GARCIA T. B; NERIS L. O. TRINDADE Jr. O; REICHARDIT K. Avaliação de Falhas em Cana-de-Açúcar Segundo o Método de Stolf Utilizando Imagens Aéreas de Alta Precisão Obtidas Por Vant . **STAB** (Piracicaba), v. 34, n.2, p. 32-39, 2016.

## **DELIMITAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE DA MALHA AMOSTRAL**

**EDUARDO LEONEL BOTTEGA<sup>1</sup>, DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ<sup>2</sup>, DOMINGOS SÁRVIO MAGALHÃES VALENTE<sup>2</sup>, FRANCISCO DE ASSIS DE CARVALHO PINTO<sup>2</sup>, ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Coordenadoria Acadêmica UFSM-CS, UFSM, Cachoeira do Sul – RS, Fone: (51) 3724-8427, eduardo.bottega@ufsm.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Depto. de Engenharia Agrícola (DEA), UFV, Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola, Prof<sup>a</sup>., Coordenadoria Acadêmica UFSM-CS, UFSM, Cachoeira do Sul – RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O emprego da técnica de utilização de zonas de manejo apresenta um elevado potencial, podendo resultar em redução no custo de produção, em especial pelo uso eficiente de fertilizantes. Nos últimos anos, várias pesquisas tem demonstrado que o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo apresenta elevado potencial como variável para delimitação de zonas de manejo. Outro fator a ser ponderado na delimitação de zonas de manejo, além da escolha da variável, refere-se ao número de pontos da malha amostral utilizado para este fim. O objetivo deste trabalho foi estudar delimitação de zonas de manejo e sua relação com a densidade da malha amostral. O estudo foi realizado em área de 47 ha, destinada à produção comercial de grãos, localizada no município de Ponta Porã/MS. Foi realizado o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo utilizando um medidor portátil. As leituras foram seguindo malha amostral composta por 160 pontos. Desta malha inicial, outras duas foram criadas, uma com 80 e outra com 40 pontos. Procedeu-se análise estatística descritiva, análise geoestatística, delimitação de zonas de manejo e confecção de mapas temáticos para cada grade amostral estudada. Foi observado que as zonas de manejo são influenciadas pela densidade de pontos da grade amostral, ocasionando mudanças espaciais relativas à sua forma e localização geográfica. Ao reduzir o número de pontos da grade amostral, reduz-se também o detalhamento das zonas de manejo delimitadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condutividade elétrica do solo, sítio específico, lógica fuzzy.

### **DELIMITATION OF MANAGEMENT ZONES FROM THE SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ITS RELATIONSHIP TO THE SAMPLE GRID DENSITY**

**ABSTRACT:** The use of management zones presents a high potential and can result in a cost reduction of production, especially by the efficient use of fertilizers. In recent years, several studies have shown that the mapping of the soil apparent electrical conductivity presents high potential as a variable for delimitation of management zones. Another factor to be weighed in the delimitation of management zones, besides the choice of the variable, refers to the number of points in the sample grid. The objective of this work was to study the delimitation of management zones and their relation with the sample grid density. The study was carried out in an area of 47 ha, destined to the commercial production of grains, located in the municipality of Ponta Porã/MS. The mapping of the soil apparent electrical conductivity was carried out using a portable device. The readings were followed by sampling grid composed of 160 points. Of this initial sampling grid, another two were created, one with 80 and another with 40 points. Descriptive statistics analysis, geostatistical analysis, delimitation of management zones and desing of thematic maps were carried out for each sample grid studied. It was observed that the management zones influenced by the density of points of the sample grid, causing spatial changes related to their shape and geographic location. By reducing the number of points in the sample grid, we also reduce the detail of the delimited management zones.

**KEYWORDS:** Soil electrical conductivity, site-specific management, fuzzy logic.

**INTRODUÇÃO:** A região do cerrado brasileiro se destaca na produção nacional de grãos, embora apresente solos de baixa fertilidade natural. Em áreas produtivas dessa região, o uso de grandes quantidades de fertilizantes se faz necessário, tornando esse insumo um importante componente do custo de produção. Neste cenário agrícola, o emprego da técnica de utilização de zonas de manejo para fertilização e correção da acidez do solo, apresenta um elevado potencial, podendo resultar em redução no custo de produção, via otimização no uso de fertilizantes e, conseqüentemente, redução nos impactos ambientais resultantes desta atividade. Rodrigues Junior et al., (2011) destacam que uma zona de manejo pode ser entendida como uma sub-região do campo de produção que apresenta uma mesma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade. A delimitação dessas sub-regiões tem por finalidade realizar um manejo diferenciado, voltado principalmente para correção e adubação do solo, considerando a variabilidade espacial dos nutrientes (FU et al., 2010). Nos últimos anos, várias pesquisas tem demonstrado que o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo apresenta elevado potencial como variável para delimitação de zonas de manejo. Sua correlação com atributos químicos e físicos do solo foi relatada em diversos estudos (MORAL et al., 2010; RODRÍGUEZ-PÉREZ et al., 2011). Outro fator a ser ponderado na delimitação de zonas de manejo, além da escolha da variável, refere-se ao número de pontos da malha amostral utilizado para este fim. Li et al. (2007) destacam que um sistema de amostragem ótimo, em qualquer estudo deve proporcionar uma estimativa com menor custo de amostragem sem, no entanto, deixar de representar a variabilidade existente nos campos de produção. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da densidade da malha amostral sobre a delimitação de zonas de manejo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi conduzido em uma propriedade agrícola no município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, com coordenadas geográficas 22° 32' 09" de latitude Sul e 55° 43' 33" de longitude Oeste. Essa propriedade possui uma área total de 450 ha, destinados à agricultura, onde se cultiva soja e milho em um sistema de sucessão de culturas, por meio de plantio direto, a mais de 12 anos. A área apresenta altitude média em relação ao nível do mar de 755 m e topografia plana à levemente ondulada, o solo predominante é o Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006). O trabalho foi realizado em talhão de 47 ha, no qual foram plotados e georreferenciados 160 pontos amostrais. Em cada ponto amostral mensurou-se a condutividade elétrica aparente do solo (CEa). Para a determinação da condutividade elétrica aparente do solo utilizou-se o método da resistividade elétrica. A condutividade elétrica foi obtida introduzindo na superfície do solo quatro eletrodos igualmente espaçados. Nos eletrodos externos foi aplicada uma corrente elétrica e a diferença de potencial foi medida nos eletrodos internos. Essa configuração é denominada Matriz de Wenner (CORWIN & HEDRICKX, 2002; CORWIN & LESH, 2003).

A resistividade obtida utilizando a Matriz de Wenner foi calculada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \Delta V}{i} \quad (1)$$

Em que,

$\rho$  = Resistividade, Ohm m<sup>-1</sup>;

$a$  = Espaçamento entre eletrodos, m;

$\Delta V$  = Diferença de potencial medida, V; e

$i$  = Corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo é o inverso da resistividade, sendo calculada pela Equação 2.

$$CE_a = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Em que,

$CE_a$  = Condutividade elétrica aparente do solo, S m<sup>-1</sup>.

Para obtenção da condutividade elétrica aparente do solo utilizou-se um medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02, com quatro eletrodos arranjados de forma a obter medições a 0,20 m de profundidade. Os dados de CEa serviram de base para delimitação de zonas de manejo. Da grade amostral inicial, foram retirados pontos amostrais de forma a produzir outras duas grades, uma com 80 pontos e outra com 40 pontos. A dependência espacial da CEa, para as três configurações de

grades amostrais, foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca. Foram testados os seguintes modelos: linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ) e alcance ( $A$ ). Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático de variabilidade espacial do atributo. A interpolação dos mapas foi realizada utilizando o método da krigagem ordinária. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, foram utilizados 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variogramas. A definição das zonas de manejo foi realizada utilizando o programa computacional KrigMe, desenvolvido por Valente (2010), que utiliza o algoritmo de classificação fuzzy k-means. Os dados de CEa interpolados, para as diferentes grades amostrais, foram organizados em 2, 3 e 4 zonas de manejo. O número de zonas de manejo que melhor representam o agrupamento dos dados trabalhados foi definido em função do Índice de Performance Fuzzy (FPI – “Fuzziness Performace Index”), que estima o grau da separação dos membros em diferentes classes e da Classificação da Entropia Normalizada (NCE – “Normalized Classification Entropy”), que estima o grau de desorganização criada pelo número de zonas. Estes índices apresentam valores entre 0 e 1, o número de zonas de manejo ótimo é obtido quando ambos os índices são minimizados (SONG et al., 2009). A análise estatística descritiva dos dados foi realizada utilizando o programa computacional Statistica, versão 7. A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa computacional GS+, versão 9. Para definição das zonas de manejo, utilizou-se o programa computacional KrigMe (VALENTE, 2010).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva dos dados de CEa após interpolação com base nas grades amostrais estudadas. Pode-se observar que, ao diminuir o número de pontos amostrais, diminuiu-se também o coeficiente de variação (CV%), entretanto, os valores deste parâmetro foram muito próximos, independente da grade amostral utilizada. Andriotti (2003) destaca que a quantidade de observações a ser utilizada no processo de krigagem não deve ser muito elevada, pois resulta em valores interpolados muito próximos ou correlacionados ao ponto mais próximo. Porém, a quantidade de pontos não deve ser muito pequena, pois, suaviza excessivamente o valor interpolado, resultando em perda do resultado buscado.

TABELA 1. Estatística descritiva dos valores de condutividade elétrica aparente do solo obtidos após interpolação de valores para diferentes grades amostrais.

N <sup>(1)</sup>	Ni <sup>(2)</sup>	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	s <sup>(3)</sup>	CV(%)
160	18766	8,78	12,28	11,72	17,68	2,13	17,34
80	18766	8,77	12,31	11,72	17,48	2,11	17,12
40	18766	8,50	12,27	11,82	17,52	2,05	16,74

<sup>(1)</sup>Número de pontos amostrais utilizados na interpolação. <sup>(2)</sup>Número de pontos do mapa interpolado. <sup>(3)</sup>Desvio padrão.

Na Figura 2 são apresentados os semivariogramas teóricos ajustados à semivariância empírica dos dados e seus parâmetros de ajuste (modelo; efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0+C$ ; alcance,  $A$  e coeficiente de determinação,  $R^2$ ). Foi possível descrever o comportamento espacial da CEa do solo independente da grade amostral utilizada. O valor do alcance aumentou com a redução do número de pontos amostrais, indicando que a utilização de grade amostral composta por 40 pontos uniformemente distribuídos em 47 ha pode ser empregada para estimativas de valores em locais não amostrados. Segundo Corá et al. (2004), estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária utilizando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representem melhor a realidade.

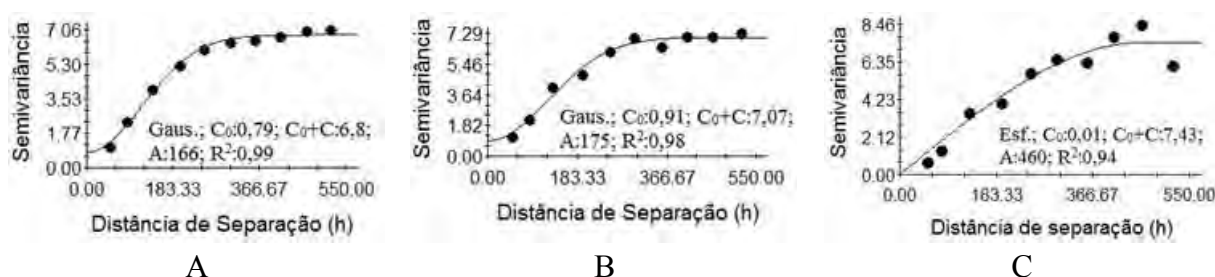


FIGURA 1. Semivariogramas teóricos (—) ajustados a semivariância empírica (●) dos valores de condutividade elétrica aparente do solo utilizando diferentes grades amostrais: 160 pontos (A); 80 pontos (B) e 40 pontos (C). Parâmetros apresentados: modelo; efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0+C$ ), alcance (A, m) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Na Figura 2 são apresentados os gráficos de validação cruzada para as estimativas realizadas a partir de diferentes grades amostrais. Foi observado que, ao se diminuir a grade amostral, aumentou-se o valor do erro padrão de predição (EPP), passando de 0,77 para 1,51, interpolando utilizando grade com 160 pontos e 40 pontos, respectivamente. Considerando os valores mínimo e máximo observados após interpolação, o maior valor de EPP pode ser considerado baixo, sendo este fato explicado pela distribuição uniforme dos 40 pontos amostrais na área de 47 ha. De acordo com VAŠÁT et al. (2010), o número e a distribuição espacial dos pontos amostrais devem assegurar uma precisão mínima para estimativas em locais não amostrados. Em segundo lugar a técnica de otimização deve ser numericamente viável.

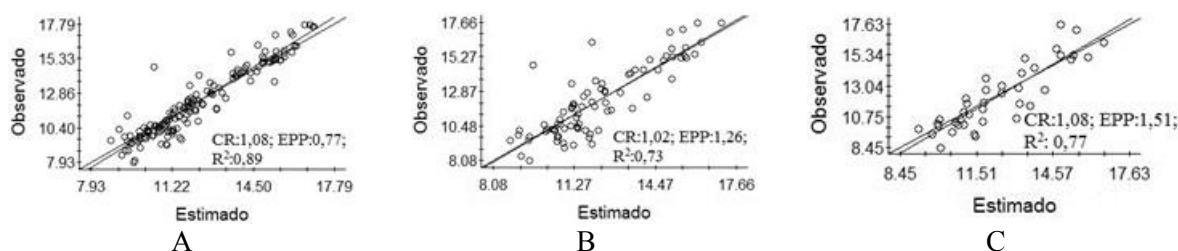


FIGURA 2. Gráficos da análise de validação cruzada para as estimativas realizadas a partir de diferentes grades amostrais: 160 (A); 80 (B) e 40 pontos (C).

Os mapas temáticos representativos da variabilidade espacial da CEa, produzidos a partir da utilização de diferentes grades são apresentados na Figura 3. A medida em que se reduziu o número de pontos da grade amostral, tendeu-se à perda de detalhamento da variabilidade espacial da CEa. Este comportamento é reflexo na suavização ocasionada pelo processo de interpolação utilizando krigagem ordinária, o que conduz normalmente a subestimação da proporção dos valores acima da média e a superestimação da proporção dos valores abaixo dos valores de corte inferior à média (SOARES, 2006).

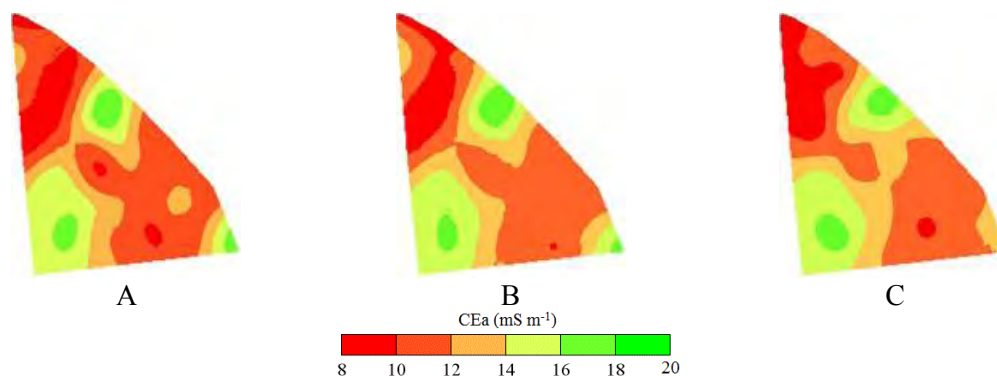


FIGURA 3. Mapas de variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa,  $mS\ m^{-1}$ ) confeccionados a partir de diferentes grades amostrais: 160 (A); 80 (B) e 40 pontos (C).

Na Figura 4 são apresentados os gráficos de comportamento do Índice de Performance Fuzzy (FPI) e da Entropia da Classificação Normalizada (NCE) em função do número de classes de agrupamentos, para a

geração de zonas de manejo a partir dos valores de CEa do solo e das diferentes densidades amostrais. Para todas as configurações de grade amostral, o valor de FPI aumentou com a redução da grade amostral, o mesmo comportamento foi observado para valores de NCE, exceto quando utilizada grade amostral com 40 pontos. Os menores valores para FPI e NCE foram 0,23 e 0,28, respectivamente. Valente et al. (2012), estudando a geração de zonas de manejo para cafeicultura, a partir da variabilidade espacial da CEa, obtiveram valores FPI e NCE de 0,22 e 0,27, respectivamente. Mesmo o estudo sendo realizado em solo diferente, os valores foram muito próximos aos observados neste estudo.

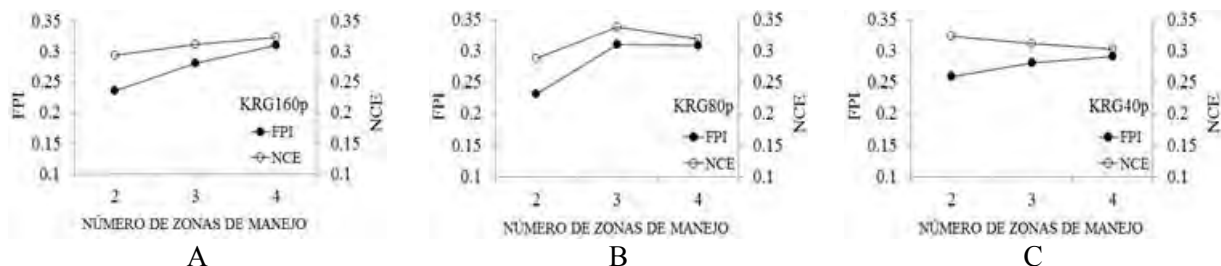


FIGURA 4. Índice de Performance Fuzzy (FPI) e Entropia da Classificação Normalizada (NCE) calculados para as zonas de manejo geradas em função das diferentes grades amostrais.

Na Figura 5 são apresentados os mapas de zonas de manejo confeccionados a partir da interpolação dos valores de condutividade elétrica aparente do solo em função das diferentes grades amostrais estudadas. Foi observado que proporção de área de cada zona não sofreu alteração com a redução na densidade da grade amostral, permanecendo a zona de manejo 1 (ZM1) a ocupar 67% da área e a zona de manejo 2 (ZM2), os 33% restantes. Embora a área ocupada por cada ZM não tenha sido alterada, modificações no formato e na localização espacial foram observadas. Na medida em que se reduziu o número de pontos amostrais, os valores de CEa tenderam a se tornar mais homogêneos em determinados locais da área, o que resultou nas mudanças observadas no mapa de ZM confeccionado a partir de 40 pontos amostrais. Como citado anteriormente, este comportamento pode ser explicado pelo fato de que a quantidade de observações a ser utilizada no processo de krigagem não deve ser muito elevada, pois resulta em valores interpolados muito próximos ou correlacionados ao ponto mais próximo (Andriotti, 2003). O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da densidade da malha amostral sobre a delimitação de zonas de manejo. Para determinar qual grade melhor estratifica a área em zonas de manejo homogêneas, se faz necessário um estudo complementar, efetuando a caracterização química e física do solo em cada zona e, posteriormente, aplicar-se um teste de médias para os valores observados.

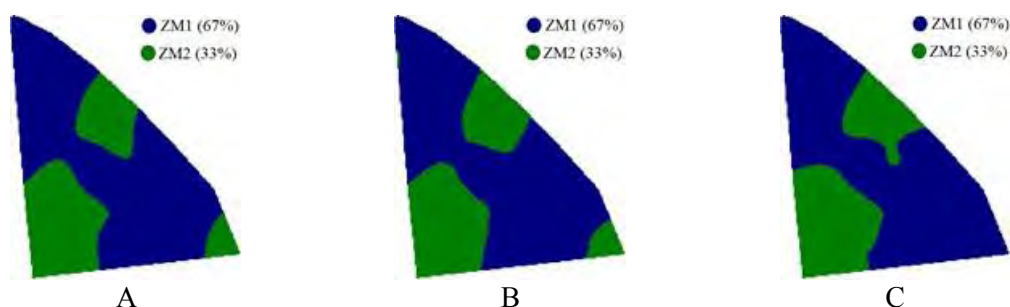


FIGURA 5. Zonas de manejo delimitadas com base na mensuração da condutividade elétrica aparente do solo a partir de diferentes grades amostrais: 160 (A); 80 (B) e 40 pontos (C).

**CONCLUSÃO:** A redução na densidade da grade amostral ocasionou mudanças espaciais nas relativas à forma e localização geográfica das zonas de manejo.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsas de estudo e aporte financeiro ao desenvolvimento deste estudo. À Fazenda São Judas Tadeu pela disponibilidade da área de estudo bem como toda a logística demandada por este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. 165 p. Editora Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS. São Leopoldo. 2003.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA : **SSSA Book Series**, n. 5, p.1282-1287. 2002.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2006. 412p.
- FU, Q.; WANG, Z.; QIUXIANG, J. Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO. **Mathematical and Computer Modelling**, v.51, p. 1299-1305, 2010.
- LI, Y.; SHI, Z.; LI, F. Delineation of Site-Specific Management Zones Based on Temporal and Spatial Variability of Soil Electrical Conductivity. Soil Science Society of China. **Pedosphere**, v.17, n.2, p.156-164. 2007.
- MORAL, F.J.; TERRÓN, J.M.; SILVA, J.R.M. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil & Tillage Research**, v.106, p. 335–343, 2010.
- RODRIGUES JUNIOR, F.A.; VIEIRA, L.B.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.778–787, 2011.
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; PLANT, R.E.; LAMBERT, J.J.; SMART, D.R. Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. **Precision Agriculture**, v.12, p.775–794, 2011.
- SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Ed. 2, 214 p. Instituto Superior Técnico. Editora IST Press. Lisboa. 2006.
- SONG, X.; WANG, J.; HUANG, W.; LIU, L.; YAN, G.; PU, R. The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. **Precision Agriculture**, v.10, p.471-487, 2009.
- VALENTE, D.S.M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para definir zonas de manejo em cafeicultura de precisão**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.
- VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 683-690, 2012.
- VAŠÁT, R.; HEUVELINK, G. B. M.; L. BORŮVKA, L. Sampling design optimization for multivariate soil mapping. **Geoderma**, n.155, p.147–153. 2010.



## **DEPENDÊNCIA ESPACIAL DO NDVI E ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DA CULTURA DO MILHO SILAGEM POR MEIO DE GRADE REGULAR E PONTOS ADICIONAIS.**

**ANDERON DA SILVA UMBELINO<sup>1</sup>, ELTON FIALHO DOS REIS<sup>2</sup>, MARCOS PAULO DE OLIVEIRA MARTINS<sup>3</sup>, EDMILSON FERREIRA BORGES<sup>4</sup>, PHILIP DOS SANTOS LEMOS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, Fone: (62) 991862719, anderson-umbelino@hotmail.com;

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor. Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, fialhoreis@ueg.br.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis - GO, marcospmartins.92@gmail.com;

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis - GO, philiplemos\_@hotmail.com;

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, edmilsonborjes@hotmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar a dependência espacial do NDVI e atributos agronômicos da cultura do milho, por meio de grade regular e pontos adicionais entre células da grade. A refletância espectral foi obtida aos 20, 35 e 80 dias após a semeadura (DAS) por sensor espectroradiômetro da Ocean Optics, modelo USB 2000+RAD com resolução de 0,34nm e os atributos agronômicos foram determinados em 1m<sup>2</sup> a um raio de 5 m de cada ponto amostral, em 42 pontos por meio de uma grade regular de 37 metros e em grade com pontos adicionais, elevando o número de pontos para 78 numa área de 6 hectares. A geoestatística foi avaliada por meio do software GS+ 7.0 e a confecção dos mapas de isolinhas com o software Surfer 9.0. A utilização dos pontos adicionais na malha regular foi eficaz para identificar a correlação espacial existente na área de todos os atributos, enquanto que, com a ausência de pontos adicionais não foi possível detectar a dependência espacial do NDVI aos 80 DAS e Altura de plantas. A malha amostral com pontos adicionais detectou a dependência espacial do NDVI ao longo de todo o ciclo da cultura. Mapas elaborados através da malha amostral sem a presença de pontos adicionais apresentaram melhor distribuição espacial das classes de manejo para massa seca e altura de plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, Índice de vegetação, *zea mays l.*

### **SPACE DEPENDENCE OF THE NDVI AND AGRONOMIC ATTRIBUTES OF CULTURE OF THE SILAGE CORN BY MEANS OF REGULAR GRID AND ADDITIONAL POINTS.**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the spatial dependence of NDVI and agronomic attributes of the corn crop, by means of regular grid and additional points between grid cells. The spectral reflectance was obtained at 20, 35 and 80 days after sowing (DAS) by the Ocean Optics spectrophoradiometer, model USB 2000 + RAD with a resolution of 0.34nm and the agronomic attributes were determined in 1m<sup>2</sup> at a radius of 5 m of each sampling point, at 42 points by means of a regular grid of 37 meters and grid with additional points, raising the number of points to 78 in an area of 6 hectares. Geostatistics was evaluated using the GS + 7.0 software and the construction of the isoline maps with Surfer 9.0 software. The use of the additional points in the regular mesh was effective to identify the spatial correlation in the area of all the attributes, whereas, with the absence of additional points, it was not possible to detect the spatial dependence of NDVI at 80 DAS and Plant height. The sample mesh with additional points detected the spatial dependence of the NDVI throughout the whole crop cycle. Maps elaborated through the sample mesh without the presence of additional points presented better spatial distribution of the management classes for dry mass and plant height.

**KEYWORDS:** Geostatistics, Vegetation index, *zea mays l.*

**INTRODUÇÃO:** O geoprocessamento tem sido uma ferramenta essencial no desenvolvimento da agricultura de precisão, viabilizando a coleta de dados por meio de malhas amostrais, permitindo determinar a variabilidade dos atributos (CHERUBIN et al., 2015). O sensoriamento remoto é definido como uma técnica de aquisição e de aplicação das informações sobre um objeto sem nenhum contato físico com ele (POVH, 2011), sendo uma ferramenta da agricultura de precisão em que as imagens ou dados adquiridos são transformados em índices de vegetação, que pode estar relacionada com algumas variáveis de cultura (BERNARDI et al, 2014). A substituição parcial de métodos convencionais para avaliação do estado nutricional da planta utilizando sensores tem sido largamente estudado na agricultura de precisão (SILVA et al, 2014.). Índices de vegetação derivado por satélites têm sido amplamente utilizados para estimar a colheita e pastagem biomassa por meio do sensoriamento remoto, obtendo-se padrões temporais e espaciais e tem sido usado para estimar as características biofísicas de culturas (SILVA JÚNIOR et al., 2013; Bernardi et al, 2014). Uma técnica amplamente utilizada para estudar a variabilidade espacial é geoestatística, que foi aplicado na investigação de propriedades físicas e químicas do solo nos últimos anos (ARAÚJO et al., 2018), no entanto são escassas as informações sobre a variabilidade espacial dos índices de vegetação obtida por sensores terrestre com auxílio de malha amostral. Visando a recomendação da espacialização de pontos amostrais para o monitoramento do NDVI através de sensores terrestres, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial do NDVI e atributos agrônômicos da cultura do milho, por meio de grade regular e pontos adicionais entre células da grade.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido em área comercial na Fazenda Piancó localizada no município de Anápolis, GO, com altitude de 1133 m, e coordenadas 16° 15.224 ' latitude sul 49° 1.336' longitude oeste. A área é caracterizada como uma pequena propriedade produtora de leite, com terreno delimitado de 6 hectares de milho para silagem em cultivo convencional. A coleta dos dados foi realizada dentro de cada célula de uma grade regular quadrangular, com espaçamento de 37 m X 37 m totalizando 42 pontos amostrais, e como finalidade de melhor representar e comparar a dependência espacial, foi coletado ainda em pontos adicionais entre as células da grade (FIGURA 1). Para isso foi utilizado um receptor de GPS Garmin Etrex trabalhando no sistema SAD 69.

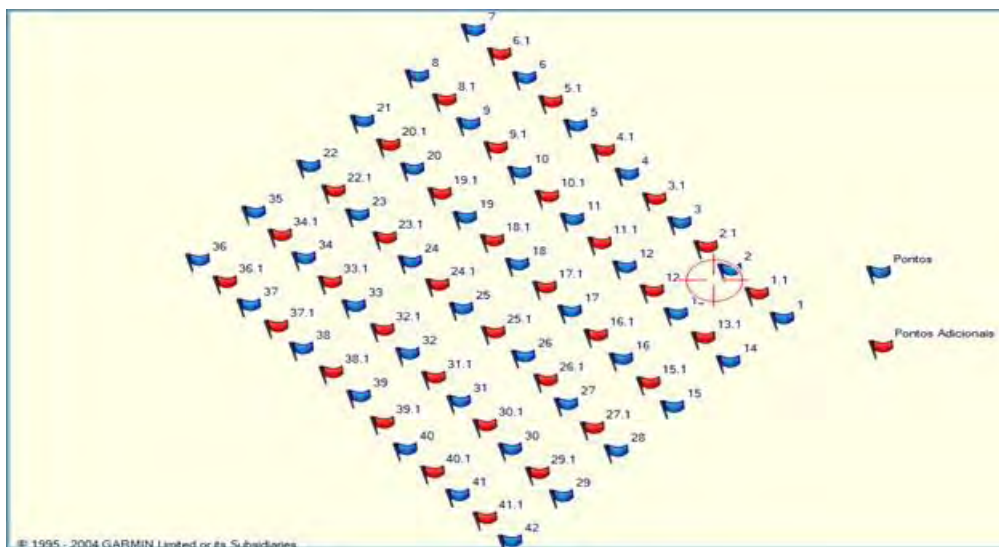


FIGURA 1. Representação da grade amostral pelo software MapSource versão 6.16.3.

A refletância espectral foi obtida aos 20, 35 e 80 dias após a semeadura (DAS) por sensor espectralímetro da Ocean Optics, modelo USB 2000+RAD com resolução de 0,34nm. O aparelho foi conectado a um microcomputador portátil, onde foram armazenados os dados. A fim de se eliminar o efeito do ângulo do sol as leituras para o NDVI gerado pelo sensor passivo foram realizadas no período das 10h:20min às 14h:20min (VIÑA et al., 2011). A coleta dos dados ocorreu aproximadamente a 1 m do dossel da cultura, realizando 3 medições em torno de cada ponto amostral. Os atributos agrônômicos foram determinados na colheita em 1 m<sup>2</sup> a um raio de 5 metros de cada ponto da grade regular como nos pontos adicionais. O diâmetro do colmo foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital, precisão de 0,01 mm e altura de plantas com subsídio de uma fita métrica precisão de 0,01 m, ambos obtidos pela média de cinco plantas. Para averiguar a massa seca foram pesadas as plantas coletadas. Após a pesagem as mesmas foram trituradas e levadas à estufa, 65°C por 72 horas para determinar o teor de matéria seca. Posteriormente

as massas foram extrapoladas para T ha<sup>-1</sup>. A análise de dispersão dos dados foi avaliada pela estatística descritiva, identificando os valores discrepantes (outliers) pelo gráfico boxplot e a verificação de normalidade dos dados foi analisada pelo teste de Shapiro & Wilk (1965) a nível de 5% de probabilidade, desta maneira, todos os procedimentos foram realizados em planilha eletrônica. A dependência espacial foi avaliada pela geoestatística utilizando o semivariograma ajustado no software GS+ versão 7.0, de acordo com o maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e menor soma de quadrado de resíduos (SSRQ). Quando apresentado dependência foi elaborado os mapas de variabilidade espacial pelo método de krigagem ordinária, com auxílio do software Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os dados apresentados na tabela 1, mostram que o NDVI (80 DAS) apresentou maior variabilidade espacial, com coeficiente de variação alto de 36, 232% e 41, 333% com e sem pontos adicionais respectivamente. Os atributos coletados com pontos adicionais não apresentaram grandes variações em termos descritivos, comparados aos coletados sem pontos adicionais, já que a maior variação entre os dois métodos de coleta foi de 5,101% para NDVI (80 DAS) e menor variação com apenas 0,040% para altura de planta. Do mesmo modo para o teste de normalidade de Shapiro & Wilk, em que ambos os métodos de amostragem identificaram normalidade dos atributos apenas pra NDVI (20 DAS) E NDVI (35 DAS).

TABELA 1. Estatística descritiva para Massa Verde (MV), NDVI (20 DAS); NDVI (35 DAS); NDVI (80 DAS); Massa Seca - MS (t ha<sup>-1</sup>); Diâmetro do Colmo - D. Colmo (mm) e Altura de Plantas – AP (m).

Atributos	Média	Mediana	Máximo	Míni.	D. Padrão	Coeficientes			Teste W
						CS	CK	CV (%)	
-----Pontos-----									
NDVI (20 DAS)	0,236	0,210	0,417	0,059	0,081	0,748	0,303	34,322	0,916*
NDVI (35 DAS)	0,724	0,741	0,795	0,597	0,055	-0,711	-0,572	7,597	0,918*
NDVI (80 DAS)	0,075	0,078	0,148	0,010	0,031	0,006	-0,373	41,333	0,985 <sup>ns</sup>
MS	13,663	13,368	19,811	6,792	2,779	0,229	0,191	20,340	0,980 <sup>ns</sup>
D. Colmo	20,753	20,780	25,093	15,66	2,050	0,057	0,102	9,881	0,985 <sup>ns</sup>
AP	2,241	2,257	2,543	1,833	0,194	-0,486	-0,353	8,657	0,948 <sup>ns</sup>
-----Pontos Adicionais-----									
NDVI (20 DAS)	0,240	0,221	0,413	0,059	0,075	0,627	-0,092	31,250	0,937*
NDVI (35 DAS)	0,731	0,743	0,805	0,622	0,055	-0,794	-0,131	7,524	0,930*
NDVI (80 DAS)	0,069	0,067	0,131	0,011	0,025	0,128	-0,336	36,232	0,993 <sup>ns</sup>
MS	13,517	13,458	19,811	6,792	2,677	0,042	0,209	19,805	0,984 <sup>ns</sup>
D. Colmo	20,906	20,838	24,757	17,35	1,577	0,101	-0,109	7,543	0,990 <sup>ns</sup>
AP	2,205	2,200	2,553	1,720	0,190	-0,302	-0,326	8,617	0,980 <sup>ns</sup>

Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; CV: coeficiente de variação; Teste W: teste de normalidade de Shapiro & Wilk; (\*) significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade; (ns) não significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade.

Em termos geoestatísticos os dados apresentaram correlação espacial com margem de 304 até 610 metros, com grau de dependência espacial alto e muito alto, conforme apresentado na tabela 2. Todavia a utilização dos pontos adicionais na grade regular foi eficaz para identificar a correlação espacial de todos os atributos, enquanto que, com a ausência de pontos adicionais não foi possível detectar a dependência espacial do NDVI aos 80 DAS e Altura de plantas, que apresentaram efeito pepita puro. Para caracterizar a variabilidade espacial desses atributos é necessário identificar a dependência espacial que se encontra em escala menor que a utilizada no grid amostral sem pontos adicionais, e assim estimar valores em locais não amostrados. Contudo os demais dados de NDVI corroboraram com demais estudos de índice de vegetação na agricultura de precisão, como Motomiya et al. (2012) trabalhando com mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão, que encontraram dependência espacial de 73,02% utilizando sensor óptico ativo, em nível terrestre. No entanto a coleta de dados realizada pelos autores foi em maior densidade de pontos (63 pontos por hectare), já que nesse estudo a densidade máxima foi de 13 pontos por hectare,

proporcionaram melhores resultados geoestatísticos, evidenciando a empregabilidade do NDVI na cultura do milho.

TABELA 2. Massa Verde (MV), NDVI (20 DAS); NDVI (35 DAS); NDVI (80 DAS); Massa Seca - MS (t ha<sup>-1</sup>); Diâmetro do Colmo - D. Colmo (mm) e Altura de Plantas – AP (m).

Atributos	Geoestatística							GDE%	
	Modelo	Co	Co+C1	A	R <sup>2</sup>	RSS	%		
							Classificação		
-----Pontos-----									
NDVI (20 DAS)	Exponencial	0,00001	0,01932	304,20	0,918	1,165. 10 <sup>05</sup>	95,13	MA	
NDVI (35 DAS)	Esférico	0,00009	0,00560	329,40	0,884	3,063. 10 <sup>06</sup>	98,39	MA	
NDVI (80 DAS)	-	-	-	-	-	-	-	EPP	
MS	Gaussiano	4,23000	28,45000	390,80	0,785	28,6	85,13	MA	
D. Colmo	Gaussiano	3,17000	11,34900	365,10	0,812	3,64	72,07	AL	
AP	-	-	-	-	-	-	-	EPP	
-----Pontos Adicionais-----									
NDVI (20 DAS)	Esférico	0,00001	0,01179	358,80	0,966	2,594. 10 <sup>-06</sup>	99,91	MA	
NDVI (35 DAS)	Gaussiano	0,00150	0,01602	610,90	0,800	3,082. 1 <sup>-06</sup>	90,63	MA	
NDVI (80 DAS)	Gaussiano	0,00053	0,00353	610,90	0,603	3,482. 10 <sup>-07</sup>	84,98	MA	
MS	Gaussiano	5,20000	31,3900	440,70	0,666	66,800	83,43	MA	
D. Colmo	Exponencial	2,01000	5,25500	610,90	0,405	2,96	61,71	AL	
AP	Exponencial	0,03130	0,07960	610,90	0,407	6,440. 10 <sup>-04</sup>	60,67	AL	

Co – efeito pepita; Co+ C1 – patamar; a – alcance (m); GDE = Co/ (Co+ C1) – grau de dependência (%). GDE – Grau de dependência espacial; Classificação: MB: Muito Baixo; BA: Baixo; ME: Médio; AL: Alto; MA: Muito Alto; EPP: Efeito Pepita Puro.

Após a confecção dos semivariogramas, foi elaborado os mapas de isolinhas para os atributos que apresentaram dependência espacial. Verifica-se por meio de uma correlação visual dos mapas elaborados com e sem pontos adicionais (FIGURA 1 e FIGURA 2), semelhanças nas distribuições das classes de manejo delimitadas na lavoura com mínima variabilidade.

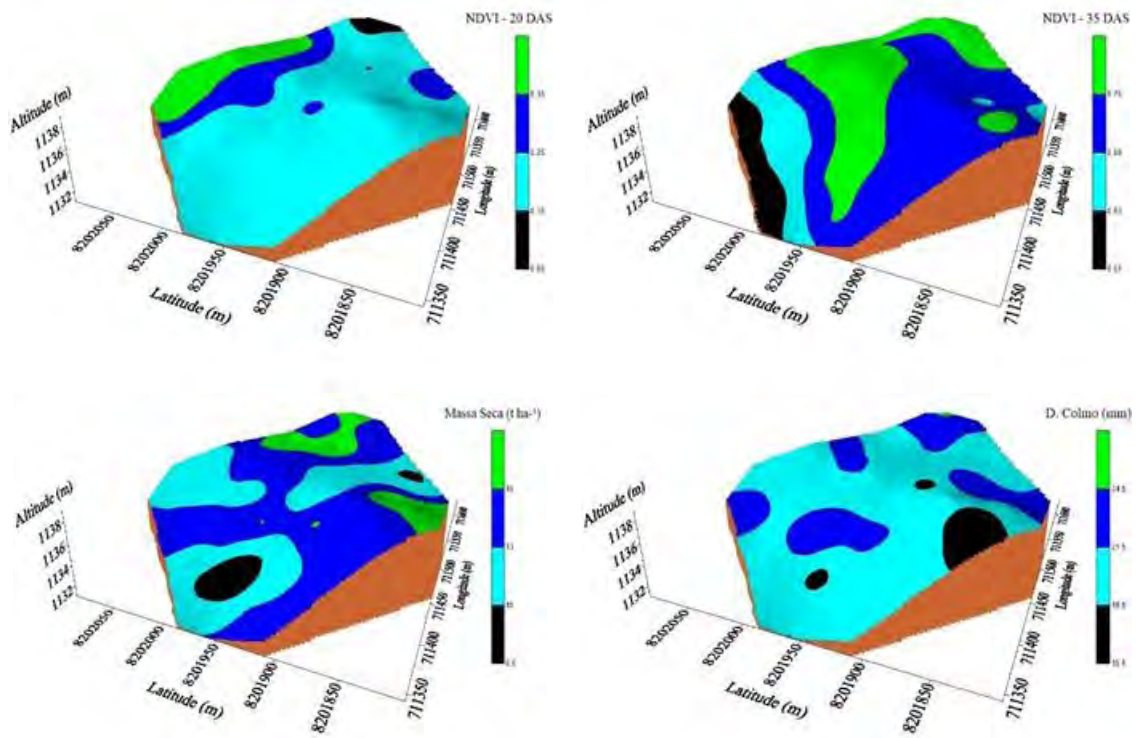
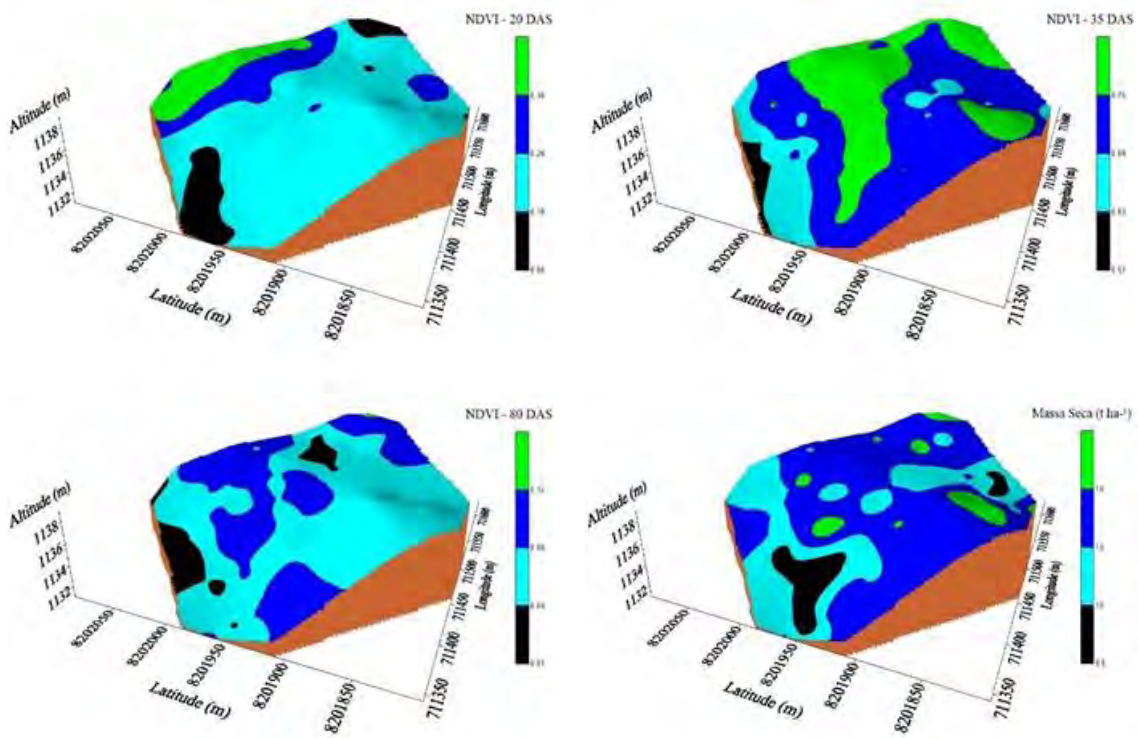


FIGURA 1. Mapas de variabilidade espacial sem pontos adicionais. A – NDVI (20 DAS); B – NDVI (35 DAS); C – Massa Seca (t ha<sup>-1</sup>); D – Diâmetro do Colmo (mm).



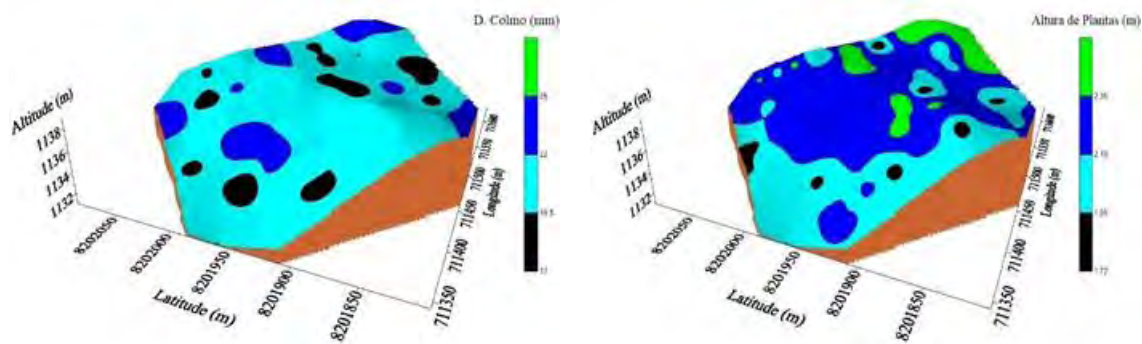


FIGURA 3. Mapas de variabilidade espacial com pontos adicionais. A – NDVI (20 DAS); B – NDVI (35 DAS); C – NDVI (80 DAS); D – Massa Seca ( $t\ ha^{-1}$ ); E – Diâmetro do Colmo (mm) e F – Altura de Plantas (m).

Na figura 3 verifica-se classes de manejo mais espacializadas em relação a figura 2 para NDVI (35 DAS), diâmetro de colmo e altura de plantas refletindo a menor dependência espacial encontrada com pontos adicionais, uma vez que apresentaram maior efeito pepita no semivariograma (semivariância na distância zero; variância não explicada), resultando em mapas mais suavizados. Todavia a apuração da dependência espacial dos atributos em diferente escala espacial (presença de pontos adicionais), fornece subsídio para estudos futuros com melhor planejamento para identificação de índices de vegetação na cultura do milho.

**CONCLUSÃO:** A grade amostral com pontos adicionais detectou a dependência espacial do NDVI ao longo de todo o ciclo da cultura.

A grade amostral com ausência de pontos adicionais não identificou dependência espacial do NDVI (80 DAS) e altura de plantas.

Mapas elaborados através da grade amostral sem a presença de pontos adicionais apresentaram melhor distribuição espacial das classes de manejo para massa seca e altura de plantas.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D. C. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A. JUNIOR, V. P. S.; SANTOS, S. M. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.22, n.1, p.38-44, 2018.

BERNARDI, A. C. DE C.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R. G. Variabilidade espacial de Parâmetros físico-químicas do Solo e biofísicos de superfície em cultivo sorgo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 6, p.623-630, 2014.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; AMADO, T.J.C.; SIMON, D.H. & DAMIAN, J.M. 2015. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 168-177, 2015.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n.2, p. 541-552, 2012.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer versão 9**. Tutorial. User's guide, 2010.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAILO, F. H. R. Mapeamento do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 112-118, 2012.

POVH, F.P. **Gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto**. 2011. 107p. Tese (Doutorado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

SHAPIRO, S. S. & WILK, M. B. An analyze of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, n.3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA JÚNIOR, M. C. DA; PINTO, F. DE A. DE C.; QUEIROZ, D. M. DE; VIEIRA, L. B.; RESENDE, R. C. DE. Using an aerial system of remote sensing to detect different nutritional status in *Brachiaria decumbens*. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p.1049-1062, 2013.

SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. **Precision Agriculture**, v.15, n. 5, p.543-554, 2014.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, A. L.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v.115, 2011.

## **DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM BANANAS PACOVAN COM USO DE ESPECTROSCOPIA DE REFLETÂNCIA VIS-NIR**

**IARA JEANICE SOUZA FERREIRA<sup>1</sup>, SARAH LEILA FRANÇA DE OLIVEIRA ALMEIDA<sup>2</sup>, DANIEL DOS SANTOS COSTA<sup>3</sup>, ACÁCIO FIGUEIREDO NETO<sup>4</sup>, BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, iarajejanice@hotmail.com

<sup>2</sup>Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>3</sup>Prof., Depto.de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>4</sup>Prof., Depto.de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>5</sup>Profa., Facul.de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A exigência por produtos agrícolas de alta aceitação comercial eleva a necessidade do uso de métodos de análise qualitativa que sejam rápidos, simples e robustos. Técnicas espectroscópicas não destrutivas surgem como alternativa para avaliação de distintas características internas de qualidade em produtos. Com isso, o principal objetivo deste trabalho foi analisar o parâmetro de qualidade firmeza em bananas Pacovan, com uso da técnica de espectroscopia de refletância VIS-NIR. O experimento avaliou 192 bananas expostas à temperatura de 20°C ao longo de vinte quatro dias. Os frutos foram submetidos a aquisição espectral entre comprimentos de onda de 450 a 1800 nm e a posterior análise de laboratório. Os métodos de regressão adotados na construção dos modelos de calibração e validação multivariada foram o PCR e o PLSR. Na etapa de pré-processamento, foi utilizada a suavização dos sinais por meio de derivadas de 1ª e 2ª ordem e a correção dos sinais, por meio da OSC (correção de sinal ortogonal), MSC (correção multiplicativa do sinal) e SNV (variação normal padrão). Os resultados dispõem como modelos de melhor desempenho para previsão da firmeza o PCR ( $R^2=0,83$ ) e o PLSR ( $R^2=0,92$ ). Os modelos construídos são capazes de descrever o parâmetro de estudo em bananas indicando o grande potencial do uso da espectroscopia de refletância VIS-NIR como técnica não destrutiva de análise de qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise não destrutiva. Fruticultura de precisão. Qualidade pós-colheita.

### **DETERMINATION OF FIRMNESS IN PACOVAN BANANAS WITH VIS-NIR REFLECTANCE SPECTROSCOPY**

**ABSTRACT:** The requirement for agricultural products of high commercial acceptance raises the need for qualitative analysis methods that are fast, simple and robust. Non-destructive spectroscopic techniques appear as an alternative to evaluate different internal characteristics of quality in products. Therewith, the main objective of this work was to analyze the parameter of firmness quality in Pacovan bananas, using the VIS-NIR reflectance spectroscopy technique. The experiment evaluated 192 bananas exposed at 20°C temperature for twenty four days. The fruits were submitted to spectral acquisition between wavelengths of 450 to 1800 nm and subsequent laboratory analysis. The regression methods adopted in the construction of multivariate calibration and validation models were PCR and PLSR. In the preprocessing stage it was used the smoothing of the signals by means of 1st and 2nd order derivatives and the correction of the signals, by means of the OSC (orthogonal signal correction), MSC (multiplicative signal correction) and SNV (standard normal variation). The results dispose as models of better performance for prediction of the firmness the PCR ( $R^2 = 0.83$ ) and the PLSR ( $R^2 = 0.92$ ). The constructed models are able to describe the parameter of study in bananas indicating the great potential of the use of the VIS-NIR reflectance spectroscopy as non-destructive technique of quality analysis.

**KEYWORDS:** Non-destructive analysis. Fruticulture of precision. Quality.



**INTRODUÇÃO:** A cultura da banana no Brasil rendeu em 2016 aproximadamente 14 bilhões de reais, relativos à produção de sete milhões de toneladas, tornando o país o quarto lugar no ranking mundial do setor e primeiro lugar em consumo (BRASIL, 2016). Diante da importância econômica nacional da fruta e do favorecimento a muitos municípios, sobretudo os do semiárido, que possui inúmeros projetos de irrigação, se faz necessário, cada vez mais, que os frutos cheguem à mesa dos consumidores com elevada qualidade. Para isto é requerido técnicas que avaliem características físico-químicas internas como sólidos solúveis, perda de massa, acidez titulável, firmeza, dentre outras, em tempo hábil e que proporcione subsídios na tomada de decisão. A firmeza é uma relevante propriedade física da polpa da fruta que caracteriza sua textura, julgada comercialmente por meio do toque sensorial de prateleira e monitorada no pós-colheita por métodos analíticos destrutivos, ou seja, aqueles que inutilizam o fruto após a análise, além de demandarem reagentes e materiais que apresentam quantidade limitada (ZUDE et al., 2006). Devido a isso, técnicas alternativas de avaliação, como a espectroscopia de refletância, que não ocasiona danos ao fruto, passa a ganhar relevância. Tal técnica trata dos comprimentos de ondas espectrais que os corpos absorvem, refletem ou transmitem, à medida que a luz emitida se divide em suas cores constituintes (CLARK, 1999) e pode ser utilizada como forma não destrutiva de análise para fornecer dados sobre as propriedades qualitativas (análise exploratória e reconhecimento de padrões) e quantitativas (calibração) de produtos. Os dados obtidos com uso da espectroscopia, exigem abordagem quimiométrica, que emprega tratamentos matemáticos por métodos de regressão, suavização e correção dos sinais, para análise de informações químicas (PARREIRA, 2003; RIBEIRO, 2012). Diante de tudo isto, o trabalho objetivou analisar de forma não destrutiva o parâmetro de qualidade firmeza em bananas da variedade Pacovan, com uso da técnica de espectroscopia de refletância VIS-NIR.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo experimental envolveu 192 bananas (*Musa spp.*) da variedade Pacovan, em estágio inicial de maturação, advindas do Mercado do Produtor de Juazeiro – BA (Latitude: 09° 24' 42" S e Longitude: 40° 29' 55" W), isentas de aplicação de substâncias, degrana e/ou limpeza e expostas à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 58%, em câmara incubadora BOD. As frutas ficaram acondicionadas na BOD por um período total de 24 dias, sendo que a cada três dias foram avaliadas 24 frutas, por meio de aquisição espectral, no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA) e por sucessivas análises destrutivas no Laboratório de Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPA), na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Os espectros foram mensurados por um espectroradiômetro FieldSpec 3 (*Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, USA*) que possui faixa espectral de 350 a 2500 nm, resolução de 8 nm, tempo de leitura em 100 ms, precisão de  $\pm 1$  nm, matriz de fotodiodos detectores de In/Ga/As e uma fonte de luz de 70 W de quartzo-tungstênio-halogênio (Figura 1). As medições espectrais foram registradas em dois diferentes lados da região central das amostras sob comprimentos de ondas situados entre 450-1800 nm.

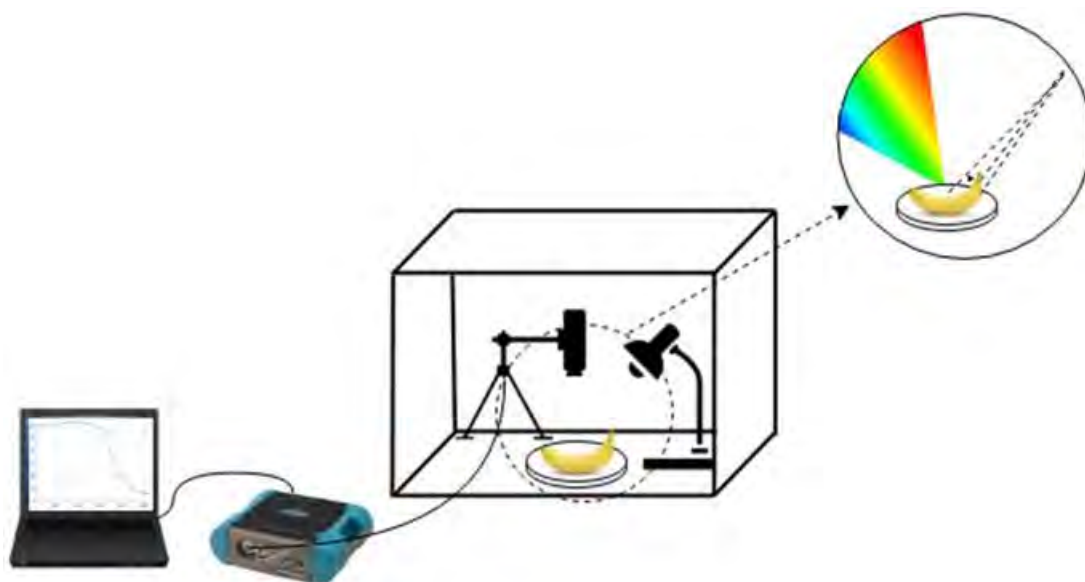


FIGURA 1. Delineamento do sistema de aquisição dos espectros VIS-NIR.

O software RS<sup>3</sup> Spectral™ (*Analytical Spectral Devices*, Boulder, Colorado, USA) foi utilizado para obtenção de todas as medições de refletância que posteriormente foram transformadas em valores de absorvância  $\log(1/R)$ , para viabilizar a correlação dos dados do espectro com o parâmetro de qualidade firmeza. A absorvância de cada amostra avaliada foi resultante da média entre os seus dois diferentes lados centrais. De forma destrutiva a firmeza foi medida com mensuração em Newtons (N), por um penetrômetro digital PTR-300 (*Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda*, São Paulo, Brasil) fazendo-se compressão na região central dos frutos. O conjunto de calibração da técnica compreendeu 144 amostras, em todos os estágios de maturação. O pré-processamento de tais dados foi realizado por suavização com o filtro da mediana (MF) e com o filtro da média móvel (MA) associados a tamanho de janelas 5, 9, 13, 17, 21 e 27 pontos. Sobre cada uma das janelas foram aplicadas a primeira e segunda derivada com polinômio de segunda ordem e janelas de 7 e 21 pontos, assim como, correção multiplicativa de sinal (MSC), variação normal padrão (SNV) e correção de sinal ortogonal (OSC) nos dados filtrados não submetidos às derivadas e correções MSC e SNV. A construção dos modelos de calibração e validação foi efetuada por *software* de estatística multivariada, que considera a absorvância como variável dependente e o parâmetro de qualidade como variável independente. Como métodos de regressão para construção dos modelos foram adotados o PCR (Regressão por Componentes Principais) e o PLSR (Regressão pelo Método de Quadrados Mínimos Parciais). As performances dos modelos de calibração e validação foram analisadas por diferentes parâmetros estatísticos (correlação, R<sup>2</sup>, RMSEC, SEC e *bias*). Os melhores modelos construídos são apresentados com o tipo de regressão (PCR ou PLSR) seguida da correção (MSC, SNV OU OSC) se houver, e pré-tratamentos denotados como (a, b, c, d), onde: o primeiro dígito é o número da derivada; o segundo é o número de janelas sobre a qual a derivada é calculada; o terceiro é o número de janela na suavização; e o quarto é o segundo alisamento (SHENK; WESTERHAUS, 1995).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Conforme mostra a Tabela 1, os modelos de mais alto desempenho gerados por ambas as regressões matemáticas, preveem o estado da firmeza do fruto com alta robustez, uma vez que os valores encontrados para o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) na calibração expressaram-se de forma bastante satisfatória tanto para o modelo PCR (2,7,17,1) MA (R<sup>2</sup>=0,83) quanto para o modelo PLSR (1,7,27,1) MA (R<sup>2</sup>=0,92), este último o qual, apresentou o melhor desempenho e o menor erro agregado na modelagem (RMSEC=5,80).

TABELA 1. Resultados estatísticos de calibração e validação para os modelos de melhor desempenho.

	Calibração			Validação Cruzada		
	PCR*	PLSR**	PLSR***	PCR*	PLSR**	PLSR***
Correlação	0,91	0,96	0,96	0,90	0,93	0,92
R <sup>2</sup> ( <i>Pearson</i> )	0,83	0,92	0,92	0,81	0,86	0,85
RMSE	8,44	5,80	5,77	9,06	7,93	8,16
SEC	8,47	5,82	5,79	9,09	7,96	8,18
<i>Bias</i>	0,00	0,00	0,00	0,12	0,19	0,28

\*Pré-processamento filtro da média móvel com janela de 17 pontos e a segunda derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 7 pontos. \*\*Pré-processamento filtro da média móvel com janela de 27 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 7 pontos. \*\*\* Pré-processamento sem suavização e correção.

Valores inferiores de R<sup>2</sup> para o mesmo parâmetro são explanados por alguns estudos (SUBEDI; WALSH, 2009; LIEW; LAU, 2012; HUANG; LU; CHEN, 2018; WANG et al., 2017) voltados para frutos como banana, tomate e pera. Desempenhos de maior significância na calibração são geralmente verificados em modelos PLSR pelo possível fato de tal regressão desconsiderar variáveis latentes que não sejam de interesse aos fins almejados, ou seja, aquelas de importância desprezível na descrição do parâmetro de qualidade em análise (GÓMEZ; HE; PEREIRA, 2006). É necessário destacar também, que no presente trabalho, o modelo PLSR pré-processado sem aplicação de suavização ou correções (Tabela 1), apresentou valor de R<sup>2</sup> (0,92) igual ao melhor modelo suavizado e corrigido (Tabela 1) (Figura 2B), sugerindo que para o parâmetro de qualidade estudado, apenas o uso da técnica sem nenhum artifício de atenuação de sinais espectrais foi suficiente para descrever significativamente a firmeza do fruto.

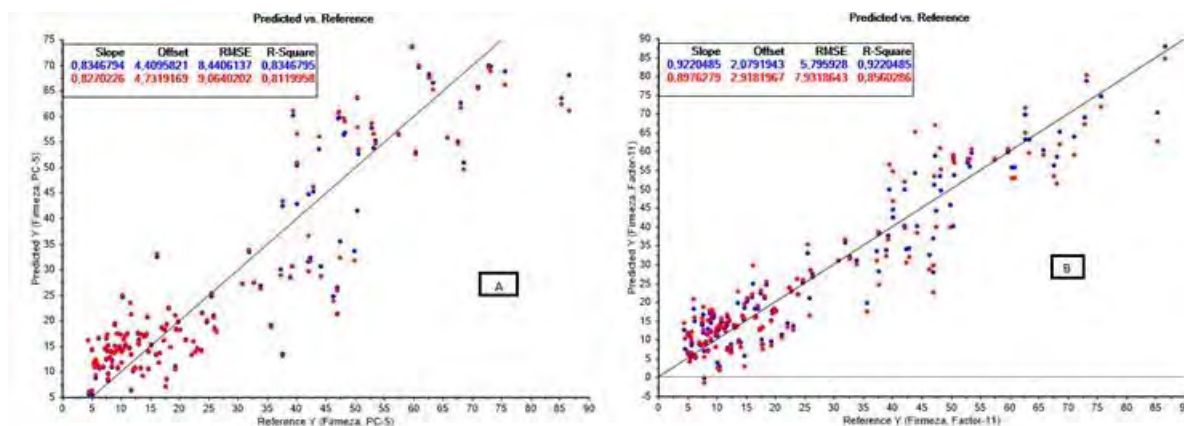


FIGURA 2. Predição da firmeza com: modelo e regressão PCR filtro da média móvel com janela de 17 pontos e a segunda derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 7 pontos (A); modelo de regressão PLSR filtro da média móvel com janela de 27 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 7 pontos (B).

**CONCLUSÃO:** Os modelos de regressão PCR e PLSR são capazes de descrever a firmeza de bananas avaliadas pela técnica de espectroscopia de refletância VIS-NIR. A calibração realizada pelo método PLSR mostra-se, no entanto, ser a mais ideal para relacionar o parâmetro com os espectros adquiridos, por apresentar valores de R2 com ótima precisão, além de baixo erro de modelagem. Sendo assim, é visto que há grande potencial no uso da espectroscopia de refletância VIS-NIR como técnica não destrutiva de análise do parâmetro em estudo.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2016.
- CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. **Manual of Remote Sensing**, v. 3, John Wiley and Sons, New York, 1999, p. 3–58.
- GÓMEZ, A. H.; HE, Y.; PEREIRA, A. G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p.313–319, 2006.
- HUANG, Y.; LU, R; CHEN, K. Prediction of firmness parameters of tomatoes by portable visible and near-infrared spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p.185-198, 2018.
- LIEW, C.Y; LAU, C.Y. Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. **International Food Research Journal**, v.2, n.19, p.751-758, 2012.
- PARREIRA, T. F. Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada. Campinas, 2003. 106p. **Dissertação – (Pós-Graduação em química) - Universidade Estadual de Campinas, 2003.**
- RIBEIRO, L. F. Uso de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada para previsão de ácidos graxos em linhaça dourada e marrom. Curitiba, 2012. 119p. **Dissertação – (Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, 2012.**
- SHENK, J. S.; WESTERHAUS, M. O. Routine operation, calibration, development and network system management manual, NIRSystems. MD, USA: **Silver Spring**. 1995.
- SUBEDI, P.P.; WALSH, K.B. Non-invasive techniques for measurement of fresh fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**, v.51, p.297–304, 2009.
- ZUDE, M. et al. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 254–260, 2006.
- WANG, J. et al. Development of multi-cultivar models for predicting the soluble solid content and firmness of European pear (*Pyrus communis* L.) using portable vis-NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 129, p.143-151, 2017.

## **DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO AGRÍCOLA DA CULTURA DO MILHO**

**DANIEL ALTHOFF<sup>1</sup>, HELIZANI COUTO BAZAME<sup>2</sup>, ROBERTO FILGUEIRAS<sup>3</sup>, FRANCISCO CÁSSIO GOMES ALVINO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Estudante de Pós-graduação, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31)88749022, daniel\_althoff@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Pesquisadora, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Estudante de Pós-graduação, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Estudante de Pós-graduação, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi detectar a evolução e a variabilidade espaço temporal da cobertura do solo pela cultura do milho por meio de índices de vegetação. O estudo foi realizado em um pivô central de 258 ha, localizado no município de São Desidério – BA. Para facilitar a interpretação dos dados, os índices foram agrupados em três tipos: os índices que empregam as reflectâncias do visível e infravermelho na análise da cobertura vegetal (Tipo 1); índices que empregam apenas a reflectância do visível na análise da cobertura vegetal (Tipo 2); e, índices que se relacionam com a clorofila (Tipo 3). Os índices avaliados apresentaram comportamentos comuns na identificação da evolução e variabilidade espaço-temporal da cultura do milho, embora cada índice tenha apresentado suas peculiaridades. Dentre os índices de vegetação, o índice GNDVI apresentou a maior sensibilidade na fase de germinação da cultura. Durante a fase de desenvolvimento e reprodutiva, o SR apresentou a maior sensibilidade à elevada biomassa, uma vez que não se satura na fase em que a cultura apresenta cobertura total do solo. Na fase de senescência da cultura, os índices que utilizam o infravermelho apresentaram maior sensibilidade na identificação da cultura. Entre os índices que se correlacionam com a clorofila, o TGI apresentou-se insensível ao índice de área foliar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; sentinel-2; variabilidade espaço-temporal

### **DIFFERENT VEGETATION RATES IN AGRICULTURAL MONITORING**

**ABSTRACT:** The objective of the present work was to detect the temporal evolution of soil cover by maize crop through vegetation indexes. The study was conducted in a central pivot of 258 ha, located in the municipality of São Desidério - BA. In order to facilitate the interpretation of the data, the indices were grouped into three types: the indices that use the visible and infrared reflectances in the vegetation cover analysis (Type 1); indices that only use the reflectance of the visible one in the analysis of the vegetal cover (Type 2); and, indices that relate to chlorophyll (Type 3). The evaluated indices presented similar behaviors in the identification of the evolution and space-time variability of the maize crop, although each index presented its own peculiarities. Among the vegetation indexes, the GNDVI index presented the highest sensitivity in the germination phase of the crop. During the developmental and reproductive phase, SR showed the highest sensitivity to high biomass, since it does not become saturated at the stage where the crop has total soil cover. In the senescence phase of the culture, the indices that use the infrared presented greater sensitivity in the identification of the culture. Among the indexes that correlate with chlorophyll, TGI was insensitive to leaf area index.

**KEYWORDS:** Remote sensing; sentinel-2; spatial-temporal variability

**INTRODUÇÃO:** O monitoramento da dinâmica espaço temporal da vegetação natural ou de cultivos agrícolas, por meio de imagens de satélite, vem crescendo ao longo dos anos. Isto se justifica porque as imagens, além de permitirem acompanhar o padrão de resposta da vegetação, são fontes consistentes de informações sobre a variabilidade espacial, em escala regional e até continental (CORDEIRO et al., 2017).

Uma das fontes de informação para a agricultura de precisão constitui-se em dados adquiridos por meio do sensoriamento remoto, que consiste em obter dados espectrais relacionados às características agrônômicas das culturas e que definem a sua variabilidade espacial (ABRAÃO et al., 2009). Esses dados espectrais podem ser transformados em índices de vegetação, que auxiliam na avaliação dos recursos naturais e no monitoramento da cobertura vegetal (ZANZARINI et al., 2013). Os índices de vegetação foram criados para monitorar e quantificar condições e distribuições espaciais das vegetações, utilizando modelos matemáticos desenvolvidos a partir da resposta espectral ao longo dos comprimentos de onda ou bandas espectrais (AHAMED et al., 2011). Esses índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, como índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (PONZONI, 2001). O objetivo do presente trabalho foi detectar a evolução e variabilidade espaço-temporal da condição e vigor da cultura do milho por meio de diferentes índices de vegetação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em uma área de pivô central com 258 ha, localizado no município de São Desidério – BA. O centro da área é localizado a 12°27'21" de latitude sul, 45°44'44" de longitude oeste e 756 m de altitude, Datum WGS-84 (Figura 1).

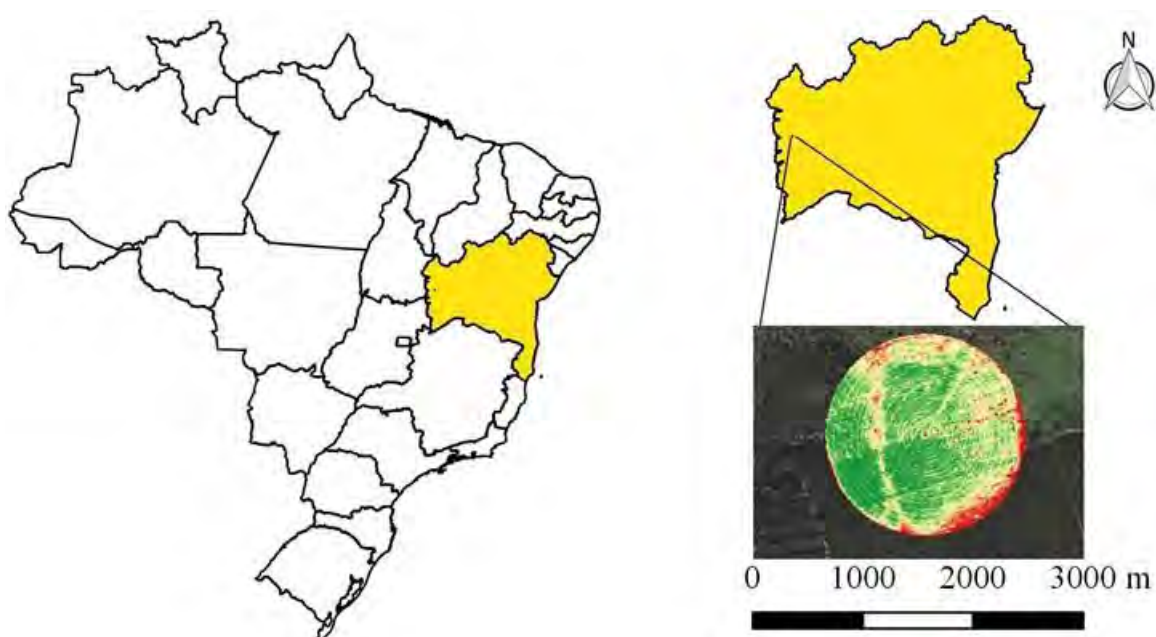


FIGURA 1. Área de estudo em relação ao estado da Bahia, Brasil.

A cultura do milho foi semeada durante a semana de 8 a 12 de maio e cultivado durante a segunda safra de 2017, período durante o qual foram obtidas as imagens dos satélites da missão Sentinel-2 da Agência Espacial Europeia (ESA). Obteve-se imagens referentes a 10 dias (período anterior ao plantio até a colheita). As imagens apresentaram-se livres de nuvens em apenas 6 dias, que foram utilizadas para que se pudesse prosseguir com a obtenção dos índices de vegetação. No período de aquisição de imagens, o milho se encontrava nas fases de germinação (15/05/2017), fase final do desenvolvimento (14/07/2017), fase reprodutiva (29/07 e 03/08/2017), fase senescente (18/08/2017) e colheita (07/09/2017). Os índices utilizados para avaliar a evolução e variabilidade espaço-temporal da cultura do milho estão descritos na Tabela 2. Para facilitar a interpretação dos dados, os índices foram agrupados em três tipos: índices que empregam as reflectâncias do visível e infravermelho próximo na análise da cobertura vegetal (Tipo 1: SR, NDVI, EVI e GNDVI); índices que empregam apenas a reflectância do visível na análise da cobertura vegetal (Tipo 2: VARI e GLI); e, índices que são indicados na literatura (HUNT et al., 2011; GITELSON; GRITZ; MERZLYAK, 2003) como de alta correlação com a clorofila (Tipo 3: TGI e CI-G). Embora apenas dois índices foram agrupados no Tipo 3, índices como o NDVI também podem se relacionar com a clorofila.

TABELA 2. Índices vegetativos relacionados à cobertura de vegetação e conteúdo de clorofila.

Nome	Abrev.	Equação*	Referências
Simple Ratio Normalized	SR <sup>1</sup>	$R_n/R_r$	(JORDAN, 1969)
difference vegetation index	NDVI <sup>1</sup>	$(R_n - R_r)/(R_n + R_r)$	(ROUSE et al., 1974)
Enhanced vegetation index	EVI <sup>1</sup>	$2.5(R_n - R_r)/(R_n + 6 R_r - 7.5 R_b + 1)$	(HUETE et al., 2002)
Green normalized vegetation index	GNDVI <sup>1</sup>	$(R_n - R_g)/(R_n + R_g)$	(GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK, 1996)
Visible atmospheric resistant index	VARI <sup>2</sup>	$(R_g - R_r)/(R_g + R_r - R_b)$	(GITELSON et al., 2002)
Green leaf index	GLI <sup>2</sup>	$2(R_g - R_r - R_b)/2(R_g + R_r + R_b)$	(LOUHAICHI; BORMAN; JOHNSON, 2001)
Triangular greenness index	TGI <sup>3</sup>	$-0.5[(\lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$	(HUNT et al., 2011)
Chlorophyll index - green	CI-G <sup>3</sup>	$R_n/R_g - 1$	(GITELSON; GRITZ; MERZLYAK, 2003)

\* $\lambda_r$ ,  $\lambda_g$  e  $\lambda_b$  são os comprimentos de onda das bandas do vermelho, verde e azul, respectivamente;  $R_n$ ,  $R_r$ ,  $R_g$ , e  $R_b$  são as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo, vermelho, verde e azul, respectivamente.

<sup>1,2 e 3</sup> denotam os agrupamentos de Tipos aos quais os índices pertencem.

Os mapas foram processados utilizando-se o software R, aonde foram gerados boxplots de cada índice em cada data com o objetivo de observar a variabilidade e amplitude dos índices gerados, além da presença de outliers.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Ao observarem-se os boxplots dos índices NDVI e GNDVI (Figura 2a-b), nota-se que os mesmos se saturam durante a fase reprodutiva, onde a cultura apresenta maior volume de biomassa, apresentando baixa variabilidade entre os valores máximos. O GNDVI, por utilizar a banda do verde, é mais sensível à clorofila do que o NDVI (GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK, 1996), contudo é menos sensível à senescência da cultura. Ao final do ciclo da cultura a reflectância do verde juntamente com o infravermelho próximo apresenta queda, enquanto o vermelho aumenta, o que resulta em menor contraste entre a fase de desenvolvimento e senescência para o GNDVI em relação ao NDVI. Contudo, o GNDVI é o índice de maior sensibilidade na fase inicial da cultura, uma vez que adota a reflectância do verde, eliminando o forte efeito do solo na banda do vermelho. O EVI foi proposto como um NDVI modificado, apresentando maior poder de monitoramento (LIU; HUETE, 1995). Esse índice apresenta maior sensibilidade à biomassa e sofre menor interferência do solo e influências atmosféricas (LIU; HUETE, 1995). Os valores máximos do EVI apresentaram maior variabilidade que o NDVI, o que indica uma resistência maior a saturação, como pode ser observado nos boxplots (Figura 2c). Embora o EVI apresente as vantagens acima citadas em relação ao NDVI, é um índice que sofre grande influência dos efeitos topográficos. Isso se deve ao fato que a constante presente em seu denominador não acompanha as alterações da radiação proveniente da mudança de orientação horizontal para uma superfície inclinada (MATSUSHITA et al., 2007), contudo, uma vez que o oeste da Bahia apresenta, em geral, topografia plana, o índice pode ser recomendado para a região. O NDVI, em contrapartida, pode eliminar ou pelo menos enfraquecer esses efeitos em casos de condições topográficas diversas. O SR, por sua vez, apresenta altíssima sensibilidade à elevada biomassa, sendo excelente na identificação de pequenas alterações no volume de biomassa da lavoura e em regiões com alta densidade de vegetação (KROSS et al., 2015). Na fase reprodutiva da cultura, onde o milho apresenta cobertura completa do solo, o índice apresentou grande amplitude nos valores observados, diferentemente dos índices que se saturam nesta fase. Contudo, essa alta sensibilidade do índice pode resultar na presença de ruídos na imagem. Os índices Tipo 2 foram derivados com a intenção de obter respostas da vegetação a partir de uma câmera RGB comum. Esses índices apresentam grande desvantagem em relação aos índices Tipo 1, que se deve ao fato de serem independentes do infravermelho próximo, faixa de comprimento de onda que apresenta alta responsividade para vegetação (JENSEN, 2009). Os índices VARI e GLI apresentaram um bom contraste ao longo do desenvolvimento da cultura (Figura 3), contudo esses apresentaram-se deficientes na detecção da cultura senescida, que ainda aguarda a colheita (07 de setembro), na região noroeste do pivô central, ou seja, quando ocorre a senescência

da cultura, a presença da banda do infravermelho próximo é fundamental para a identificação da cobertura vegetal.

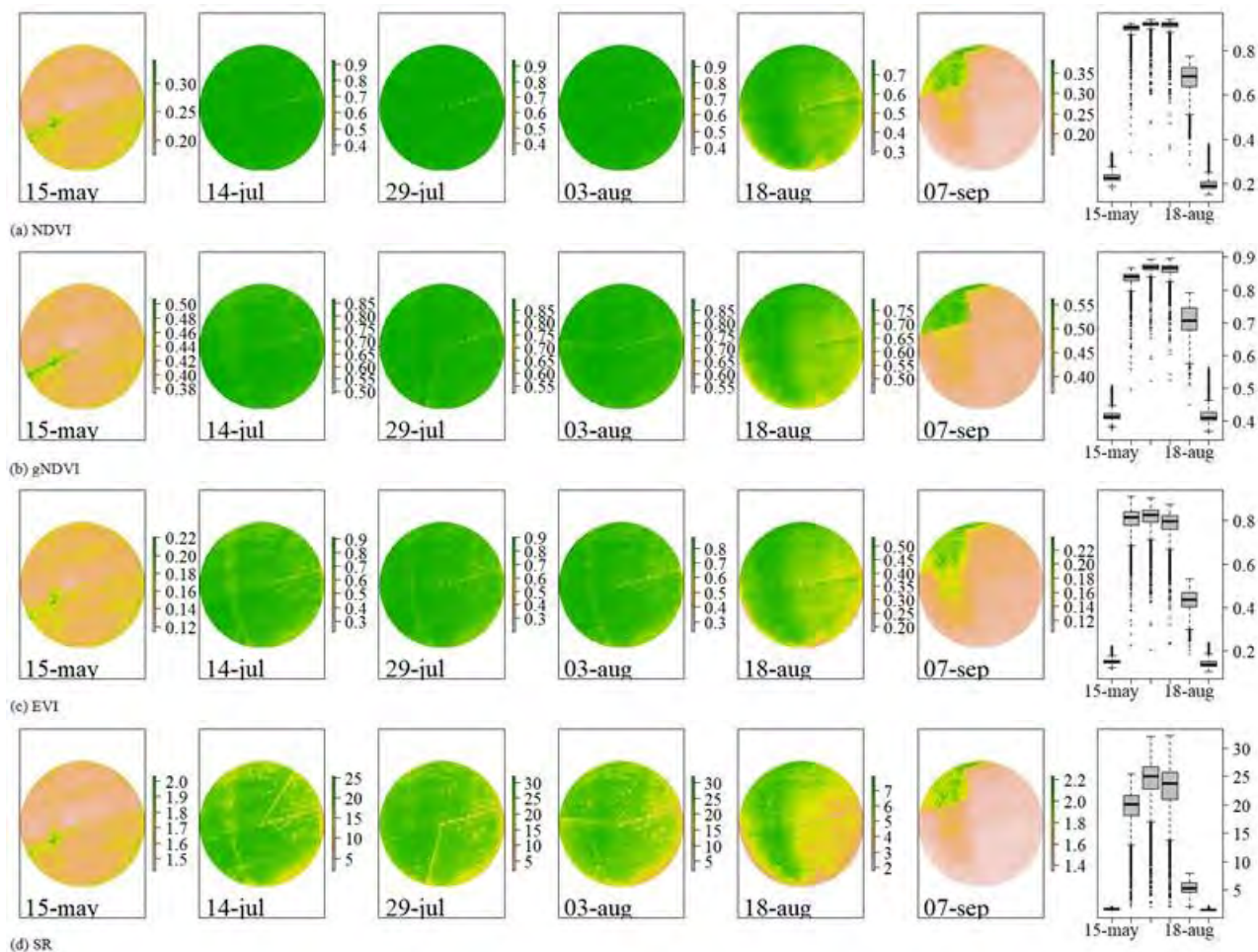


FIGURA 2. Evolução espaço-temporal dos índices Tipo 1: (a) NDVI, (b) GNDVI, (c) EVI e (d) SR.

Os índices conseguiram detectar a presença de plantas daninhas após a colheita, como pode ser observado no dia 07 de setembro (Figura 3), embora o seu valor ainda seja negativo, o que pode ser proveniente à alta reflectância na banda do vermelho, referente as plantas “amareladas” e com baixo vigor devido à competição com o milho.

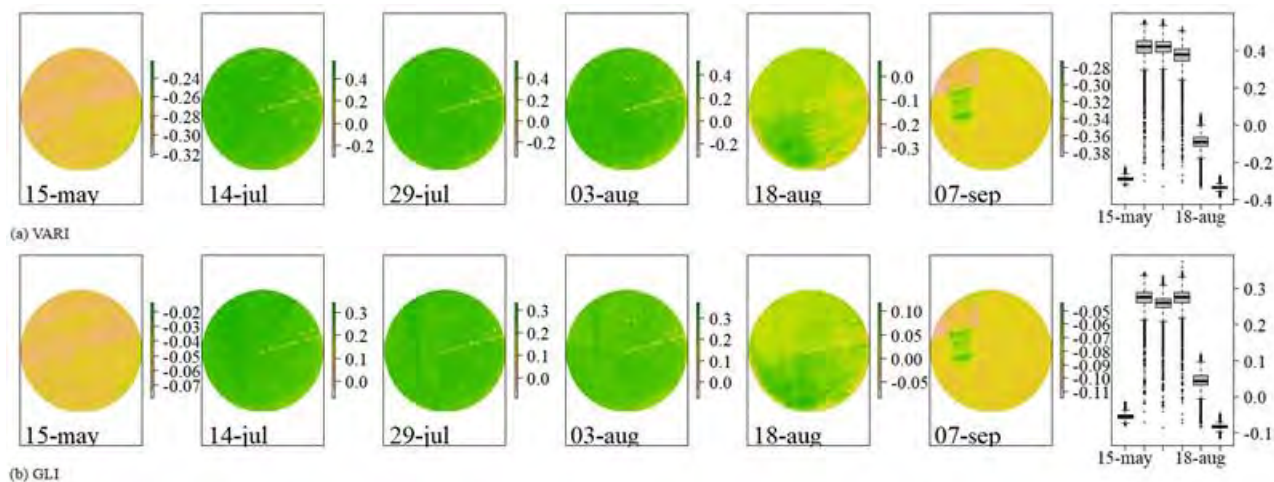


FIGURA 3. Evolução espaço-temporal dos índices Tipo 2: (a) VARI e (b) GLI.

Dentre os índices do Tipo 3, o índice CI-G é útil na identificação de índice de área foliar verde e conteúdo de clorofila (VIÑA et al., 2011), baseando-se nas bandas do verde e infravermelho próximo. O TGI, por outro lado, não utiliza a banda do infravermelho próximo, mas também foi sugerido para identificação de clorofila das plantas. Uma vez que a clorofila pode ser utilizada como um indicativo da necessidade de adubação nitrogenada da cultura, esses índices são fundamentais para o monitoramento agrícola. Diferente do CI-G, o TGI apresenta valores menores, quanto maiores as concentrações de clorofila (Figura 4). Durante a fase de desenvolvimento da cultura, os dois índices apresentaram padrões espaciais similares, contudo, a grande diferença de eficácia dos índices pode ser observada apenas na última imagem (7 de setembro, Figura 4). Essa diferença pode ser explicada pelo fato do CI-G identificar apenas a parte da vegetação que ainda não foi colhida, onde a biomassa é superior, enquanto o TGI identifica também a rebrota de vegetação pós-colheita.

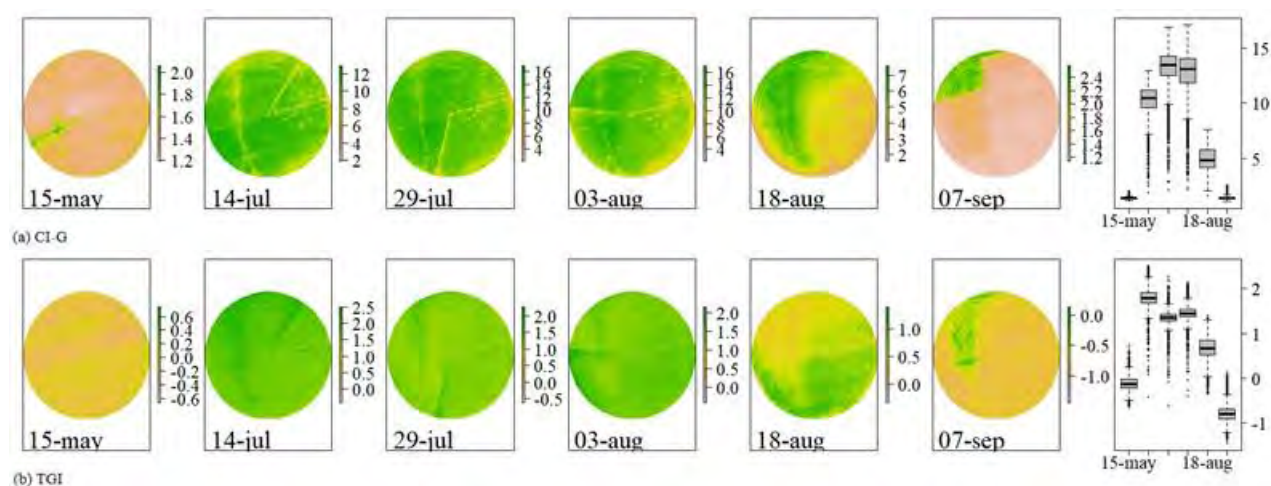


FIGURA 4. Evolução espaço-temporal dos índices Tipo 2: (a) CI-G e (b) TGI.

O fato do CI-G ser dependente do infravermelho próximo, fez com que o índice identificasse com mais facilidade áreas com elevada biomassa, enquanto o TGI foi insensível à biomassa, uma vez que indicou a maior concentração de clorofila na fase de desenvolvimento do milho (14/07), onde a cultura ainda não apresenta cobertura completa do solo. Ressalta-se que o uso do TGI deve ser cauteloso, uma vez que regiões de solo exposto apresentam valores baixos ou negativos, que não devem ser confundidos com uma alta concentração de clorofila.

**CONCLUSÃO:** Os índices avaliados apresentaram comportamentos comuns na identificação da evolução e variabilidade espaço-temporal da cultura do milho, embora cada índice tenha apresentado suas peculiaridades. Dentre os índices de vegetação, o índice GNDVI apresentou a maior sensibilidade na fase de germinação da cultura. Durante a fase de desenvolvimento e reprodutiva, o SR apresentou a maior sensibilidade à elevada biomassa, uma vez que não se satura na fase em que a cultura apresenta cobertura total do solo. Na fase de senescência da cultura, os índices que utilizam o infravermelho apresentaram maior sensibilidade na identificação da cultura. Entre os índices que se correlacionam com a clorofila, o TGI apresentou-se insensível ao índice de área foliar. O uso de câmeras RGB, tendência para drones, trás também a possibilidade do monitoramento através dos índices que independem do infravermelho próximo (VARI e GLI), embora os mesmos tenham apresentado desempenho ruim na detecção da vegetação em fase senescente.

**AGRADECIMENTOS:** A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso. A CAPES pela concessão da bolsa de estudos e a equipe da AgriSensing, pelo auxílio no processamento das imagens.

## REFERÊNCIAS:

ABRAHÃO, S. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; GLERIANI, J. M.; ALVES, E. A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1637-1644, 2009.



- AHAMED, T.; TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p.2455-2469, 2011.
- CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W.; SHIMABUKURO, Y. E.; FIOR, C. S. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p.883-896, 2017.
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002.
- GITELSON, A. A.; GRITZ, Y.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 3, p. 271–282, 2003.
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 289–298, 1996.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring. v. 83, n. 1, p. 195–213, 2002.
- HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T.; EITEL, J. U. H.; LONG, D. S. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy journal*, v. 103, n. 4, p. 1090–1099, 2011.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. [s.l.] Parêntese Editora, 2009.
- JORDAN, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663–666, 1969.
- KROSS, A; MCNAIRN, H.; LAPEN, D.R.; SUNOHARA, M.; CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 235–248, 2015.
- LIU, H. Q.; HUETE, A. R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 457–465, 1995.
- LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001.
- MATSUSHITA, B.; YANG, W.; CHEN, J.; ONDA, Y.; QIU, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. **Sensors**, v. 7, n. 11, p. 2636–2651, 2007.
- PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) **Sensoriamento remoto - reflectância dos alvos naturais**. 1ªed. UnB/Embrapa. 2001. p.157-202.
- ROUSE, J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1974.
- VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, A. L.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3468–3478, 2011.
- ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.

## **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEOR DE ENXOFRE EM ÁREA CULTIVADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**OTHON LAUAR GODINHO<sup>1</sup>, KARINA MARIE KAMIMURA<sup>2</sup>, CASSIANO GARCIA ROQUE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Eng. Florestal, Mestrando em Produção Vegetal pela UFMS e Graduando em Agronomia pela UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 981732289, othonforester@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Depto. de solos, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O objetivo foi analisar a variabilidade espacial do teor de enxofre no solo na cultura de cana-de-açúcar e identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a produtividade da cultura, minimizando os custos. O experimento foi conduzido no ano de 2011, na Fazenda Santa Luzia no município de Aporé-GO, Brasil, pertencente à Usina Cerradinho, a coleta de dados da área foi em uma malha regular, sendo o grid de coletas de 5 hectares, em uma distância média entre os pontos de amostragem de 224 m, numa área de 1560,66 ha, possuindo em toda a extensão da área estudada, 336 pontos de amostragem. As amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0-0,25 m e 0,25-0,50 m, sendo os locais georreferenciados. Para a análise estatística descritiva, foi realizada um estudo exploratório de dados, com o programa estatístico Sisvar e para a realização da análise Geoestatística, foi utilizado o programa computacional GS + Versão 7. Em grande parte da área o teor de S apresentou-se abaixo do teor adequado para o solo. A krigagem se mostrou ferramenta importante para a tomada de decisão, uma vez que ela apresenta a variabilidade espacial dos dados ao longo da área. O modelo esférico foi o modelo que mais se ajustou aos dados obtidos e o S apresentou dependência espacial forte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, manejo do solo, qualidade do solo

## **VARIABLE RATE NITROGEN APPLICATION IN CORN**

**ABSTRACT:** The experiment was carried out in 2011, at Fazenda Santa Luzia in the municipality of Aporé-GO, Brazil, belonging to Usina Cerradinho. The data collection of the area was in a regular mesh, with a collection grid of 5 hectares in a Average distance between the sampling points of 224 m, in an area of 1560.66 ha, possessing in all the extension of the studied area, 336 sampling points. In order to analyze the spatial variability of soil sulfur content in the sugarcane and to identify the strategies to be adopted to increase crop productivity, minimizing costs. Soil samples were collected in the 0- 0.25 m and 0.25-0.50 m, the sites being georeferenced. For the descriptive statistical analysis, an exploratory data study was carried out using the Sisvar statistical program and for the Geostatistical analysis, the GS + Version 7 computational program was used. In most of the area, the S content was presented below Adequate soil content. Kriging has proved to be an important tool for decision making since it presents the spatial variability of data throughout the area. The spherical model was the model that best fit the data obtained and the S presented strong spatial dependence.

**KEYWORDS:** Geostatistics, soil management, soil quality

**INTRODUÇÃO:** A utilização de agricultura de precisão, em manejo localizado para fertilidade do solo, vem sendo extensivamente utilizado. As dosagens de insumos são aplicadas de forma variável, visando atender às necessidades de cada local, reduzindo os impactos ambientais e otimizando o processo de produção. Para tanto, é indispensável a caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo por meio de amostragem capaz de representar tais variações (Bottega et al., 2013). A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos de solo é uma ferramenta vantajosa para o manejo em áreas agrícolas. A geoestatística pode proporcionar meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos da área estudada por meio da krigagem uma vez que o modelo da dependência espacial seja conhecido por meio do semivariograma (Dalchiavon et al., 2012). O enxofre (S) é um dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas, animais e participam de numerosos compostos, como aminoácidos e proteínas, enzimas, coenzimas e compostos secundários. Está ligado aos processos da fotossíntese, respiração, síntese de gorduras e proteínas, fixação não fotossintética (Embrapa, 2014). Em relação há deficiência deste macronutriente secundário, a síntese de proteína é inibida porque o S é participante de dois aminoácidos essenciais (cistina e a metionina), como consequência as plantas apresentam menor teor de clorofila e raízes menos desenvolvidas (Soares et al., 2017). Tendo em vista que para o estabelecimento de práticas sustentáveis de manejo do solo é necessário o conhecimento dos padrões de distribuição dos atributos químicos do solo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do teor de enxofre no solo na cultura de cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi desenvolvido durante o ano agrícola 2011, o estudo foi realizado na Fazenda Santa Luzia no município de Aporé-GO, pertencente à Usina Cerradinho, o solo predominante da região é o Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006). A coleta de dados da área foi numa área de 1560,66 ha em uma malha regular, a distância média entre os pontos de amostragem de 224 m. As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,00-0,25 m e 0,25-0,50 m, sendo os locais georreferenciados. O número de pontos amostrados foi de 336 pontos, cedidos pela CERRADINHO BIO. A determinação do teor de enxofre nas amostras foi determinada segundo os parâmetros descritos por Rajj et al. (2001). A análise estatística descritiva clássica foi realizada no Sisvar (Ferreira, 2000), o coeficiente de variação (CV) foi utilizado a classificação de Warrick e Nielsen (1980), a análise da assimetria e curtose foi utilizada a classificação apresentada por Ferreira (2000). Após as análises da dependência espacial dos atributos químicos do solo foram realizadas pelo uso do Gamma Design Software GS+ (2004). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a Equação 1 (GS+, 2004):

$$ADE = [C / (C + Co)] \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

ADE é o avaliador da dependência espacial; C, a variância estrutural; e C+Co, o patamar.

A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a)  $ADE < 25\%$  = variável espacial de baixa dependência; b)  $25\% \leq ADE < 75\%$  = moderada dependência e c)  $75\% \leq ADE < 100\%$  = forte dependência (DALCHIAVON et al., 2012).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise com as estatísticas descritivas clássicas apresentadas na tabela 1 e a sua discussão a seguir, se prestam apenas para comparar, se desejado, com as características de outras massas de dados, não constituindo objeto de subsídios às inferências estatísticas que levam em consideração a dependência espacial. A análise fornecida pelos semivariogramas é mais adequada para subsidiar inferências sobre a estrutura dessa dependência (Kamimura et al., 2013).

TABELA 1: Análise descritiva dos dados do teor de enxofre (S) na camada de 0-0,25 m e 0,25-0,50 m.

Parâmetro estatístico	Enxofre (S)	
	Camada (m)	
	0,0-0,25 (m)	0,25-0,50 (m)
<b>N</b>	336,00	336,00
<b>Média (m)</b>	4,44	4,26
<b>Mediana (m)</b>	4,00	4,00
<b>Moda (m)</b>	4,00	4,06
<b>Variância</b>	3,47	3,52
<b>Desvio Padrão</b>	1,86	1,88
<b>CV (%)</b>	41,97	44,02
<b>Assimetria</b>	1,08	0,90
<b>Curtose Gama</b>	1,26	5,93
<b>Mínimo (m)</b>	0,00	0,00
<b>Máximo (m)</b>	11,00	10,00
<b>Amplitude (W)</b>	4,83	5,33
<b>S.W.</b>	0,90	0,91

n: tamanho da amostra; Desv.: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; e S.W: valor de probabilidade de Shapiro-Wilk. Estimador gama tanto para coef. de assimetria quanto para coef. de curtose.

Neste estudo, verificou-se que tanto nas camadas 0,0-0,25 m e 0,25-0,50 m o coeficiente de variação apresentou valor médio ( $12\% < CV < 62\%$ ) de acordo com os parâmetros de Warrick e Nielsen (1980). A interpretação da análise de enxofre nos solos de Cerrado, segundo Sousa & Lobato et al. (2004) é considerada baixa quando a disponibilidade é menor ou igual a  $4,0 \text{ mg/dm}^3$ , disponibilidade média quando os valores estão entre  $5,0$  e  $9,0 \text{ mg.dm}^{-3}$  e disponibilidade alta quando for igual ou maior  $10 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Nas duas camadas a assimetria foi enquadrada como assimétrica a direita (assimétrica positiva). Segundo Cambardella et al. (1994), a variabilidade dos atributos químicos do solo pode ser de origem intrínseca ou extrínseca. A variabilidade intrínseca possui forte dependência espacial, causada por fatores de formação naturais no solo, notadamente aquelas de origem pedogenética, como material de origem, intemperismo de minerais, acúmulo de matéria orgânica e outros. A variabilidade extrínseca possui menor dependência espacial, sendo causada por alterações do manejo do solo, como práticas culturais, espécie vegetal explorada, erosão, compactação etc.

Neste estudo, observou-se que as camadas de 0,0-0,25 m apresentaram distribuição platicúrtica, porque apresentou a curtose menor que 3. Já na camada 0,25-0,50 m apresentaram exibiram distribuição leptocúrtica, porque apresentou a curtose maior que 3, significando relativamente fácil obter valores que não se aproximam da média a vários múltiplos do desvio padrão. O Enxofre apresentou, em todas as camadas analisadas, o valor de probabilidade de Shapiro-Wilk não significativo. O desvio-padrão, o CV, a amplitude, o mínimo e o máximo fornecem a ideia da magnitude de variabilidade dos atributos físicos dos solos; porém, nada informa sobre a estrutura de dependência espacial desses atributos, o que só é possível por meio da geoestatística, em especial do semivariograma (Souza, 2001). Observou-se uma dependência espacial do teor de S na área de estudo, demonstrada por meio do ajuste ao modelo de semivariograma (Tabela 2). O modelo esférico, foi o modelo que mais se ajustou ao semivariograma do Enxofre.

Após os cálculos das semivariâncias, foi ajustado o modelo teórico do tipo esférico pelo método de quadrados mínimos ponderados. Após a escolha do modelo do semivariograma, foram realizadas interpolações usando o método da krigagem por meio do software GS+, para prever e mapear os valores dos atributos em estudo. O modelo ajustado para as duas profundidades de semivariograma utilizado foi o modelo esférico, o mesmo encontrado por Cherubin et al. (2014) para o enxofre, cita o modelo esférico como um modelo matemático de uso frequente em geoestatística, esse modelo se ajustou para o atributo S que por ele também foi estudado. O S apresentou alcance de 440 m para a camada 0,00-0,25 m e apresentou alcance de 365 m para a camada 0,25-0,50 m, o que representa a máxima distância onde os pontos amostrais apresentam correlação entre si, em distâncias superiores ao alcance apresentam valores independentes entre si (Machado et al., 2007), na qual os valores encontrados o enxofre foram 269 m.

TABELA 2: Parâmetros e modelos estimados do semivariograma para S.

Parâmetro	0,0-0,25	0,25-0,50
Modelo	Esférico	
$C_o$	0,001	0,06
$C_o + C$	2,87	3,37
A	440	365
GD (%)	0,03%	1,78%
$R^2$	0,916	0,929

$C_o$  – efeito pepita puro;  $C_o + C$  – patamar; A – alcance; GD – razão de dependência espacial;  $R^2$  - coeficiente de determinação.

Na Figura 1, observa-se a distribuição do teor de S ao longo da área de 0-0,25m, que é mostrada em 3 amplitudes de classes que representam a concentração da variável na área. A tonalidade branca se refere à classe com a amplitude de 0 a 2,28 mg.dm<sup>-3</sup> e 2,28 a 4,57 mg.dm<sup>-3</sup>, com disponibilidade de S baixa e o preto refere-se a amplitude de 4,57 a 11 mg.dm<sup>-3</sup>, apresenta disponibilidade de S média. Na Figura 2, observa-se a distribuição do teor de S ao longo da área de 0,25-0,5m, que é mostrada em 3 amplitudes de classes que representam a concentração da variável na área. A tonalidade branca se refere a classe com a amplitude de 0 a 4,3 mg.dm<sup>-3</sup> e 4,3 a 7,1 mg.dm<sup>-3</sup>, com disponibilidade de S baixa e o preto refere-se a amplitude de 7,1 a 10,0 mg.dm<sup>-3</sup>, apresenta disponibilidade de S média. Para a análise da relação  $C_o/(C_o+C)$  que mede o grau de dependência espacial das variáveis do solo, a variável foi considerada fortemente dependente por apresentar a relação  $\leq 25\%$ . De acordo com a interpretação da análise de S nos solos de Cerrado (Sousa & Lobato et al., 2004), observa-se que os valores do teor de enxofre encontrados na área de estudo são classificados como baixa e média disponibilidade. Segundo Sousa & Lobato et al. (2004) o enxofre apresenta rápida lixiviação explicando os valores baixos e médios apresentados, já os valores pontuais altos ( $\geq 10$  mg.dm<sup>-3</sup>), podem ser decorrentes ao acúmulo de matéria orgânica no solo, pois 90% do S está na forma orgânica.

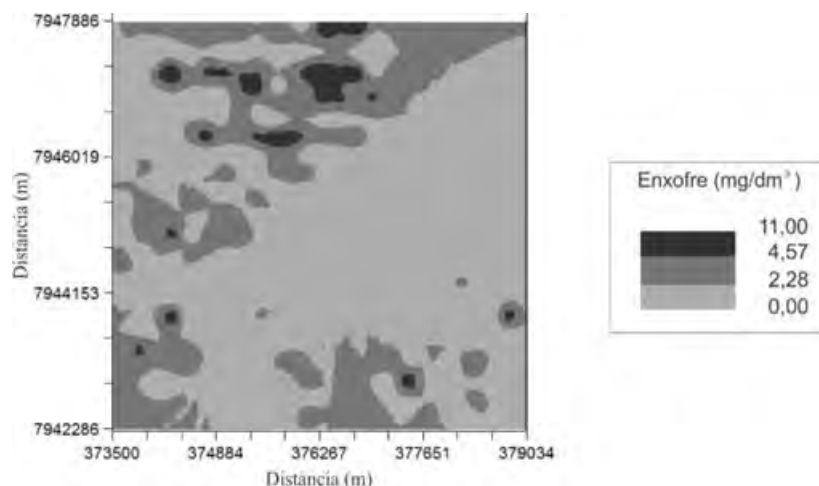


FIGURA 1: Mapa a variabilidade espacial do teor de enxofre, na camada de 0,00-0,25 m.

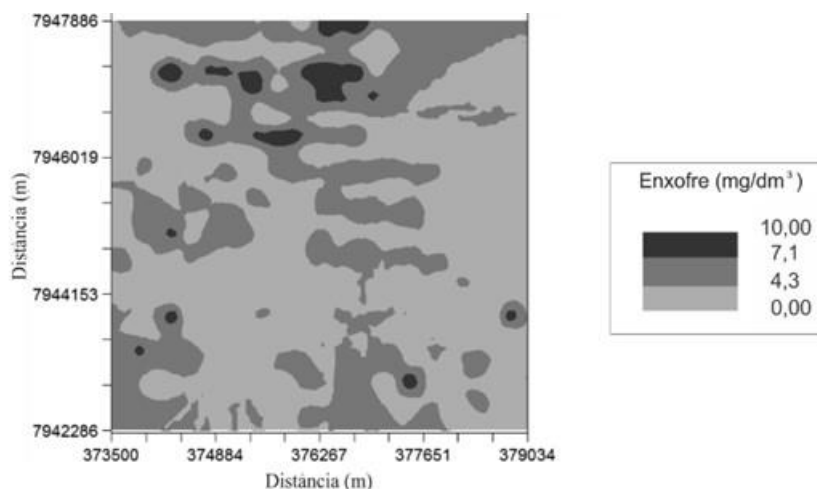


FIGURA 2: Mapa a variabilidade espacial do teor de enxofre na camada de 0,25-0,50 m.

**CONCLUSÃO:** O enxofre apresentou uma dependência espacial forte. O alcance foi de 365 e 440 m, refere-se à máxima distância em que se tem a dependência espacial dos pontos entre si, ao se utilizar mapas de distribuição espacial do enxofre, se proporciona uma maior eficiência na aplicação do adubo e um uso mais consciente dos recursos empregados.

**AGRADECIMENTOS:** A Empresa Cerradinho Bio pela colaboração e apoio a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Bottega, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B; Novack, J.M; Parkin, T.B; Karlen, D.L; Turco R.F.; Knopka, A.E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, Medison, v.58, p.1240-1248, 1994.
- CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; DA ROS, C.O.; PIAS, O.H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. *Ciência Rural*, v.44, p.425-432, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000300007.

Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. de P. e; Andreotti, M.; Montanari, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agrônômica*, v.43, p. 453-461, 2012.

EMBRAPA 2014...

Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 412 p.

Ferreira, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows 4. 0. In: Reunião anua da região brasileira da sociedade internacional de biometria. São Carlos. Anais. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000.

Gamma Design Software. *Geostatistics for the environmental*

Kamimura, K. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.37 no.4, Viçosa July/Aug, 2013.

Machado, L., O.; Lana, A., M., Q.; Lana, R., M., Q.; Guimarães, E., C.; Ferreira, C., V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:591, 2007.

Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

sciences. Version 7.0. Michigan, 2004. CD Rom.

Soares, M. M.; Bardivieso, D. M.; Barbosa, W. F. S.; Barcelos, M. . Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 49-52, jan./mar. 2017.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. p.129-144.

Souza, M.Z.; Silva, M.L.S.; Guimarães, G.L.; Ampos, D.T.S.; Carvalho, M.P. & Pereira, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:699-707, 2001.

Warrick, A.W. & Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, 1980.

## **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA ENTALPIA EM AVIÁRIO UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA**

**PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO FERRAZ<sup>1</sup>, GABRIEL ARAUJO E SILVA FERRAZ<sup>2</sup>, ANDRÉ LUIZ DE LIMA DOMINGOS<sup>3</sup>, DAIANE CECCHIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Zootecnista, Profª. Dra. do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, Fone (35) 3829-1681, patricia.ponciano@deg.ufla.br

<sup>2</sup>Engº Agrícola, Prof. Dr. do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG

<sup>3</sup>Graduando do 9º Período de Engenharia Agrícola, Bolsista PIBIC-UFLA, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG

<sup>4</sup>Engº Agrícola, Profª. Dra. do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A entalpia é uma propriedade termodinâmica que pode ser usada na avaliação do ambiente térmico para frangos, pois considera as variáveis meteorológicas que mais influenciam o conforto térmico animal, como a temperatura do bulbo seco e a umidade relativa do ar. Objetivou-se analisar e comparar a variabilidade espacial da entalpia em um aviário de frangos durante três períodos do dia (manhã, tarde e noite) do primeiro, sétimo e décimo quarto dia de vida das aves, empregando técnicas geoestatísticas. O experimento foi realizado em um aviário comercial com 28.000 pintinhos machos da linhagem Cobb localizado na mesorregião oeste de Minas Gerais. O sistema de aquecimento consistia em um forno industrial de metal com queima indireta de biomassa. Utilizou-se técnicas de geoestatística por meio de análises de semivariograma e confecção de mapas de isocores por meio de interpolação dos dados por krigagem. O semivariograma foi ajustado pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita. O modelo matemático utilizado foi o esférico. Após o ajuste dos semivariogramas foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária. Os semivariogramas juntamente com os mapas de isocores permitiram identificar a não-uniformidade da distribuição espacial da entalpia ao longo do aviário durante três períodos dos três dias analisados. Observou-se também possíveis falhas no sistema de aquecimento, principalmente no período da noite, o que pode ser uma fonte de desconforto para as aves e consequentemente gerar perdas produtivas e econômicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambiência, Pintinhos, Variabilidade.

## **SPACE AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF ENTHALPY IN A POULTRY HOUSE USING GSOESTATISTICS**

**ABSTRACT:** The enthalpy is a thermodynamic property that can be used to evaluate thermal environment for chickens, considering the meteorological variables that most influence the animal's thermal comfort, the dry-bulb temperature and the relative humidity. The aim of the present study was to analyze and compare the spatial variability of enthalpy in a poultry house during three periods of the day (morning, afternoon and night) for 1st, 7th and 14th days, using geostatistical techniques. The experiment was performed in a commercial poultry house located in the western mesoregion of Minas Gerais, where 28,000 male chicks from Cobb lineage were housed. The heating system consisted of an industrial indirect-fired biomass furnace. Geostatistical techniques were used through semivariogram analysis and isochore maps were generated through data interpolation by kriging. The semivariogram was fitted by the restricted maximum likelihood method. The used mathematical model was the spherical one. After fitting the semivariograms, the data were interpolated by ordinary kriging. The semivariograms along with the isochore maps allowed identifying the non-uniformity of spatial distribution of the enthalpy throughout the poultry house for three periods during the three days. Possible failures in the heating system were also observed, especially at night, which can be a discomfort source for poultry and hence generate productive and economic losses.



**KEYWORDS:** Ambience, Chicks, Variability.

**INTRODUÇÃO:** O ambiente térmico em que os pintinhos são submetidos durante sua fase inicial de vida é crucial para se tentar garantir o conforto e bem-estar animal com o objetivo de se atingir a máxima produtividade. Segundo YANAGI JUNIOR et al. (2011) é importante que o ambiente no interior do aviário além de se manter confortável para as aves, se mantenha também homogêneo. Sendo assim, de acordo com FERRAZ et al. (2016) a geoestatística pode ser utilizada para caracterizar a magnitude da variabilidade espacial das variáveis ambientais no interior de instalações para animais e fazer mapas (pelo método de estimação denominado krigagem), utilizando o princípio da variabilidade espacial, a fim de se identificarem interrelações desses atributos no espaço e, se interessante, também no tempo. Para se avaliar a condição térmica do ambiente em que os animais estão alojados pode-se calcular a entalpia ( $H$ ,  $\text{kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ ). De acordo com FERRAZ et al. (2016), a  $H$  é interessante na avaliação do conforto térmico, pois expressa a quantidade de energia contida em uma mistura de ar seco e vapor de água, exercendo influência nas trocas térmicas entre o animal e o meio (NAZARENO et al., 2012). Segundo RODRIGUES et al. (2010), em caso de alteração da quantidade de umidade relativa do ar em uma mesma temperatura do bulbo seco, há uma alteração na energia envolvida no processo e consequentemente há uma alteração nas trocas térmicas. Dado o exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar a estrutura e a magnitude da distribuição espacial e temporal da entalpia em um galpão de frangos de corte ao longo de três períodos do dia, durante o primeiro, sétimo e décimo quarto dia de vida das aves e realizar o mapeamento dessa variável de forma a visualizar a distribuição espacial, considerando a dependência espacial.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em um aviário comercial de criação de frangos localizado na mesorregião oeste de Minas Gerais. O aviário possui orientação nordeste – sudoeste e dimensões de 13,0 m de largura, 160,0 m de comprimento e pé direito de 3,0 m. As telhas são de fibrocimento de 6 mm de espessura, piso de concreto, cama de casca de arroz, cortinas laterais duplas (uma interna e outra externa) de lona plástica amarela. O sistema de aquecimento do aviário consistia em uma fôrnelha industrial de metal com queima indireta de biomassa com comprimento de 2,20 m, largura 1,20 e 1,85 m de altura. O ar aquecido era insuflado por um motor CA, 2206 W de potência, 1725 RPM e distribuído por 28,50 metros de tubo de metal no lado nordeste e 22,45 m para o lado sudoeste instalado dentro do aviário. O tubo tinha 23 cm de diâmetro e orifícios com 5 cm de diâmetro colocados alternadamente a 1,0 m de cada lado do tubo para a saída de ar aquecido. A área disponível para os animais era delimitada por chapas de compensado para que os pintinhos ficassem o mais próximo possível dos sistemas de aquecimento. Conforme os animais cresciam aumentava a área disponível para que a densidade dos animais ficasse sempre de acordo com o recomendado para o padrão da linhagem e a idade das aves. No início do experimento, no primeiro dia de vida, as aves foram distribuídas na densidade de 54 aves  $\text{m}^{-2}$ . Posteriormente, a área útil do aviário aumentou de modo a reduzir a densidade de alojamento, até a densidade de criação de 13 aves  $\text{m}^2$  no final da fase de aquecimento. No interior do aviário foram alojados 28.000 pintinhos machos da linhagem Cobb. A caracterização do ambiente no interior do aviário se deu por meio da coleta de dados de temperatura do bulbo seco ( $t_{bs}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (UR, %) e temperatura de ponto de orvalho ( $t_{po}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ). A coleta de dados foi realizada a cada 5 minutos, durante os três dias avaliados. Posteriormente, os dados ambientais foram divididos em três períodos: manhã (das 08 às 10 h), tarde (das 14 às 16 h) e noite (das 20 às 22 h). Os dados foram coletados a 10 cm de altura do chão, para caracterizar as condições térmicas na altura dos animais. A posição dos sensores era alterada conforme se mudava as placas de compensado, para representar ao máximo as condições em que os animais se encontravam. Posteriormente, os dados foram utilizados para se calcular a  $H$  conforme a equação de ALBRIGHT (1990).

$$H = 1,006 * t_{bs} + W * (2501 + 1,805 * t_{bs}) \quad (1)$$

em que,

$H$  é a entalpia, em  $\text{kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ ,

$W$  é a razão de mistura, em  $\text{kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ ,

$t_{bs}$  é a temperatura do bulbo seco, em  $^{\circ}\text{C}$

O aviário foi dividido em coordenadas geográficas (em metros), de modo a permitir uma melhor espacialização dos sensores e o mapeamento da  $H$ , a coordenada inicial foi (0; 0) localizada na extremidade oeste e o ponto final dado pela coordenada (13; 160) posicionado na extremidade leste.

A dependência espacial da H foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, e interpolação por Krigagem ordinária. O semivariograma clássico foi estimado pela equação

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que,

$N(h)$  é o número de pares experimentais de observações

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ .

Os semivariogramas foram ajustados pelo modelo de Máxima Verossimilhança Restrita (REML), utilizando o modelo matemático de ajuste esférico. Após o ajuste dos semivariogramas foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária para melhor visualização da distribuição espacial da H no interior dos aviários. Utilizou-se o sistema computacional estatístico R (R Development Core Team, 2017), por meio do pacote geoR. (RIBEIRO JR.; DIGGLE, 2001).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise geoestatística da H pode auxiliar na avaliação da variabilidade da entalpia (Tabela 1).

TABELA 1. Método, modelo e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para entalpia dentro do aviário em função da idade dos pintinhos.

Dia	Período do dia	Método	Modelo	$C_0$	$C_1$	$C_0 + C_1$	a	SDD
1	Manhã	REML	Esférico	30,765	16,531	47,296	2,399	65,048
1	Tarde	REML	Esférico	3,368	53,130	56,498	2,349	5,961
1	Noite	REML	Esférico	2,244	42,024	44,268	4,346	5,069
7	Manhã	REML	Esférico	14,510	10,979	25,489	7,594	56,927
7	Tarde	REML	Esférico	0,000	29,793	29,793	6,588	0,000
7	Noite	REML	Esférico	1,256	17,808	19,064	6,766	6,588
14	Manhã	REML	Esférico	0,000	32,231	32,231	3,475	0,000
14	Tarde	REML	Esférico	3,583	10,678	14,261	3,798	25,124
14	Noite	REML	Esférico	2,070	10,940	13,010	3,900	15,911

\* REML - Máxima Verossimilhança Residual;  $C_0$  - efeito de pepita;  $C_1$  - Contribuição;  $C_0 + C_1$  - Patamar; SDD - Grau de dependência espacial.

Na tabela 1, estão listados os parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para H dentro do aviário do 1º, 7º e 14º dia de vida das aves durante os três períodos do dia. A variabilidade dos dados se deu pelo fato da falta de homogeneidade das condições ambientais no interior do aviário durante o período experimental. O efeito pepita ( $C_0$ ) é um parâmetro que indica variabilidade não explicável, é possível quantificar esses erros, podendo serem expressos como porcentagem do patamar, o que permite uma melhor comparação do grau de dependência espacial (SDD) das variáveis estudadas (TRANGMAR et al., 1985). De acordo com a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), os semivariogramas podem ser classificados da seguinte forma: efeito pepita <25% do patamar - dependência espacial forte; efeito de pepita entre 25 e 75% - dependência espacial moderada; e efeito de pepita > 75% - dependência espacial fraca. Os semivariogramas ajustados aos dias 1 para o período da manhã, dia 7 para o período da manhã, e dia 14 no período da tarde apresentam SDD moderado, enquanto todos os demais apresentam SDD forte.

O alcance (a) apresenta-se como um relevante parâmetro de um semivariograma pois está relacionado com a determinação do limite de dependência espacial, indicando o limite em que a variável se correlaciona espacialmente entre os pontos avaliados. No presente estudo, a variável H ao longo dos dias e períodos em estudo, teve seu alcance variando de 2.349 m à 7.594 m.

Na Figura 1 está ilustrada a distribuição espacial de H ( $\text{kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ ), do primeiro, sétimo e décimo quarto dia de vida dos pintinhos durante os três períodos analisados. Observa-se que houve grande variabilidade de H dentro do aviário sendo que as regiões com baixos valores de H são caracterizadas por cores azuladas e esverdeadas, enquanto regiões com alto valores são ilustrados por cores mais avermelhadas.

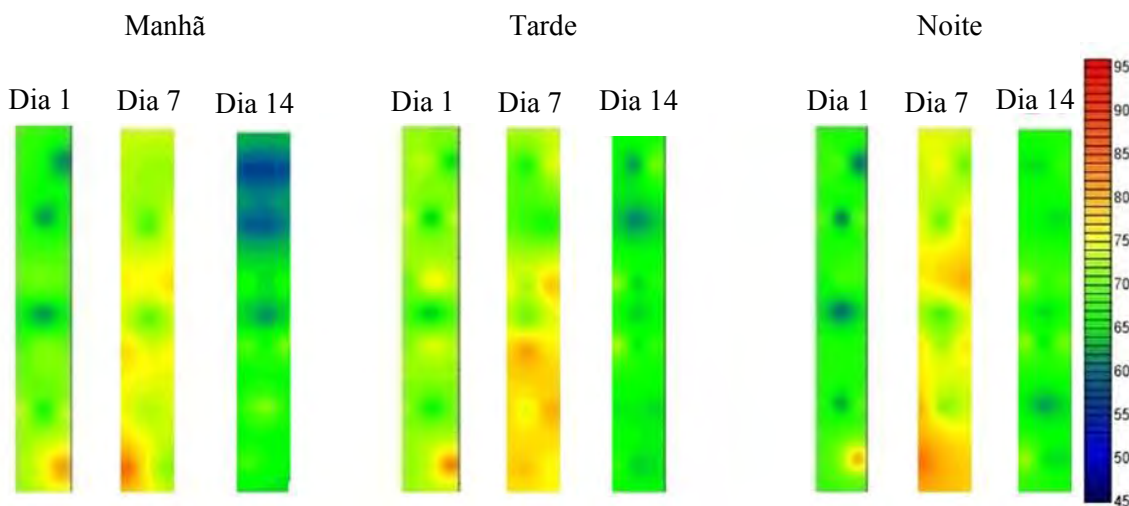


FIGURA 1. Distribuição espacial da entalpia ( $\text{KJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ ) nos dias 1, 7 e 14, nos períodos manhã, tarde e noite, respectivamente.

Por meio dos mapas de isocores (Figura 1) é possível afirmar que as condições térmicas variaram de maneira desuniforme dentro do aviário, durante os períodos do dia e ao longo dos dias analisados. Observa-se que durante a primeira semana de vida, a H variou de 56 a  $90 \text{ kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ . Ponciano et al. (2012) afirmam que, para este período de vida dos pintinhos, os valores ideais de H devem variar de 73 a  $102 \text{ kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ , ou seja, houveram regiões no aviário que as aves estiveram submetidas a condições diferentes da sua faixa de conforto.

Nos primeiros dias de vida, o sistema termorregulatório dos pintinhos ainda não está totalmente desenvolvido e estes animais ainda não possuem reserva energética suficiente para se adequarem a condições de estresse térmico, o que pode ser prejudicial ao desenvolvimento desses animais (MENEGALI et al., 2013). Segundo, CORDEIRO et al., (2010) erros cometidos no acondicionamento térmico dos pintinhos nesta fase inicial da vida podem não ser corrigidos a contento no futuro e possivelmente influenciarão o desempenho ao longo do restante da vida desses animais. Além disso, segundo SARTORI et al. (2003) este desafio térmico ainda pode causar a má formação do tecido muscular esquelético das aves, além de afetar seu desempenho produtivo e até levar a mortalidade.

Durante o 14º dia de vida, os valores de H variaram de 48 a  $91,8 \text{ kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ . Desta forma, as condições térmicas no interior do aviário estiveram na maior parte do tempo dentro da faixa de conforto preconizada por PONCIANO et al. (2012) que deve variar entre 60 e  $101 \text{ kJ kg}_{\text{de ar seco}}^{-1}$ .

Segundo Ferraz et al. (2017b), pintinhos que são expostos a desafios térmicos por frio nas primeiras semanas de vida podem sofrer um prejuízo cumulativo em relação ao seu peso vivo, consumo de ração, consumo de água e ganho de peso que pode afetar sua vida produtiva até o fim da sua fase de produção.

Assim, como ocorreu na primeira semana de vida, durante a segunda semana de vida, os valores de H foram mais baixos durante a noite, em comparação com os outros horários do dia.

De acordo com os mapas de isocores ilustrados na Figura 1, observa-se que durante os três períodos analisados houveram grandes variabilidades das condições térmicas no interior do aviário. Pode-se observar que na maior parte dos dias, as aves estiveram submetidas a condições térmicas próximas da faixa de conforto na maior parte do aviário. Porém, observa-se também, que a distribuição da H ao longo da instalação não era uniforme, ou seja, as aves estavam submetidas a condições ambientais diferentes dentro de um mesmo aviário. Segundo YANAGI Jr. et al. (2011), espera-se que em um ambiente de produção haja homogeneidade das variáveis no interior da instalação, pois caso contrário, pode haver desequilíbrio entre as condições térmicas que as aves estão submetidas e desuniformidade do lote. Daí a importância de adaptar o ambiente térmico no interior do aviário às condições ideais para que os pintinhos sejam criados em condições que lhes propiciem bem-estar e melhores desempenhos produtivos e consequentemente maior possibilidade de atingir melhores rendimentos econômicos para a atividade.

**CONCLUSÃO:** Os semivariogramas permitiram a caracterização da magnitude da variabilidade espacial da entalpia no interior do aviário de frangos ao longo dos dias observados.

Mapas de isocores permitiram a observação da variabilidade espacial da entalpia.

Foi possível identificar a não-uniformidade da distribuição espacial da entalpia dentro do aviário. Os mapas também permitiram observar a existência de possíveis falhas no sistema de aquecimento, principalmente no período da noite, o que pode causar desconforto para as aves e conseqüentemente, perdas produtivas e econômicas.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores expressam seus agradecimentos a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS:**

ALBRIGHTL, D, Environment control for animals and plants. ASAE Textbook, 4. **American Society of Agricultural Engineers**, Michigan, St. Joseph, (1990).

CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., PARKIN, T. B., KARLEN, D.L., NOVAK, J. M., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil science society of America journal** v. 58, p. 1501–1511, 1994.

CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. D. F. F.; SILVA, J. N.; VIGODERIS, R. B.; PINTO, F. D. A. D. C.; CECON, P. R. Conforto térmico e desempenho de pintinhos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 217–224, 2010.

FERRAZ, G. A. e S; SILVA, F. M. da; OLIVEIRA, M. S. de; PAIVA, A. A.; FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 81–91, 2017a.

FERRAZ, P. F. P., JUNIOR, T. Y., DE LIMA, R. R., ARAUJO, G., FERRAZ, S., & XIN, H. Desempenho de pintinhos submetidos a estresse térmico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 2, p. 113-120, 2017b.

FERRAZ, P. F. P.; JUNIOR, T. Y.; FERRAZ, G. A. S.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A. T. Variabilidade espacial da entalpia em galpões avícolas na fase de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 570–575, 2016.

MENEGALI, I.; TINOCO, I. F. F.; CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 106–113, 2013.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; NUNES, M. L. A.; CASTRO, A. C. De; MIRANDA, K. O. S.; TRABACHINI, A. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 314–319, 2012.

PONCIANO, P. F.; JUNIOR, T. Y.; LIMA, R. R. De; SCHIASSI, L.; TEIXEIRA, V. H. Broilers for the first 14 days of life. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 10–20, 2012.

RIBEIRO JR., P. J.; DIGGLE, P. J. geoR: A package for geostatistical analysis. R-News, v. 1, n. 2, p. 15–18, 2001. Disponível em: <[http://cran.r-project.org/doc/Rnews/Rnews\\_2001-2.pdf](http://cran.r-project.org/doc/Rnews/Rnews_2001-2.pdf)>.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, v.55, p.455-459, 2010.

SARTORI, J. R.; GONZALES, E.; MACARI, M.; PAI, V. D.; DE OLIVEIRA, H. N. Tipos de fibras no musculo flexor longo do hálux de frangos de corte submetidos ao estresse pelo calor e frio e alimentados em “pair-feeding”. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 918–925, 2003.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

YANAGI JUNIOR, T.; AMARAL, A. G.; TEIXEIRA, V. H.; LIMA, R. R. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1–12, 2011.

## **EFEITO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE EM MILHO**

**PAULO E. TEODORO<sup>1</sup>, EDER E. SILVA<sup>1</sup>, IGOR M. SCARPIN<sup>3</sup>, CID N. S. CAMPOS<sup>1</sup>, FÁBIO H. R. BAIO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O nitrogênio é o principal nutriente exigido pela cultura do milho, sobretudo em solos do Cerrado. Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas com o objetivo de gerar informações adicionais para subsidiar a recomendação da adubação nitrogenada. Neste trabalho foi investigado a associação das variáveis fenológicas altura de plantas e massa seca em conjunto com os índices de vegetação (IVs) NDVI, REDEEDGE (RE), SAVI e IV760/550 com a produtividade de grãos de milho, sob diferentes doses de N em cobertura. Foram aplicadas 4 doses de N (0, 80, 160 e 240 kg de N ha<sup>-1</sup>) em cobertura quando a cultura do milho atingiu o estágio fenológico V4. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 4 x 16, contendo 4 doses de N em cobertura e 16 repetições. Para a obtenção dos IVs, foi utilizado o sensor óptico ativo Crop Circle ACS-470. Os índices NDVI, SAVI e RedeEdge possuem alta associação positiva entre si e com as variáveis altura da planta e massa seca. Os índices NDVI e RE possuem relação positiva de magnitude moderada com a produtividade de grãos em milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise multivariada; sensoriamento remoto; rede de correlações.

### **STUDY OF THE INFLUENCE OF NITROGEN DOSES IN COVERAGE THROUGH VEGETATION AND PRODUCTIVITY INDICES IN CORN**

**ABSTRACT:** Nitrogen is the main nutrient required by maize crop, especially in Cerrado soils. Remote sensing techniques can be used to subsidize additional information for recommendation nitrogen fertilization recommendation. In this work we investigated the association of plant height and dry matter phenological variables together with NDVI, REDEEDGE, SAVI and IV760 / 550 vegetation indices (VIs) with maize grain yield, under different N doses. Sowing occurred in November 2016 with a 0.45 m line spacing and 60,000 ha<sup>-1</sup> plant population. Four doses of N (0, 80, 160 and 240 kg of N ha<sup>-1</sup>) were applied when the crop reached the phenological stage V4. The experimental design was in a 4 x 16 factorial scheme, containing 4 N doses in coverage and 16 replicates. To obtain the VIs, the active optical sensor Crop Circle ACS-470 was used. The NDVI, SAVI and RE indices have a high positive association with each other and with the variables plant height and dry mass. The NDVI and RedEdge VIs have a positive relationship of moderate magnitude with grain yield in maize.

**KEYWORDS:** multivariate analysis; remote sensing; network of correlations.

**INTRODUÇÃO:** O Brasil está entre os três maiores produtores mundiais de milho, com uma produção de 79,9 milhões de toneladas de grãos na safra 2016/2017 e produtividade média de 6,5 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Contudo, essa produtividade pode ser incrementada e um dos principais fatores que precisam ser melhorados é o manejo de nitrogênio (N) na nesta cultura. Devido a sua instabilidade no solo, o N é um dos nutrientes mais difíceis de manejar nos solos de regiões subtropicais (ERNANI, 2003). Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas com o objetivo de gerar informações adicionais no momento da recomendação da adubação nitrogenada. Dados da resposta espectral do dossel da cultura, durante seu desenvolvimento, caracterizados pelo processo de reflectância de ondas eletromagnéticas incidentes, podem ser utilizados como indicadores indiretos do status nutricional da cultura, bem como do potencial produtivo (SERRANO et al., 2000). Sensores que mensuram propriedades espectrais, refletância e transmitância das folhas das plantas

são afetados pela concentração de Nitrogênio (N), em função deste nutriente ser integrante essencial da clorofila, pigmento que é o primeiro a absorver a energia luminosa necessária para a fotossíntese (BLACKMER & SCHEPERS, 1995; TARPLEY et al., 2000). Existem dois comprimentos de onda que apresentam relação direta com variáveis na planta, indicadores do potencial produtivo: ondas do espectro do vermelho, cuja reflectância é menor em condições de maior quantidade de clorofila (TUCKER, 1979); e ondas do espectro do infravermelho, cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de massa de matéria seca (MS) da planta. O teor de clorofila da folha, assim como a produção de MS, se correlaciona positivamente com doses de N e com a produtividade (SCHADCHINA & DMITRIEVA, 1995). Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos nos dados obtidos de reflectância, utilizam-se índices de vegetação, que são sensíveis à biomassa verde de uma comunidade de plantas e, portanto, à quantidade de clorofila por unidade de área (PONZONI, 2001). O objetivo desse trabalho foi estudar as variáveis fenológicas juntamente com diferentes índices de vegetação para estimativa do potencial produtivo do milho.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, com as coordenadas 18°46'17,9" S 52°37'25,0" O, e altitude de 810 m durante a safra 2016/17, no município de Chapadão do Sul – MS. O delineamento experimental adotado foi em parcelas subdivididas no esquema fatorial 4x16, sendo quatro doses de ureia, com dezesseis repetições. As parcelas experimentais continham 4 x 6 m com nove linhas, totalizando 64 parcelas. O híbrido de milho (*Zea mays*) utilizado foi DKB 310 VT PRO 3<sup>®</sup>. A semeadura foi realizada em 12 de novembro de 2016, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, e foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (ureia, 43% N), 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Super simples, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (Cloreto de potássio, 58% K<sub>2</sub>O). Quando o milho atingiu o estágio V4, aos 22 dias após emergência (DAE) foi aplicado o fertilizante nitrogenado ureia (43% N) nas doses de (0, 80, 160, 240 kg de N ha<sup>-1</sup>). Para as análises foram utilizadas as três fileiras centrais, desprezando 1 m de cada extremidade para evitar possível interferência de outros tratamentos, sendo a área útil de 5,4 m<sup>2</sup>. Aos 64 DAE foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP) utilizando régua graduada; índices de vegetação (IV): NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), RE (REDEGE), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) e IV760/550 com utilização do Crop Circle modelo ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln, EUA), utilizando-se os seguintes filtros: 550, 670 730 e 760 nm; massa seca da parte aérea (MS) a partir da coleta de três plantas ao acaso na parcela, cortadas no colo da planta. O material colhido foi acondicionado em sacos de papel, desidratado em estufa a 105°C durante 48 horas e, posteriormente, pesado. Processou-se as médias das três plantas avaliadas. Para as doses de N aplicadas em cobertura e cada variável avaliada foram gerados mapas pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5. Para estudar a inter-relação entre as variáveis estudadas e a aplicação de N em cobertura foi realizada a rede de correlações, em que correlações positivas são destacadas na cor verde e correlações negativas em vermelho; a espessura da linha é proporcional a magnitude da correlação. A análise de variáveis canônicas foi realizada para estudar a associação entre as variáveis e cada tratamento avaliado. Estas análises foram realizadas com auxílio do programa Rbio (BHERING, 2017).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 1 demonstra os mapas para as variáveis da área experimental contendo as doses de N aplicadas em cobertura, altura de plantas, massa seca, produtividade de grãos e os IVs NDVI, RE, SAVI e IV 760/550. É possível verificar que a distribuição das classes de valores nesta Figura é muito similar entre os índices de vegetação e a massa seca. Essa associação ficou mais evidente quando foi utilizada a rede de correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas (Figura 2). Observou-se que os índices de vegetação, com exceção do IV 760/550, estão inter-correlacionados entre si e apresentam uma alta correlação com a massa seca da parte aérea do milho. Os IVs NDVI e RE foram aqueles que mais se correlacionaram a produtividade de grãos e as doses de N aplicadas, pois possuem maior proximidade destas variáveis na rede de correlações geradas. Resultados similares foram reportados por Baio et al. (2018), que ao investigarem a associação entre índices de vegetação e deposição relativa de diferentes taxas de aplicação em milho, observaram maiores correlações destes índices com a massa seca das plantas. Além disto, as doses de N aplicadas estão relacionadas diretamente com a produtividade de grãos de milho. Também é importante destacar a facilidade com que as correlações lineares podem ser interpretadas com a utilização da técnica gráfica de rede de correlações. A eficiência desta técnica inovadora já foi previamente relatada por Silva et al. (2016).

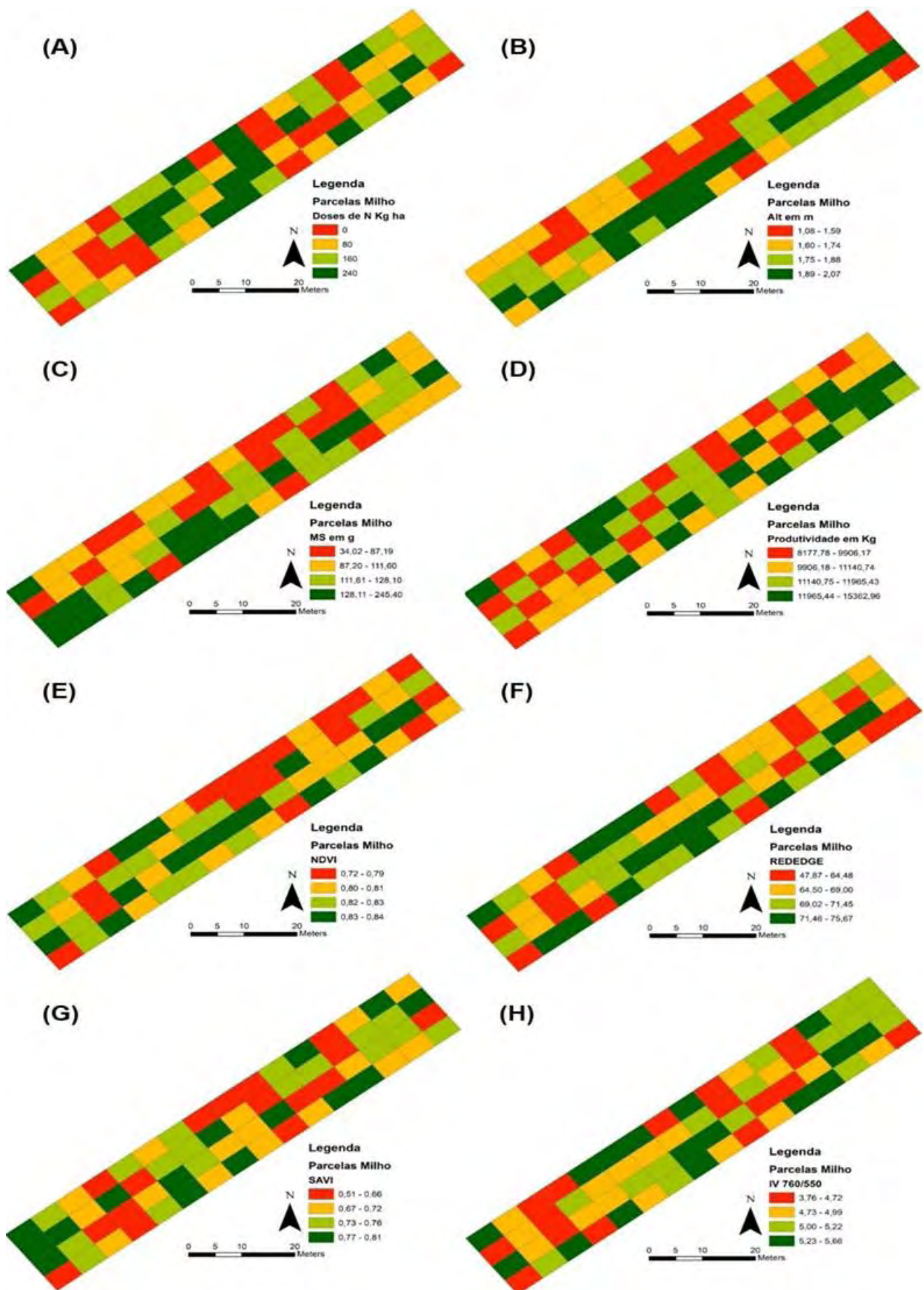


FIGURA 1. Mapas da área experimental contendo as doses de N aplicadas em cobertura (A), altura de plantas (B), massa seca – MS (C), produtividade (D) e os IVs NDVI (E), REDEEDGE (F), SAVI (G) e IV 760/550 (H).

A análise de variáveis canônicas foi utilizada para verificar a contribuição de cada variável para a diferença entre as doses de N (Figura 3). Essa técnica é análoga à análise de componentes principais, porém deve ser preferida quando a pesquisa dispõe de delineamento experimental (repetições) (Mingoti, 2005). Cada variável canônica é uma combinação linear das variáveis utilizadas. Para representação dos scores em um gráfico bidimensional é necessário que a porcentagem de variância retida nas duas primeiras variáveis canônicas seja superior a 80% (Mingoti, 2005). Neste trabalho, a variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas foi de 97,4%, possibilitando sua interpretação de forma precisa. É possível verificar que a testemunha (dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N) não está associada a nenhuma variável, o que já era esperado pois os materiais genéticos disponíveis no mercado são altamente exigentes em N. Os vetores de produtividade de grãos (PROD) e os IVs NDVI, SAVI e IV 750/560 estão próximos a maior dose de N utilizada. Esses resultados indicam que essa foi a dose mais eficiente para incrementar estas variáveis, corroborando os resultados obtidos por Raper e Varco (2015), que observaram que o NDVI está mais associado à massa seca das plantas de algodão quando submetidas a altas doses de N. Por outro lado, as variáveis MS e AP estão mais associadas as doses intermediárias de N utilizadas, o que indica comportamento quadrático destas variáveis em resposta a doses crescentes de N aplicadas em cobertura, se assemelhando aos resultados relatados por Borges et al. (2006).

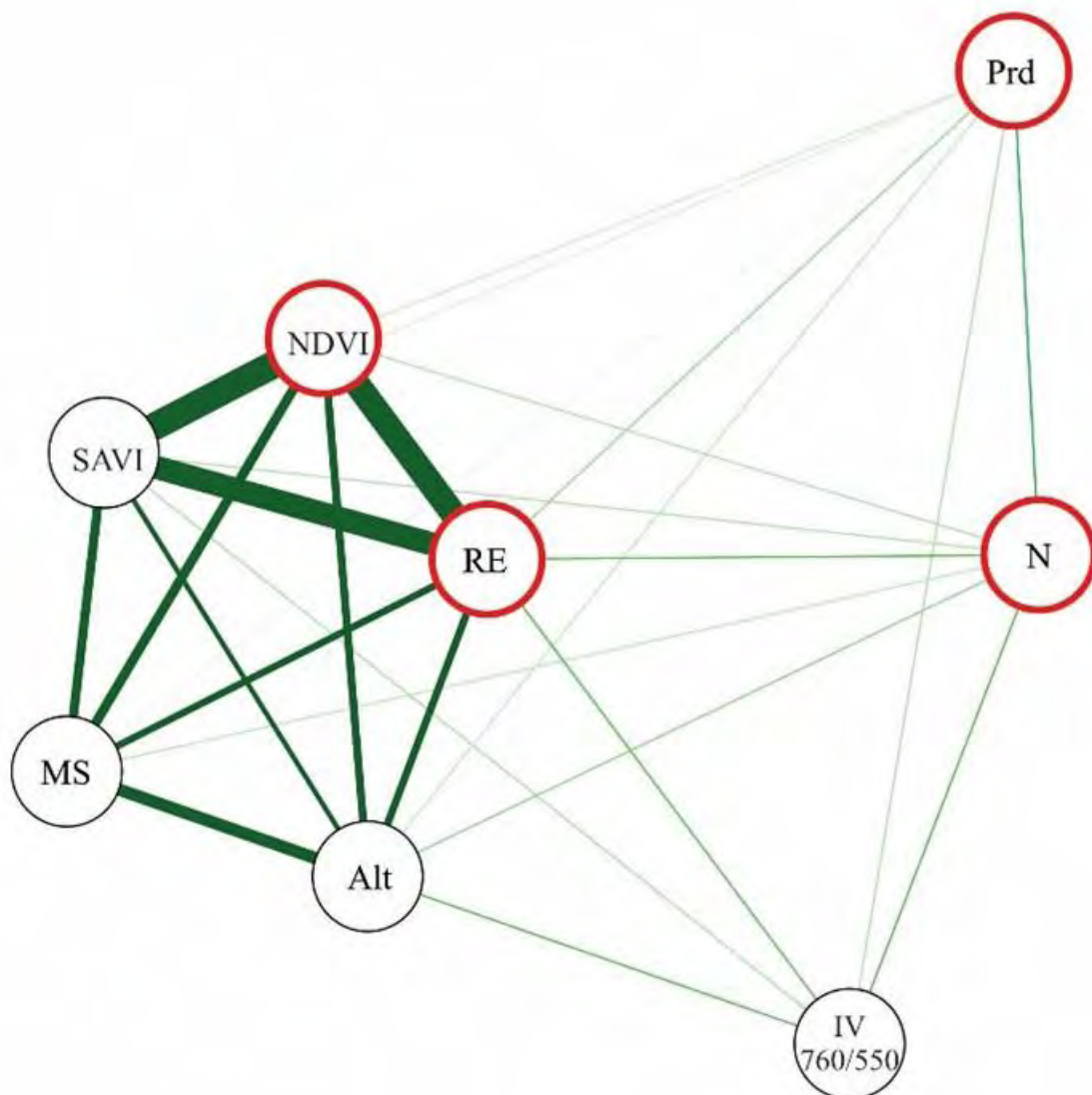


FIGURA 2. Rede de correlações entre as doses de N e as variáveis altura das plantas (ALT), massa seca (MS), os IV's IV760/550, NDVI, REDEEDGE e SAVI e produtividade (Prd).



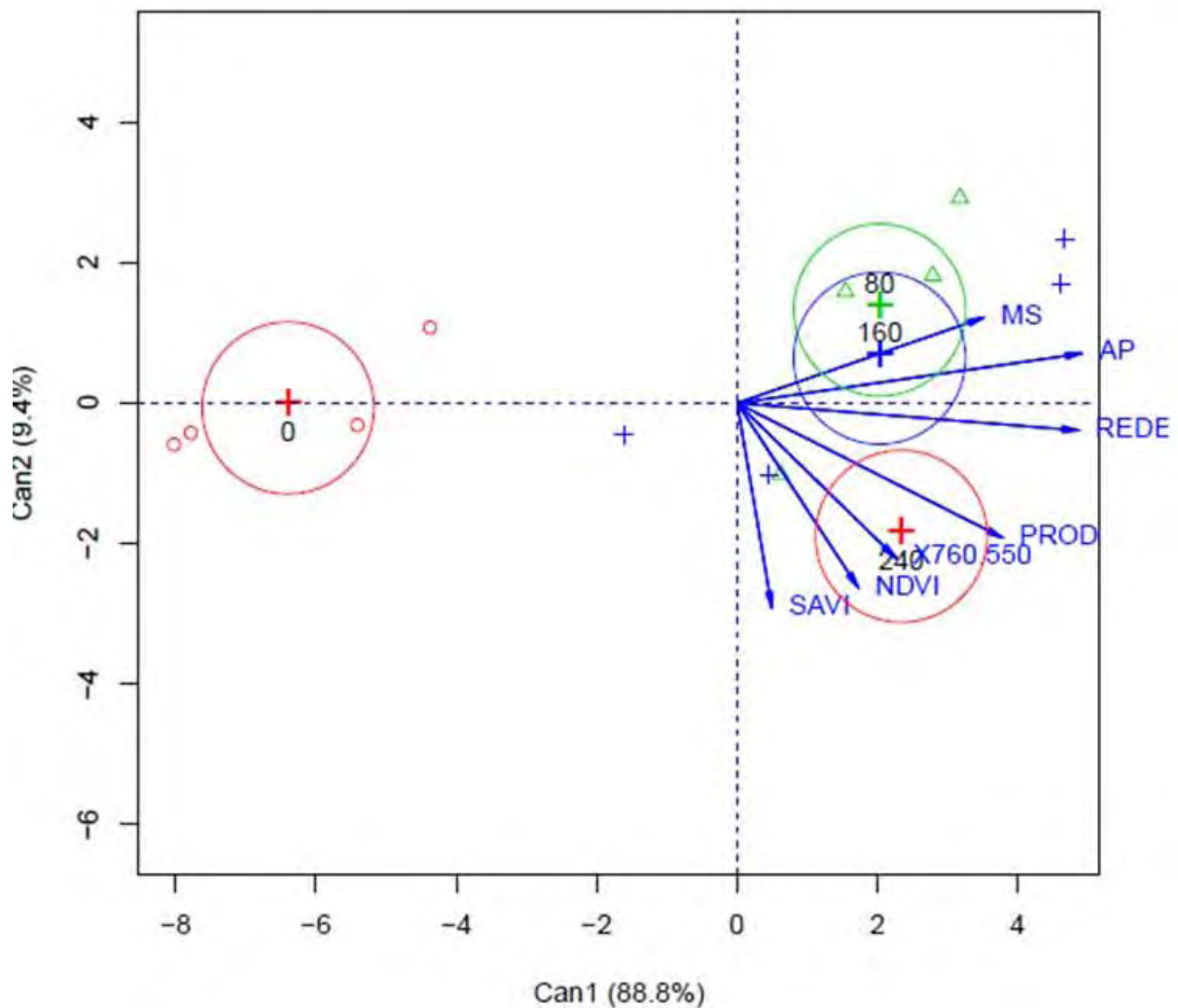


FIGURA 3. Análise de variáveis canônicas entre as variáveis AP, MS, os IV's IV760/550, NDVI, REDEEDGE e SAVI, PRO e doses de N em cobertura.

**CONCLUSÃO:** Os índices NDVI, SAVI e RE possuem alta associação positiva entre si e com as variáveis altura da planta e massa seca. Os índices NDVI e RE possuem relação positiva de magnitude moderada com a produtividade de grãos em milho.

## REFERÊNCIAS

BHERING, L. L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.

BLACKMER, T. M., SCHEPERS, J. S. (1995). Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p.56-60.

BORGES, E.A.; FERNADES, M.S.; LOSS, A.; SILVA, E.V.; SOUZA, S.R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Caatinga**, v.19, n.3, p.278-286, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, fevereiro, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, fevereiro, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

- ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Graphel; 2003.
- MINGOTI, S. A. (2005). **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: Editora UFNG.
- Ponzoni FJ. **Comportamento espectral da vegetação**. In: Meneses PR, Madeira Netto JS, editores. Sensoriamento remoto - reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Universidade de Brasília; 2001. p.157-99.
- RAPER, T. B., VARCO, J. J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 62-76, 2015. DOI:10.1007/s11119-014-9383-4
- SCHADCHINA, T. M., DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal Plant Nutricion**, v. 18, n. 14, p. 27-37, 1995.
- SERRANO, L., FILELLA I., PEÑUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, v. 40, n. 7, p. 23-31, 2000.
- SILVA, A.R.; RÊGO, E.R.; PESSOA, A.M.S.; RÊGO, M.M. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.4, p.372-377, 2016.
- TARPLEY, L., REDDY, K. R., Sassenrath-Cole, G. F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Sci**, v. 40, p. 1814–1819, 2000.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environt.** v. 8, n. 1, p. 27-50, 1979.

**ESPECTRORRADIOMETRIA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: ESTUDO DE CASO EM SOLOS DE TERRAS BAIXAS, CAPÃO DO LEÃO – RS, BRASIL.**

**JOSÉ M. FILIPPINI ALBA<sup>1</sup>, LUCIA E. C. CRUZ<sup>2</sup>, JORGE R. DUCATI<sup>3</sup>, JONES O. MORAES<sup>4</sup>, HENRIQUE N. CUNHA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> D.Sc. (Geociências), Pesquisador, Laboratório de Planejamento Ambiental, Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, Fone: (53) 32758229, jose.filippini@embrapa.br

<sup>2</sup> D.Sc. (Agronomia), Autônoma, Pelotas-RS.

<sup>3</sup> D.Sc. (Física), Prof./Pesquisador, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), UFRGS, Porto Alegre-RS.

<sup>4</sup> Acadêmico Geoprocessamento, UFPEL, Pelotas-RS.

<sup>5</sup> Doutorado (Geografia), UFSM, Santa Maria-RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A espectrorradiometria apresenta-se como potencial aplicação para agricultura de precisão, mas, seu uso ainda é limitado, seja pela quantidade de dados gerados ou pela natureza sofisticada da sua interpretação. Neste estudo amostras de solos de terras baixas foram amostradas em malha regular e analisadas por métodos químicos convencionais e via espectrorradiometria. O objetivo foi relacionar e modelar o primeiro conjunto de variáveis em função do segundo. O processo estatístico multivariado aplicado envolveu várias etapas: (1) análise fatorial; (2) análise das dependências; (3) análise de agrupamentos; (4) modelos de regressão. Cinco variáveis físico-químicas (Al, Ca, K, MO e P) foram modeladas com 90% da variância explicada em cada caso, para o maior agrupamento. Os resultados representam o começo de um possível processo de automação da etapa de pré-cultivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** banco de dados, espectrorradiometria, pedologia, mineração de dados.

**SPECTRORADIOMETRY IN PRECISION AGRICULTURE: CASE STUDY IN LOWLAND SOILS, CAPAO DO LEAO – RS, BRAZIL**

**ABSTRACT:** Spectroradiometry is a potencial application for precision agriculture, spite of restricted use, due to quantity of data and difficulty for interpretation. Samples of lowland solis were collected in this study according to regular grid, with determinations by conventional chemical methods and spectrorradiometry. Main idea was modeling the former data set as function of the later. Multivariate statistical methods applied included: (1) factor analysis; (2) dependence analysis; (3) cluster analysis; (4) regression analysis. Method (4) This is a potencial application for precision agriculture before planting. Five physicochemical variables (Al, Ca, K, MO and P) were modeled with 90% o explained variance in each case, for the greater group. Results represent the beginning of an automation process of stage before planting.

**KEYWORDS:** databases, big data, spectroradiometry, pedology.

**INTRODUÇÃO:** Em escala global a Agricultura de Precisão (AP) relaciona-se ao aprimoramento e desenvolvimento de sensores, à automação de processos e formas de monitoramento, ao gerenciamento da informação e ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto (ZHANG, WANG & WANG, 2002). Esses temas relacionam-se com a espectrorradiometria de reflectância (KARDEVÁN, 2007), ou simplesmente espectrorradiometria, técnica não destrutiva que pode ser calibrada para caracterizar materiais diversos, como minerais, solos ou vegetação, em laboratório ou campo, constituindo um ramo do sensoriamento remoto com forte aplicação em AP, porém, ainda pouco usado (SUNDAY RAY, 2016). Atualmente os espectrorradiômetros possuem elevada resolução espectral, permitindo abranger todo o espectro visível – NIR – SWIR, gerando milhares de registros para cada espectro, o que, considerando várias amostras por aplicação, conduz a um número expressivo de dados, derivando em aproximação com o conceito de "big

data", o que integrado à necessidade de uso de métodos multivariados para interpretar a informação, explica, ao menos parcialmente, a ausência de um maior número de aplicações do tipo.

Neste trabalho se expõe um método de processamento da informação, direcionado para AP, considerando o uso de espectrorradiometria em solos de terras baixas, em rotação arroz irrigado - pousio, na estação experimental Terras Baixas (EETB), Embrapa, Capão do Leão – RS visando estudar a correlação das bandas espectrais com variáveis físico-químicas (VFQs) na tentativa de estabelecer modelos de regressão entre ambos os tipos de variáveis, potencial aplicação para aprimorar os estudos de fertilidade na fase de pré-cultivo. Estudos semelhantes foram compilados por Ge et al. (2007). No entanto, sempre é necessário calibrar a técnica na área de estudo, em função da dependência da resposta espectral com as feições de clima e solo, sendo necessário estabelecer um processo de modelagem que permita extrair o máximo possível de variância explicada dos dados originais.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área de estudo localiza-se nas coordenadas 31° 49' 12,34" S e 52° 27' 57,78" O, em Planossolo Háptico conforme o sistema brasileiro de classificação de solos, onde predomina clima temperado quente (Cfa na classificação climática de Wilhelm Köppen). A área experimental foi tradicionalmente cultivada com arroz irrigado no sistema convencional, com sistema de rotação 3 anos (cultivo) x 2 anos (descanso). O solo foi amostrado conforme malha regular georreferenciada no período pré-cultivo, composta por 7 transectos equidistantes 15m e passo de amostragem de 15m, num total de 49 pontos. As coletas foram realizadas em 2012, na profundidade 0 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m, por meio de pá-de-corte, sendo as amostras armazenadas em sacos plásticos e posteriormente secas ao ar, destorroadas e peneiradas para diâmetro inferior a 2,0 mm. As análises para teor de Al, Ca, K, Mg, P, matéria orgânica – MO, pH e textura foram realizadas nos laboratórios da Embrapa, Pelotas, RS. A reflectância das 98 amostras foi medida no laboratório de Espectrorradiometria, CEPSSRM, UFRGS, Porto Alegre, RS em 2013 com equipamento FieldSpec3 no intervalo de 350 nm a 2500 nm com resolução de 1 nm. Métodos estatísticos multivariados, como análise de agrupamentos, fatorial e de regressão, foram aplicados sobre os dados das amostras extraídas a 0,1 - 0,2 m, considerando o software SPSS®.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As estatísticas dos dados demonstraram variabilidade baixa à moderada, inclusive no caso das bandas espectrorradiométricas de reflectância – BERs, dado o elevado número de determinações (TABELA 1). A análise estatística preliminar completou-se por meio das dependências, comentadas à continuação. A MO apresentou correlações positivas moderadas com Al, Ca, Mg e P, coeficiente de Pearson ( $\rho$ ) de 0,3 - 0,5; idem K – P e argila com Ca e Mg, estes últimos com o maior  $\rho$ , de 0,774, sugerindo à ocorrência de fosfatos superficiais e complexos orgânicos. As BERs mostraram forte correlação, por exemplo, a banda de 350 nm apresentou valores de  $\rho$  com as outras 2150 bandas, variando entre 0,79 a 0,99, média de 0,9 e coeficiente de variação de 14%. Assim, ambos conjuntos de dados, VFQs e BERs, possuem baixa variabilidade, sendo que no últimos caso existe forte correlação entre as bandas.

TABELA 1. Estatísticas básicas das variáveis físico-químicas (VFQs) do presente trabalho

Variável	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Número de determinações
Al, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	0,8	0,3	32%	49
Argila, %	19,9	2,3	12%	49
Ca, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	1,8	0,3	15%	49
K, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	0,12	0,04	35%	49
MO, %*	1,7	0,3	18%	49
Mg, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	0,7	0,1	16%	49
P, mg.dm <sup>-3</sup>	6,1	2,4	40%	49
RR, % **	65	24	37%	103348

\* MO = Matéria orgânica. \*\* RR = Reflectância relativa para 2151 bandas espectrorradiométricas de reflectância (BERs), intervalo de comprimentos de onda de 350nm a 2500nm.

Na tentativa de diminuir o número de BERs se procuraram as bandas localizadas em “vales” e “picos”, sendo calculada a correlação VFQ x BER nessas situações. O resultado foi pouco significativo. Assim, se optou pela aplicação da análise fatorial com rotação varimax sobre as BERs com extração de 50 fatores (FB1, FB2... FB50), técnica multivariada conhecida nesse sentido. Devido à elevada correlação das BERs, o FB1 acumulou 95% da variância, e o FB2 4%, resultando somente 1% para todos os restantes 48 FBs. Á

continuação, se calcularam os  $\rho$  VFQ x FB, para as variáveis originais e estandardizadas, com resultados algo mais significativos no segundo caso. No entanto, os modelos de regressão linear para argila, Ca, MO e P em função dos FBs “significativos” explicaram menos de 48% da variância total respectivamente. Procurando aprimorar os modelos de regressão das VFQs com os FBs, aplicou-se à análise fatorial sobre as VFQs. Foram extraídos cinco fatores usando rotação varimax, sendo interpretados três desses fatores, que explicaram 71% da variância total, resultado pouco satisfatório na busca do objetivo original.

Por isso considerou-se a possibilidade de heterogeneidade nos dados das VFQs, de maneira que aplicou-se a análise de agrupamentos sobre os mesmos. Foram gerados 4 grupos, sendo o grupo 3 com somente 3 amostras, interpretado como “outliers”. Os grupos 1, 2 e 4 incluíram 20, 12 e 14 amostras respectivamente, sendo basicamente discriminados pelos teores de MO e P. Os outros elementos, Al, Ca, Mg e K mostraram médias grupais semelhantes. Para o grupo 1, 43 FBs se envolveram no processo, com modelos de regressão com mais de 90% da variância explicada em função do valor de  $R^2$  (TABELA 2). Somente oito FBs não participaram do processo (6, 19, 22, 26, 33, 34, 38 e 48), sendo que, o FB1 que acumula a maior quantidade de variância somente fez parte do modelo relacionado à MO. Os grupos 2 e 4 também foram modelados com resultados semelhantes.

TABELA 2. Características dos modelos de regressão entre as variáveis físicoquímicas e os fatores das BERs (FBs) para o grupo 1 (20 amostras)

Variável	FBs com CCP > 0,2 (em relação à respectiva variável)	Quant. FBs	R <sup>2</sup>
Al, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	2, 3, 4, 7, 8, 14, 15, 16, 21, 25, 27, 28, 29, 31, 37, 43, 46, 49 e 50	19	0,92
Ca, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	3, 5, 7, 8, 9, 11, 14, 17, 25, 27, 30, 31, 38, 39, 41 e 46	16	0,96
K, cmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup>	4, 5, 7, 9, 10, 18, 20, 21, 23, 24, 28, 29, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 45 e 47	20	1,00
MO, %*	1, 2, 3, 4, 10, 13, 15, 18, 21, 25, 27, 28, 31, 37, 40 e 49	16	0,98
P, mg.dm <sup>-3</sup>	2, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 24, 30, 32, 36, 39 e 44	17	0,94

**CONCLUSÃO:** As VFQs consideradas são de natureza química e foram modeladas por variáveis de natureza física (bandas de reflectância), no caso específico dos solos de terras baixas. O processo estatístico melhor sucedido se mostrou complexo, induzindo o uso de três métodos multivariados integrados. Ajustes do processo são ainda necessários, por exemplo, o mapeamento e comparação de teores reais e simulados, assim como, estudar o comportamento da espectrorradiometria em diferentes climas e solos na tentativa de sistematização. Trata-se de potencial aplicação para automação dos processos de fertilização do solo, mas para atingir esse objetivo, softwares e equipamentos específicos deverão ser desenvolvidos.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Laboratório de Espectrometria/CEPSRM/UFRGS pela medição da reflectância das amostras de solos utilizadas neste trabalho e à pesquisadora Rosemary Hoff (Embrapa) pela articulação em relação à essa ação. À estudante Mayara Zanchin (UFPEL) por colaborar na sistematização dos dados. Ao estatístico Ricardo Valgas (Embrapa) pelas orientações para o processamento dos dados.

## REFERÊNCIAS

- DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. New York: Wiley, 1986, 645p.
- GE, Y.; THOMASSON, A.; SUI, R. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. *Frontier Earth Science*, v. 5 (3), p. 229 – 238, 2011.
- KARDEVÁN, P. Reflectance spectroradiometry- A new tool for environmental mapping. *Carpathian J. Earth & Environmental Science.*, v.2 (2), p. 29 – 38, 2007.
- SUNDAR RAY, A. Remote Sensing in Agriculture. **International J. of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 1 (3), p. 362 – 367, 2016.
- ZHANG, N.; WANG., M.; WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, p. 113 – 132, 2002.

## ESPECTRORRADIÔMETRO DE BOLSO PARA DETERMINAÇÃO DE TEXTURA E MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS AGRÍCOLAS

AUGUSTO SANCHES<sup>1</sup>, TIAGO R. TAVARES<sup>2</sup>, MATEUS T. EITELWEIN<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Eng<sup>o</sup> agrônômica, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP;

<sup>3</sup> Smart Agri Soluções Tecnológicas, Av. Limeira, 1131 3rd office, 13414-018, Piracicaba - SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A espectroscopia de reflectância vis-NIR é uma das técnicas utilizadas para o sensoriamento do solo e que tem se destacado para a predição dos seus teores de argila e matéria orgânica (MO). O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de espectrorradiômetros de tamanho reduzidos e preços mais acessíveis. Assim, o presente trabalho buscou avaliar o potencial de um espectrorradiômetro de bolso, recentemente lançado no mercado, e de seu sistema interno de processamento de dados, para predição do teor de argila e MO em amostras de solos agrícola. Foram avaliadas 80 amostras de solo, organizadas em três grupos. De cada grupo, utilizou-se 20 amostras para calibração do modelo e 20 para validação. A avaliação foi realizada por meio do índice kappa. Observou-se que, para um grupo de calibração de 20 amostras, não foi possível qualificar de forma correta as amostras de solo quanto a seus teores de matéria orgânica e argila, sendo o índice kappa não superior a 0,39. Com a obtenção destes resultados foi proposta uma segunda etapa ao trabalho com o intuito de avaliar as amostras do Grupo 2 utilizando um espectrorradiômetro vis-NIR de bancada. Os resultados obtidos nesta segunda etapa mostraram desempenho semelhante para predição de MO, com modelos de predição ruins para determinação deste atributo. Conclui-se que utilizando o algoritmo interno do referido espectrorradiômetro calibrado com um banco de dados de 20 amostras, este demonstrou baixo potencial em predizer as classes de argila e MO em solos agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** NIR; Análise de Solo; Sensoriamento Proximal.

## POCKET SPECTRORADIOMETER FOR DETERMINATION OF TEXTURE AND ORGANIC MATTER IN AGRICULTURAL SOILS

**ABSTRACT:** Vis-NIR reflectance spectroscopy is one of the techniques used for soil sensing and has been outstanding for the prediction of its clay and organic matter (OM) contents. The technological advance has allowed the development of spectroradiometers of reduced size and more affordable prices. So, the present work sought to evaluate the potential of a pocket-sized spectroradiometer recently introduced in the market and its internal data processing system to predict the clay and OM content in agricultural soil samples. Eighty soil samples were evaluated, organized into three groups. From each group, 20 samples were used for calibration of the model and 20 for validation. The evaluation was performed using the kappa index. It was observed that, for a calibration group of 20 samples, it was not possible to correctly qualify the soil samples for their organic matter and clay contents, with a kappa index not higher than 0.39. With the obtention of these results a second stage was proposed to the work with the intention of evaluating the Group 2 samples using a vis-NIR bench-based spectroradiometer. The results obtained in this second stage showed similar performance for MO prediction, with bad prediction models to determine this attribute. The results show that, using the internal algorithm of this spectroradiometer calibrated with a database of 20 samples, this one showed low potential in predicting the classes of clay and OM in agricultural soils.

**KEYWORDS:** NIR; Soil Analysis; Proximal Sensing.

**INTRODUÇÃO:** O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo é essencial para a gestão da fertilidade dos solos. Já é conhecida a necessidade de se aumentar a densidade de coleta de informações relacionadas aos atributos do solo, visto que mapas fiéis da variabilidade espacial só poderão ser produzidos quando implantadas grades amostrais densas (acima de 1 amostra por hectare). Todavia, aumentar a quantidade de amostragens de solo e o número de amostras enviadas ao laboratório para análises de rotina é uma prática onerosa do ponto de vista prático e financeiro (CHERUBIN *et. al.*, 2014; VASQUES, 2014). A utilização de sensores vem se mostrando promissora para o incremento da densidade destes dados. A espectroscopia de reflectância é uma das técnicas de sensoriamento utilizadas para a avaliação destes atributos. Espectrorradiômetros registram a radiação eletromagnética, geralmente na região do visível (Vis) e infravermelho próximo (NIR), refletida pelo objeto sensoriado, sendo possível inferir sobre características intrínsecas ao alvo sensoriado ao avaliarmos sua resposta espectral de reflectância nas diferentes regiões do espectro eletromagnético (SANTOS, 2011). Recentemente, foi lançado ao mercado o espectrorradiômetro de bolso SCiO (Consumer Physics, Israel) que pesa 20 g, possui tamanho (73 x 25 x 16,5 mm) e custo reduzido (aproximadamente US\$ 250) em comparação aos demais espectrorradiômetros do mercado (WILSON *et. al.*, 2017). O equipamento registra os dados de reflectância na região do NIR (740 a 1070 nm), por meio da excitação da amostra com uma fonte de radiação própria. Seu funcionamento está associado a um aplicativo de smartphone e um banco de dados (CONSUMER PHYSICS, 2017). No âmbito da agricultura, pesquisas ainda não foram conduzidas para avaliação do seu potencial para caracterização de atributos de solos. Conhecido o potencial da espectroscopia NIR e a ausência de equipamentos portáteis e de baixo custo, este trabalho objetiva investigar o potencial deste equipamento para predição do teor de argila e matéria orgânica em amostras de solos agrícolas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido no Laboratório de Agricultura de Precisão da ESALQ-USP e, utilizou-se 80 amostras de solos coletadas na profundidade de 0-20 cm em diferentes talhões de produção agrícola localizados nos estados do Mato Grosso e Goiás. Foram separados três grupos de amostras: (i) grupo 1 com amostras de máxima variabilidade de textura e mínima de MO; (ii) grupo 2, com amostras de máxima variabilidade de MO e mínima de textura; e (iii) grupo 3 com amostras do grupo 1 e 2, de modo a apresentarem variabilidade tanto de argila, quanto de MO. A estatística descritiva das amostras de cada grupo está apresentada na Tabela 1. As análises laboratoriais foram executadas por laboratório comercial de fertilidade e os teores de argila foram classificados utilizando a classificação do Boletim do Cerrado (SOUSA e LOBATO, 2004); e os teores de MO utilizando a classificação de Prado (1991). Antes da leitura com os sensores todas as amostras foram preparadas utilizando a metodologia adotada por Franceschini (2013). Para associação dos espectros às classes de interpretação de textura e de MO foi utilizada a função “my mini applets” do aplicativo (Figura 2). Esta função permite associar um grupo de espectros com padrão semelhante a uma classe de interpretação, criando um banco de dados local, de modo que ao ser sensorizada uma nova amostra desconhecida, o aplicativo reconhece seu padrão espectral ao compará-lo com os padrões armazenados no banco de dados e identifica sua classe. Para análise do espectrorradiômetro e de seu algoritmo interno de reconhecimento de padrões espectrais foram criados quatro bancos de dados, analisando o quesito de máxima variabilidade do grupo. Na fase de calibração do algoritmo interno do espectrorradiômetro foi realizada com relação calibração e validação de 50:50, ou seja, 20 amostras para cada. Para avaliação da acurácia dos modelos foi utilizado o índice kappa. Este índice corresponde à medida de concordância usada em dados qualitativos, promovendo a informação de quanto as observações concordam com aquelas esperadas, indicando assim a legitimidade da análise. Esta medida de concordância tem o valor máximo 1, o qual representa total concordância e os valores próximos ou até abaixo de 0, indicam nenhuma concordância (MARTELLO *et al.*, 2015).

TABELA 1. Estatística descritiva das amostras de solo dos grupos 1, 2 e 3.

		Min.	1º quartil	Media	Mediana	3ºquartil	Max.	Desvio Padrão	CV (%)	
Grupo 1	Validação Calibração	Argila	226	403	553	604,5	651,25	843	175,70	31,7
		MO	15	18	18	19	30	20	1,53	8,2
		Argila	252	417	565	607,5	686	830	169,93	30,0
		MO	15	17	18	19,5	20	20	1,73	9,3
Grupo 2	Validação Calibração	Argila	227	276	295	301,5	326,75	328	30,4	10,2
		MO	13	17,5	23	25,5	28	40	6,77	28,3
		Argila	251	282	303	301,5	326	328	22,92	7,5
		MO	15	19	23	23,5	28,75	35	5,60	23,5
Grupo 3	Validação Calibração	Argila	227	283	435	327,5	572,75	843	196,58	45,1
		MO	13	18	21	19	26,5	40	6,55	30,3
		Argila	273	301	448	326,5	594,5	830	191,99	42,8
		MO	16	18	22	20	26,5	35	5,56	25,1

\*O volume de argila e MO das amostras estão representados em  $\text{g dm}^{-3}$ .



FIGURA 1. (A) Suporte acoplável ao sensor para bloqueio da luz externa ao sensor (B) Sensor SciO; (C) emissor e detector de radiação; (D) amostra de solo preparada para o sensoriamento.





FIGURA 2. Sequência de passos no aplicativo para criação do banco de dados local. (A) página inicial da função “my mini applet”; (B) página mostrando a sequência de passos para criação do banco de dados; (C) página mostrando o conjunto de espectros das diferentes classes de interpretação.

Por fim, a avaliação espectral utilizando um espectrorradiômetro de bancada foi adicionada ao projeto com o objetivo de verificar a acurácia de predição do teor de MO das mesmas amostras, desta vez utilizando este sensor e um procedimento de processamento de dados já consolidados, de modo a auxiliar na avaliação dos resultados obtidos com o espectrorradiômetro de bolso. Os modelos de regressão foram gerados utilizando todo o espectro (350 a 2222 nm) e apenas a região explorada pelo espectrorradiômetro de bolso (740 a 1070 nm). A calibração e a validação dos modelos foram realizadas de duas formas: (i) utilizando as mesmas amostras da etapa anterior (50:50); (ii) e utilizando o método de validação cruzada completa (*leave-one-out cross-validation*). A manipulação dos dados e geração dos modelos foi realizada no software Unscrambler 9.7 (CAMO, 1997). Para avaliação dos modelos de predição obtidos, foram analisados o  $R^2$  e o RMSE.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados de concordância entre as classificações do sensor e das análises reais de cada um dos quatro bancos de dados criados estão apresentados na Tabela 2. De maneira geral, o sensor portátil não apresentou potencial para identificação qualitativa de textura e MO. Para ambos os atributos, os bancos de dados criados com o espectrorradiômetro de bolso não permitiram que o sensor identificasse corretamente as classes das amostras durante a fase de validação. A validação do banco de dados criado para predição das classes de textura com as amostras do Grupo 1 apresentaram 63,1% de qualificações corretas. O índice kappa obteve valor igual a 0,32, indicando uma concordância suave (LANDIS e KOCH, 1977). No Grupo 3, com variabilidade de textura e MO, o equipamento não apresentou desempenho inferior ao observado no Grupo 1, sendo verificada uma concordância de 65% e índice kappa de 0.39, representando também uma concordância suave. A validação do banco de dados criado para MO com as amostras do Grupo 2 apresentou concordância de 55% e índice kappa de 0,15, indicando um resultado desprezível. O Grupo 3 apresentou desempenho inferior observado ao Grupo 2. Com uma concordância das observações de 40% e índice kappa de -0.03, representando uma concordância pobre e totalmente inconsistente. Durante a coleta de dados com o espectrorradiômetro de bolso observou-se que mesmo as amostras tendo pré-processamento padrão, em alguns momentos houve instabilidade na classificação. Ao escanear porções diferentes de uma mesma amostra, classificações distintas eram dadas para esta, ou seja, a mesma amostra poderia ser classificada como diferentes classes de textura e matéria orgânica em função do diferente posicionamento do sensor.

TABELA 2. Concordância entre as observações do sensor e classes reais para a validação dos quatro banco de dados criados.

Grupo 1 – Textura					Grupo 3 - Textura						
		Sensor			Total			Sensor			Total
		Media	Argilosa	Muito Argilosa				Media	Argilosa	Muito Argilosa	
Real	Media	0	0	3	3	Real	Media	8	0	4	12
	Argilosa	0	4	2	6		Argilosa	3	1	0	4
	Muito argilosa	0	2	8	10		Muito argilosa	0	0	4	4
Total		0	6	13	19	Total		11	1	8	20

Grupo 2 – MO				Grupo 3 - MO					
		Sensor		Total			Sensor		Total
		Baixa	Media				Baixa	Media	
Real	Baixa	5	7	12	Real	Baixa	5	10	15
	Media	2	6	8		Media	2	3	5
Total		7	13	20	Total		7	13	20

Utilizando o espectrorradiômetro de bancada também não foi possível prever MO (Tabela 3). Tanto utilizando a faixa espectral de 740 a 1070 nm (faixa utilizada pelo espectrorradiômetro de bolso), quanto utilizando todo o espectro registrado (373 a 2222 nm), os valores de R<sup>2</sup> obtidos indicam modelos de predição ruins. As diferentes formas de validação também não contribuíram para a melhora dos indicadores desempenho (R<sup>2</sup> e RMSE) nas regressões.

TABELA 3. Figuras de mérito da modelagem e validação das regressões criadas para o Grupo 2 para predição de MO.

Conjunto de dados	Modelo		Validação		n° VL <sup>1</sup>
	R <sup>2</sup>	RMSE (g dm <sup>-3</sup> )	R <sup>2</sup>	RMSE (g dm <sup>-3</sup> )	
Espectro de 740 a 1011 nm, 40 amostras e validação leave one out	0,05	5,91	0,00	6,15	1,00
<sup>2</sup> Espectro de 740 a 1011 nm, 40 amostras e validação 50:50	0,03	6,50	0,15	5,29	1,00
Espectro de 373 a 2222 nm, 40 amostras e validação leave one out	0,22	5,36	0,07	6,02	3,00
<sup>3</sup> Espectro de 373 a 2222 nm, 40 amostras e validação 50:50	0,53	4,52	0,00	7,26	3,00

<sup>1</sup> Número de variáveis latentes utilizadas no PLSR;

<sup>2</sup> Regressão utilizando a região espectral abrangida pelo SCiO e com proporção entre calibração e validação de 50:50, semelhante à avaliação qualitativa;

<sup>3</sup> Regressão utilizando todo o espectro vis-NIR e também com proporção entre calibração e validação de 50:50.

Embora resultados promissores para predição de MO sejam relatados na literatura (MULLA, 2013), a fraca relação entre MO e o espectro obtida neste trabalho para ambos sensores avaliados (bancada e portátil) indica que a limitação possa estar no banco de dados e não nos sensores. Para uma avaliação mais robusta do sensor portátil é necessária a utilização de um conjunto com maior número de amostras, o que não foi possível neste trabalho, pois a versão gratuita do software utilizado limita o conjunto de calibração em 20 amostras. Futuros trabalhos devem ser conduzidos explorando diferentes conjuntos amostrais e um número maior de amostras.

**CONCLUSÃO:** Utilizando o algoritmo interno do espectrorradiômetro de bolso calibrado com um banco de dados de 20 amostras, os resultados de predição de MO e teor de argila foram ruins. Contudo, a fraca predição de MO utilizando o espectrorradiômetro de bancada sugere que a limitação possa estar presente no banco de dados utilizado para calibração.

**AGRADECIMENTOS:** Trabalho realizado como parte complementar do projeto CNPQ nº 458180/2014-9, chamada MCTI/CNPQ/Universal 14/2014.

## REFERÊNCIAS

CAMO, A. S. A. Unscrambler users guide, ver. 6.11 a. Programme Package for Multivariate Calibration. Trondheim, Norway, 1997.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. D. C.; & BERGHETTI, J. (2014). Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. *Ciência Rural*, 44(3), 425-432, .2014.

CONSUMER PHYSICS. “Technology”. 2017. Disponível em:  
<<https://www.consumerphysics.com/business/technology/>>. Acesso em 11 de maio de 2017.

DEMATTÊ, J. A. M.; ALVES, M. R.; GALLO, B. C.; FONGARO, C. T.; SOUZA, A. B.; ROMERO, D. J.; SATO, M. V. Hyperspectral remote sensing as an alternative to estimate soil attributes. *Revista Ciencia Agronomica*, v. 46, n. 2, p. 223–232, 2015.

FRANCESCHINI, M. H. D. Sensoriamento remoto hiperespectral nos níveis laboratório, campo e aéreo como ferramentas auxiliares no manejo do solo. 2013. 173 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2013.

MARTELLO M.; FIORIO P. R.; TAVARES T. R.; BARROS P. P da S.; MORONE G. V. C. (2015). Avaliação de imagens aéreas obtidas por câmera digital para diferenciação de doses de N na cana-de-açúcar. Resumo expandido, 2015.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, v. 114, n. 4, p. 358-371, 2013.

NETO, W. B. (2005). Parâmetros de qualidade de lubrificantes e óleo de oliva através de espectroscopia vibracional, calibração multivariada e seleção de variáveis. Campinas: UNICAMP, 2005.

SANTOS, A. P. D. (2011). Espectroscopia de infravermelho próximo em análises de solos e plantas. Dissertação (Mestrado na área de solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10ª ed. Porto Alegre, 2004. 400p

SOUSA, D. D.; & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004.

VASQUES G. de M. Integração de sensores eletromagnéticos de campo (sensores proximais) para predição e mapeamento de atributos do solo em área experimental. 2014. [online]. Disponível emna internet via:  
<<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/206988/integracao-de-sensores-eletromagneticos-de-campo-sensores-proximais-para-predicao-e-mapeamento-de-atributos-do-solo-em-area-experimental>>. Acessado em 17 maio 2017.

WILSON, B. K.; KAUR, H.; ALLAN E. L.; LOZAMA, A., & BELL, D. A new handheld device for the detection of falsified medicines: demonstration on falsified artemisinin-based therapies from the field. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 96(5), 1117-1123, 2017.

## **ESPECTROSCOPIA DE REFLETÂNCIA VIS-NIR PARA ANÁLISE DE PERDA DE MASSA EM BANANAS PACOVAN**

**IARA JEANICE SOUZA FERREIRA<sup>1</sup>, SARAH LEILA FRANÇA DE OLIVEIRA ALMEIDA<sup>2</sup>, DANIEL DOS SANTOS COSTA<sup>3</sup>, ACÁCIO FIGUEIREDO NETO<sup>4</sup>, BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, iarajejanice@hotmail.com

<sup>2</sup>Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>3</sup>Prof., Depto.de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>4</sup>Prof., Depto.de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA.

<sup>5</sup>Profa., Facul.de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A satisfação do consumidor quanto à qualidade de frutas se relaciona fortemente com as características internas apresentáveis. A maior parte destas características é avaliada por métodos destrutivos de laboratório, que tornam o processo de análise demorado e bastante dependente de materiais de uso e reagentes. Por isso, técnicas não destrutivas, exemplo da espectroscopia por refletância, vêm sendo inseridas no âmbito das avaliações qualitativas de forma bastante proeminente. O trabalho vem com intuito de analisar a perda de massa em bananas da variedade Pacovan, por meio da espectroscopia de refletância VIS-NIR. Foram utilizadas 192 bananas sob armazenamento em temperatura de 25°C, destinadas à aquisição espectral entre comprimentos de onda de 450 a 1800 nm e a posterior análise de laboratório, durante 24 dias. Os métodos de regressão adotados na construção dos modelos de calibração e validação multivariada foram o PCR e o PLSR. Na etapa de pré-processamento, foi utilizada a suavização dos sinais por meio de derivadas de 1ª e 2ª ordem e a correção dos sinais, por meio da OSC (correção de sinal ortogonal), MSC (correção multiplicativa do sinal) e SNV (variação normal padrão). Os resultados trazem como melhores modelos de predição para perda de massa o PCR ( $R^2=0,60$ ) e o PLSR ( $R^2=0,82$ ). Esses modelos são úteis para indicar a condição do parâmetro, tornando o uso da espectroscopia de refletância VIS-NIR uma técnica não destrutiva viável de análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pós-colheita. Qualidade. Quimiometria.

### **VIS-NIR REFLECTANCE SPECTROSCOPY FOR ANALYSIS OF MASS LOSS IN PACOVAN BANANAS**

**ABSTRACT:** The customer satisfaction regarding fruit quality is strongly related to presentable internal characteristics. Most of these characteristics are evaluated by destructive laboratory methods, which make the analysis process slow and highly dependent of materials and reagents. Therefore, non-destructive techniques, such as reflectance spectroscopy, have been inserted in the scope of qualitative evaluations quite prominently. The aim of this work is to analyze the loss of mass in bananas of the Pacovan variety, using VIS-NIR reflectance spectroscopy. A total of 192 bananas were stored at 25 °C for spectral acquisition between wavelengths of 450 and 1800 nm and subsequent laboratory analysis during 24 days. The regression methods adopted in the construction of calibration and multivariate validation models were PCR and PLSR. In the preprocessing stage, the smoothing of the signals by means of 1st and 2nd order derivatives and the correction of the signals, by means of the OSC (orthogonal signal correction), MSC (multiplicative signal correction) and SNV normal standard). The results presented as the best predictive models for mass loss, the PCR ( $R^2 = 0.61$ ) and the PLSR ( $R^2 = 0.87$ ). These models are useful for indicating the condition of the parameter, making the use of VIS-NIR reflectance spectroscopy a viable nondestructive technique of analysis.

**KEYWORDS:** Post-harvest. Quality. Chemometrics.

**INTRODUÇÃO:** A banana é a fruta mais consumida depois daquelas de natureza cítrica, tanto pelo fato de estar inserida no cotidiano alimentar de distintos eixos sociais, quanto por conter propriedades nutritivas. Apesar de ser altamente adquirida no âmbito do mercado nacional, é uma fruta de significativa perecibilidade, e que por isso demanda uma comercialização baseada em diversas ações que provenham as menores perdas de qualidade (BARROS; LOPES; WANDERLEY, 2008). Semelhante ao que pode ocorrer com outras culturas agrícolas, o conceito em torno da qualidade da banana por parte do consumidor pode ser formado pela observação das condições externas, relacionadas a cor, forma e tamanho, com o detalhe, porém, que o nível de satisfação quanto à características internas seja o que defina a contínua receptividade (CHEN; OPARA, 2013; OPARA; PATHARE, 2014; MAGWAZA; OPARA, 2015). Ainda que os métodos existentes para se monitorar a qualidade de tais características sejam utilizados de forma eficaz, têm o inconveniente de serem destrutivos, demorados, de alto custo e envolverem, em muitos dos casos, poucas amostras de análise (BLAKEY, 2011). A perda de massa, quando verificada na fruta interfere drasticamente na comercialização, por causar alterações em sua forma estética apresentável (LOUW; THERON, 2010). Embora não faça com que a fruta seja destruída, a avaliação comum da redução do peso adere um minoritário número de amostras. Em meio a tais questões, o desenvolvimento e uso de técnicas mais avançadas e não destrutiva como a de espectroscopia por refletância está emergindo gradualmente no setor de qualidade. A referida técnica quando combinada a diferentes métodos quimiométricos, que agregam uma série de pré-processamentos, realizados por regressões matemáticas, suavizações e correções de sinais, tornam-se ferramentas rápidas e de ótimo custo-benefício, quando incluídas no âmbito de avaliação interna de frutos de alto interesse comercial. Assim, o presente trabalho visa analisar a perda de massa em bananas da variedade Pacovan, por meio da espectroscopia de refletância VIS-NIR.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram avaliadas 192 bananas (*Musa spp.*) da variedade Pacovan, em estágio inicial de maturação, provenientes do Mercado do Produtor de Juazeiro – BA (Latitude: 09° 24' 42" S e Longitude: 40° 29' 55" W), livres de aplicação de substâncias, degrana e/ou limpeza e armazenadas por 24 dias em condição ambiente (temperatura de 25°C). A cada intervalo de três dias, 24 frutas eram direcionadas a aquisição espectral, no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA), e à consequentes medidas de massa em balança digital I2102 2100g (Bel *Engineering*, Itália) no Laboratório de Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPA), na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Os espectros foram mensurados por um espectroradiômetro FieldSpec 3 (*Analytical Spectral Devices*, Boulder, Colorado, USA) que possui faixa espectral de 350 a 2500 nm, resolução de 8 nm, tempo de leitura em 100 ms, precisão de  $\pm 1$  nm, matriz de fotodiodos detectores de In/Ga/As e uma fonte de luz de 70 W de quartzo-tungstênio-halogênio (Figura 1). As medições espectrais foram registradas com comprimentos de ondas situados entre 450 a 1800 nm, em dois diferentes lados da região central das amostras.

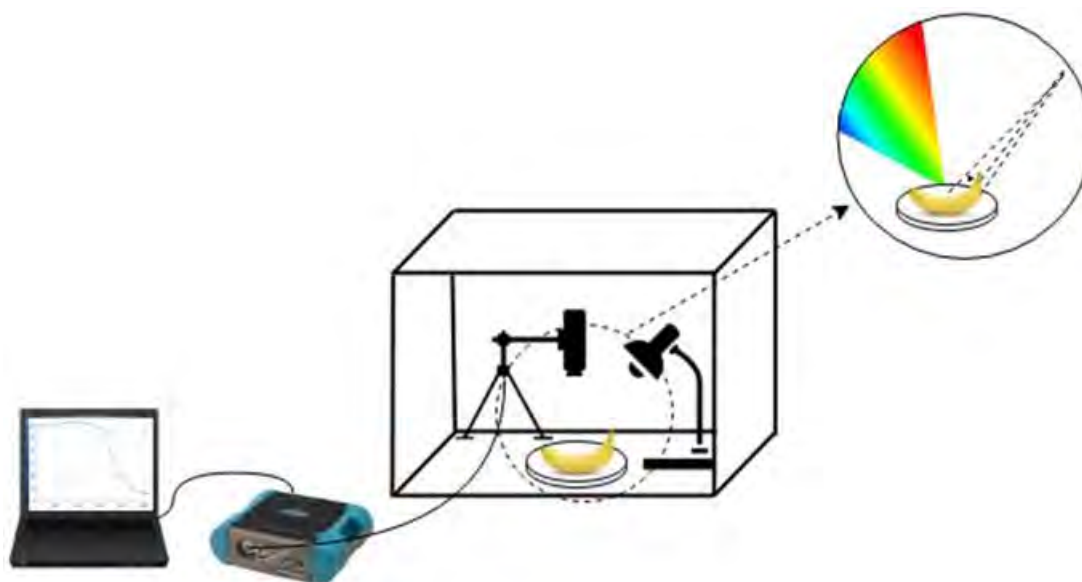


FIGURA 1. Delineamento do sistema de aquisição dos espectros VIS-NIR

O software RS<sup>3</sup> Spectral™ (*Analytical Spectral Devices*, Boulder, Colorado, USA) foi utilizado para obtenção de todas as medições de refletância que posteriormente foram transformadas em valores de

absorbância ( $\log(1/R)$ ), para viabilizar a correlação dos dados do espectro com a perda de massa do fruto. A absorbância de cada amostra avaliada foi resultante da média entre os seus dois diferentes lados centrais. No total, 144 amostras foram destinadas para calibração da técnica. O pré-processamento dos dados foi realizado por suavização através do filtro da mediana e do filtro da média móvel com tamanho de janelas 5, 9, 13, 17, 21 e 27 pontos. Sobre cada uma das janelas foi aplicada a primeira e segunda derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 7 e 21 pontos, assim como correção multiplicativa de sinal (MSC), variação normal padrão (SNV) e correção de sinal ortogonal (OSC) nos dados filtrados sem aplicação das derivadas e correções. A construção dos modelos de calibração e validação foi efetuada por *software* de estatística multivariada, que considera a absorbância como variável dependente e o parâmetro de qualidade como variável independente. Os métodos de regressão adotados na construção dos modelos foram o PCR (Regressão por Componentes Principais) e o PLSR (Regressão pelo Método de Quadrados Mínimos Parciais). Por meio dos parâmetros estatísticos correlação, R2, RMSEC, SEC e *bias* foram feitas as análises das performances dos modelos de calibração e validação. Os melhores modelos construídos são apresentados com o tipo de regressão (PCR ou PLSR) seguida da correção (MSC, SNV OU OSC) se houver, e pré-tratamentos denotados como (a, b, c, d), onde: o primeiro dígito é o número da derivada; o segundo é o número de janelas sobre a qual a derivada é calculada; o terceiro é o número de janela na suavização; e o quarto é o segundo alisamento (SHENK; WESTERHAUS, 1995).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os modelos construídos apresentaram o melhor desempenho com pré-processamento PCR (1, 21, 9,1) MF e PLSR (1, 21, 21,1) MA (Tabela 1) (Figura 2).

TABELA 1. Performance estatística dos melhores modelos construídos.

	Calibração		Validação Cruzada	
	PCR*	PLSR**	PCR*	PLSR**
Correlação	0,77	0,90	0,74	0,84
R2 (Pearson)	0,60	0,82	0,57	0,70
RMSE	11,43	7,69	12,13	9,88
SE	11,47	7,72	12,17	9,92
Bias	0,00	0,00	0,01	0,05

\*Pré-processamento filtro da mediana com janela de 9 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 21 pontos. \*\*Pré-processamento filtro da média móvel com janela de 21 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 21 pontos.

O modelo PLSR é visivelmente o mais apropriado para prever a perda de massa das frutas, visto dispor do maior coeficiente de determinação ( $R^2=0,82$ ) e do erro de menor significância ( $RMSEC=7,69$ ) na modelagem de calibração.

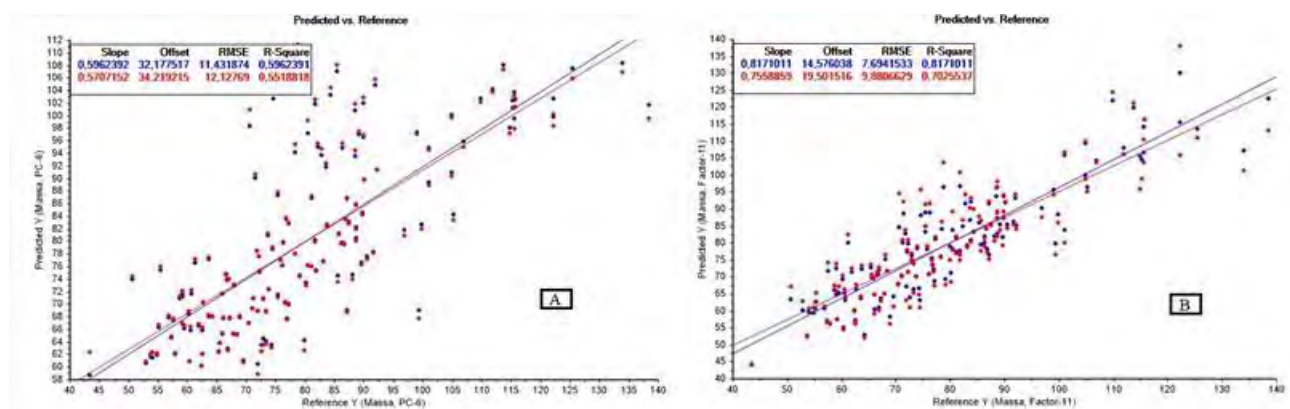


FIGURA 2. Predição para perda de massa com: modelo de regressão PCR filtro da mediana com janela de 9 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 21 pontos (A); e modelo de regressão PLSR filtro da média móvel com janela de 21 pontos e a primeira derivada com polinômio de segunda ordem e janela de 21 pontos (B).

Avaliando conteúdo de umidade em bananas pelo método de imagens hiperespectrais com uso de regressão MLR, Rajkumar et al. (2012), obtiveram coeficiente  $R^2=0,87$ , valor este, próximo ao designado no presente estudo. Olarewaju, Bertling e Magwaza (2016) assim como Siregar, Handayani e Saputro (2017), dispuseram

de coeficientes  $R^2=0,90$  e  $R^2= 0,96$ , trabalhando com espectroscopia NIR em abacates e imagens com bananas, respectivamente.

**CONCLUSÃO:** Os modelos matemáticos desenvolvidos a partir do método espectroscópico adotado são capazes de avaliar a perda de massa em bananas, de maneira que a calibração pela regressão PLSR se configura como a de melhor desenvoltura para predizer o referido parâmetro de qualidade. Com isso, é possível dizer que há viabilidade no uso da espectroscopia de refletância VIS-NIR como método não destrutivo de análise.

## REFERÊNCIAS

BARROS, M. A. B.; LOPES, G. M. B.; WANDERLEY, M. DE B. Cadeia Produtiva da Banana: consumo, comercialização e produção no Estado de Pernambuco. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 39, n. 1, 2008.

BLAKEY, R.J. Management of Avocado Postharvest Physiology. **Department of Horticultural Science, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg**, 171p., 2011.

CHEN, L. OPARA, U.L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods—a review **Food Research International**, v.51, p.823-835, 2013.

LOUW, E. D.; THERON, K. I. Robust prediction models for quality parameters in Japanese plums (*Prunus salicina* L.) using NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 58, p. 176–184, 2010.

MAGWAZA, L.S. OPARA, U.L. Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products A—review. **Scientia Horticulturae**, v.184, p. 179-192, 2015.

OLAREWAJUA, O. O.; BERTLINGA, I.; MAGWAZA, L. S. Non-destructive evaluation of avocado fruit maturity using near infrared spectroscopy and PLS regression models. **Scientia Horticulturae**, p.229–236, 2016.

OPARA, U.L., PATHARE, P.B. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce—A review. **Postharvest Biology and Technology**, v.91, p. 9-24, 2014.

RAJKUMAR, P. et al. Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. **Journal of Food Engineering**, vol. 108, p.194–200, 2012.

SIREGAR, S. T. W.; HANDAYANI, W.; SAPUTRO, A. H. Bananas Moisture Content Prediction System using Visual-NIR Imaging. In: **5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA)**. Yogyakarta, Indonesia, 2017.

## **ESTIMATIVA DE BIOMASSA DA CULTURA DO MILHO POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**MAILSON FREIRE DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, DANILO TEDESCO DE OLIVEIRA<sup>2</sup>, FRANCIELE MORLIN CARNEIRO<sup>3</sup>, CRISTIANO ZERBATO<sup>4</sup>, CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng° Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone: (94) 981186455, mailsonagronomia@gmail.com

<sup>2</sup>Tecn° Mecanização em Agricultura de Precisão, Mestrando em Agronomia (Ciência do solo), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>3</sup>Engª Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>4</sup>Eng° Agrônomo, Prof. Dr., Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

<sup>5</sup>Eng° Agrônomo, Prof. Dr. Titular, Depto. Eng. Rural, UNESP, Jaboticabal – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** É inviável a aplicação de metodologias manuais de determinação de massa em grandes quantidades de amostras, surge então a necessidade de se desenvolver métodos que permitam a aplicação em larga escala, uma alternativa para isso pode ser a utilização de estimativas por meio do uso de dados de sensores remotos proximais. Neste sentido, objetivou-se por meio desta pesquisa investigar a possibilidade de utilização de RNA sob diferentes arquiteturas para estimativa de biomassa da cultura do milho. As variáveis analisadas foram: altura (cm), diâmetro de colmo (mm), área foliar (cm<sup>2</sup>), biomassa fresca (g), NDVI, IRVI e NDRE. Testaram-se diferentes arquiteturas de RNA, variando as entradas (variáveis) e a quantidade de neurônios nas camadas ocultas (6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 e 30), avaliando o desempenho das redes quando a acurácia (erro absoluto percentual) e precisão (R<sup>2</sup>). As arquiteturas utilizando o NDRE como entrada e 15 neurônios mostrou-se o modelo mais parcimonioso possuindo melhor acurácia (MAPE 25 %) e precisão (R<sup>2</sup> 0,86), isto significa que com um sensor capaz de gerar o NDRE o produtor utilizando o modelo neural proposto nessa pesquisa poderá gerar estimativas de biomassa da cultura do milho com precisão entre 86%. O aprendizado de máquinas por meio da utilização de redes neurais artificiais mostrou-se uma ferramenta com potencial para estimar de biomassa da cultura do milho usando dados de sensoriamento remoto proximal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aprendizado de máquinas, sensores remotos proximais, *Zea mays* L.

### **CORN BIOMASS STIMATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**ABSTRACT:** It is impracticable to apply manual methodologies of mass determination on a large area, and then arises the need to develop methods that allow the large scale application an alternative to this may be the use estimative based on data fromproximal remote sensors. In this sense, the objective of this research was to investigate the possibility of using RNA under different architectures to estimate the mass of the corn crop. The variables analyzed were: height (cm), stem diameter (mm), leaf area (cm<sup>2</sup>), fresh biomass (g), NDVI, IRVI and NDRE. Different RNA architectures were tested by varying the inputs (variables) and the number of neurons in the hidden layers (6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 and 30), evaluating the performance of the networks when the accuracy (absolute percentage error) and precision (R<sup>2</sup>). The architectures using the NDRE as input and 15 neurons showed the most parsimonious model having the best accuracy (MAPE 25%) and precision (R<sup>2</sup> 0.86), this means that with a sensor capable of generating the NDRE the producer using the neural model proposed in this research can generate biomass estimates of the corn crop with precision between 86%. The machine learning through the use of artificial neural networks has proved to be a tool with great potential to estimate maize biomass using proximal remote sensing data.

**KEYWORDS:** Machine learning, proximal remote sensing, *Zea mays* L.



**INTRODUÇÃO:** O milho tem sido a forrageira de maior utilização no processo de ensilagem (Dias 2001). A produtividade total de massa é o principal objetivo dos programas de melhoramento visando à ensilagem (Guareschi et al. 2010). A determinação da massa de milho é feita geralmente por meios manuais de corte e pesagem em balaça, como realizado por Guareschi et al. (2010). Este tipo de metodologia é inviável para aplicação em larga escala, no entanto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para utilização de métodos que estimem variáveis morfológicas de plantas, uma das técnicas de estimativas é por sensoriamento remoto proximal como a realizada por Oliveira (2017) que desenvolveu modelos lineares para estimativa de produtividade de milho usando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Entretanto, a utilização de modelos lineares e não lineares requerem premissas (Seber e Wild, 2003) o que na prática nem sempre se consegue atender aos pressupostos de modelos lineares ou não, surge então a necessidade de se aplicar métodos que não necessitam pressupostos, uma alternativa para isso pode ser a utilização de redes neurais artificiais (RNA). As redes neurais artificiais (RNA) são interconexões maciçamente paralelas de neurônios simples que funcionam como um sistema coletivo (Kohonen, 1988). Seu desenvolvimento foi inspirado no modelo artificial de neurônios biológicos descrito por McCulloch e Pitts (1943), e formam uma alternativa ao uso de modelos de regressão para o estudo de processos biológicos (Savegnago et al. 2011). Baseado no conhecimento de que o aprendizado de máquinas por meio da utilização de RNA pode aprender com um conjunto de dados e pode realizar generalizações, pressupõe-se que esta técnica pode estimar a massa da cultura do milho. Neste sentido, objetivou-se por meio desta pesquisa investigar a possibilidade de utilização de RNA sob diferentes arquiteturas da rede para estimativa de massa da cultura do milho.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE-UNESP/Jaboticabal), no estado de São Paulo, localizada em torno das coordenadas 21°14' S e 48°16' W, com altitude média de 568 m e declividade média de 4%. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2013), em lavoura experimental de milho (*Zea mays* L.) sob espaçamento de 0,45 m e população de 60 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual em torno de 22,2°C. A amplitude térmica anual apresenta-se com temperatura média no mês mais frio em torno de 18°C e a temperatura mais quente em torno de 32°C. Esta região apresenta precipitação pluviométrica média anual de 1424 mm. As variáveis analisadas em delineamento em blocos casualizados foram: altura (cm) e diâmetro de colmo (mm) com o auxílio de trena graduada, área foliar (cm<sup>2</sup>) com o auxílio do medidor de área foliar Licor Modelo LI-3100, NDVI, IRVI e NDRE e massa fresca por meio de pesagem utilizando balança com precisão de 0,1 g. Para aquisição do índice NDRE foi utilizado um sensor remoto proximal ativo OptRx® (AgLeader, 2202, South River Side Drive Ames, IOWA 50010, USA) a 0,6 m do dossel da planta e para os índices NDVI e IRVI utilizou-se o sensor GreenSeeker™ 505 hand-held optical sensor (N-Tech Industries, Ukiah, CA). Estes sensores emitem ondas no espectro do visível (Vermelho, 670 nm (OptRx®), 656 nm (GreenSeeker™)) e invisível (Infravermelho próximo, 730 nm (OptRx®), 774 nm (GreenSeeker™) e Red-Edge, 780 nm (OptRx®)), os quais permitem a geração dos índices de vegetação (Eq. 1, 2 e 3):

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{RE-V}{RE+V} \quad (2)$$

$$IRVI = \frac{V}{IVP} \quad (3)$$

onde:

NDVI é o índice de Vegetação da Diferença normalizada, NDRE é o índice de Vegetação da diferença normalizada pelo Red-Edge, IRVI é o índice inverso da razão simples, IVP é o infravermelho próximo, V é a reflectância na banda do vermelho e RE é a reflectância na banda do Red-Edge.

As estimativas de massa fresca foram obtidas por meio de redes neurais artificiais implementadas no software Statistica versão 7.0, sendo redes do tipo multicamadas (*Multilayer Perceptron* “MLP”), testadas diferentes arquiteturas de rede, variando a quantidade de neurônios nas camadas ocultas sendo oito variações e as entradas, as quais foram testadas estimativas com todas as variáveis estimando biomassa fresca e somente os índices de vegetação como entrada resultando em 32 combinações (Tabela 1).

TABELA 1. Composição das arquiteturas testadas

Variável	Neurônios/ camada oculta							
TV*	6	8	10	12	15	20	25	30
NDVI**	6	8	10	12	15	20	25	30
IRVI***	6	8	10	12	15	20	25	30
NDRE****	6	8	10	12	15	20	25	30

\*Todas as variáveis para estimar biomassa, \*\* Índice de vegetação da diferença normalizada, \*\*\* Índice inverso da razão simples, \*\*\*\* Índice de Vegetação da diferença normalizada pelo Red-Edge.

A camada de entrada constituiu-se das variáveis mensuradas no experimento, a camada de entrada é responsável pelo recebimento de informações (dados) advindas do meio externo, padronizou-se duas camadas ocultas as quais são compostas por neurônios que possuem a responsabilidade de extrair as características associadas ao processo ou sistema a ser inferido e a camada de saída a variável estimada pela rede, sendo: biomassa fresca, esta camada também é constituída de neurônios, sendo responsável pela produção e apresentação dos resultados finais da rede, os quais são advindos dos processamentos efetuados pelos neurônios das camadas anteriores (Figura 1).

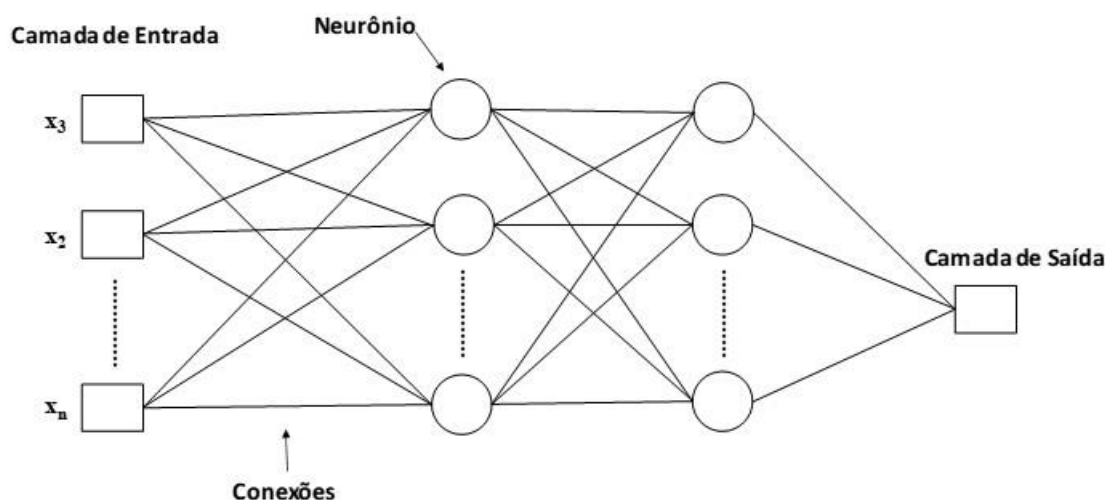


FIGURA 1. Exemplo esquemático da estrutura de rede neural.

O método de aprendizagem da rede foi o supervisionado, o treinamento supervisionado é um caso típico de inferência indutiva pura, em que os parâmetros livres da rede são ajustados em função de se conhecer a priori quais são as saídas desejadas ao sistema investigado, o qual no sistema estudado é a biomassa fresca de milho. As redes neurais MLP usadas neste estudo utilizaram o método de aprendizado supervisionado por meio do algoritmo de retro propagação dos erros (*Back Propagation*). Estas foram interconectadas por forças de conexão representadas por valores que são chamados de pesos sinápticos, os quais são responsáveis pelo armazenamento do conhecimento adquirido. Os valores usados nas camadas de entrada foram normalizados de acordo com a equação 4, a normalização implica numa melhor precisão numérica frente as operações matemáticas realizadas pela rede.

$$y_i = \frac{x_i - x_{\max}}{x_{\max} + x_{\min}} \quad (4)$$

onde:

$x_i$  é o valor do vetor de entrada (exemplo: clorofila média),  $x_{\min}$  é o mínimo valor,  $x_{\max}$  é o máximo valor.

O valor de saída de cada neurônio na cama  $k$  é expresso por  $y_k = g(a_k)$  onde  $g$  é a função de ativação de  $a_k$  e  $a_k$  é a função sináptica, a qual é uma combinação linear dos valores de entrada normalizada e os pesos sinápticos como mostrado na equação 5.

$$a_k = \sum_j y_j w_{kj} \quad (5)$$

onde:

$w_{kj}$  são os pesos sinápticos ligando os  $y_j$  valores de entrada com cada  $k$  neurônio.

A transferência ou função de ativação nos neurônios de cada camada oculta foi a função hiperbólica, mostrada na equação 5.

$$g(a_k) = \frac{e^{ak} - e^{-ak}}{e^{ak} + e^{-ak}} \quad (5)$$

onde  $e$  é o algoritmo Neperiano

A acurácia e precisão do modelo de rede neural MLP proposto, foi avaliado pelo cálculo do erro absoluto percentual (MAPE) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) conforme as equações 6 e 7 respectivamente.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| * 100 \right)}{n} \quad (6)$$

onde:

$n$  é o número de dados,  $Y_{est_i}$  é o valor da variável estimada pela rede e  $Y_{obs_i}$  é o valor da variável observado.

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (7)$$

onde:

SQR é a soma dos quadrados dos resíduos e SQT é a soma dos quadrados totais.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 2 apresenta os valores do ranque da análise de sensibilidade das arquiteturas das RNAs utilizando todas as variáveis. O diâmetro de colmo e altura de planta foram as variáveis de maior significância na estimativa da biomassa fresca da cultura do milho estando o diâmetro ranqueado entre primeira ou segunda e a altura em terceira e quarta posição na ordem de importância para as estimativas, fator esse que se deve a razões fisiológicas de crescimento, no entanto, estas variáveis para compor a RNA dificulta sua aplicação de forma prática, pois requer trabalho manual no processo de coleta. Os índices de vegetação variaram suas posições na análise de sensibilidade, dependendo do número de neurônios nas camadas ocultas, embora, esta análise não deva ser utilizada como único critério para a definição das variáveis que irão compor as RNAs, já que estas devem ser determinadas com base em outras análises estatísticas como o desempenho de acurácia (MAPE) e precisão ( $R^2$ ) da RNA durante o treinamento e validação, e ponderadas por critérios operacionais de coleta das informações.

Tabela 2. Ranque de sensibilidade das redes neurais artificiais utilizadas para estimativa de biomassa fresca de milho.

Número de Neurônios	Coleta manual			Coleta por sensores		
	Área Foliar	Altura	Diâmetro	NDVI	IRVI	NDRE
(TV*) 6	3	2	1	5	4	6
(TV*) 8	5	3	2	1	4	6
(TV*) 10	6	4	2	5	1	3
(TV*) 12	6	3	1	5	2	4
(TV*) 15	6	5	2	4	1	3
(TV*) 20	6	4	1	5	3	2
(TV*) 25	6	3	1	4	2	5
(TV*) 30	5	2	1	3	4	6

\* Todas as variáveis estimando biomassa fresca

A Tabela 3 mostra que os modelos neurais utilizando todas as variáveis apresentaram maiores coeficientes de determinação e menores erros na fase de treinamento, em comparação com as outras arquiteturas testadas, onde as informações de entrada foram alteradas, independente da quantidade de neurônios utilizados, no entanto, observando os resultados de validação, à arquitetura composta por oito neurônios foi o modelo de melhor parcimônia em termos de precisão ( $R^2$  0,77) e acurácia (MAPE 29,05), ainda que a arquitetura com 6 neurônios tenha apresentado maior precisão ( $R^2$  0,80), por outro lado, sua acurácia foi inferior apresentando erro cerca de 4% maior que a RNA usando 8 neurônios.

Tabela 3. Resultado de treinamento e validação das diferentes arquiteturas de redes neurais artificiais.

Todas as Variáveis						
Neurônios	Correlação		R <sup>2</sup>		MAPE	
	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação
6	0,971	0,894	0,94	0,80	23.979	33.629
8	0,973	0,878	0,95	0,77	16.237	29.055
10	0,980	0,879	0,96	0,77	20.420	30.186
12	0,980	0,883	0,96	0,78	16.437	33.829
15	0,990	0,885	0,98	0,78	13.862	44.891
20	0,994	0,829	0,99	0,69	10.852	33.014
25	0,997	0,795	0,99	0,63	10.649	39.093
30	0,995	0,892	0,99	0,80	9.117	45.408
NDRE						
Neurônios	Correlação		R <sup>2</sup>		MAPE	
	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação
6	0,869	0,931	0,74	0,87	40.239	31.003
8	0,860	0,929	0,74	0,86	37.799	29.940
10	0,860	0,934	0,74	0,87	38.335	29.139
12	0,860	0,932	0,74	0,87	38.332	29.228
15	0,856	0,926	0,73	0,86	32.590	25.004
20	0,868	0,932	0,75	0,87	35.689	30.846
25	0,860	0,932	0,74	0,87	37.978	30.163
30	0,868	0,932	0,75	0,87	35.648	31.709
NDVI						
Neurônios	Correlação		R <sup>2</sup>		MAPE	
	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação
6	0,701	0,802	0,49	0,64	210.887	198.814
8	0,702	0,803	0,49	0,64	173.217	157.487
10	0,702	0,804	0,49	0,65	210.061	199.568
12	0,703	0,804	0,49	0,65	138.739	118.685
15	0,719	0,785	0,52	0,62	66.402	44.763
20	0,717	0,781	0,51	0,61	66.444	46.656
25	0,713	0,778	0,51	0,60	66.492	50.903
30	0,718	0,789	0,51	0,64	66.863	46.538
IRVI						
Neurônios	Correlação		R <sup>2</sup>		MAPE	
	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação
6	0,704	0,804	0,50	0,65	69.120	45.759
8	0,704	0,802	0,50	0,64	91.760	67.291
10	0,704	0,803	0,50	0,64	166.651	151.657
12	0,704	0,804	0,50	0,65	66.737	44.157
15	0,669	0,753	0,45	0,57	111.088	92.499
20	0,705	0,804	0,50	0,65	67.671	43.014
25	0,715	0,781	0,51	0,61	66.456	45.512
30	0,722	0,781	0,52	0,61	70.591	49.007

Apesar das RNAs utilizando todas as variáveis terem apresentado melhor desempenho durante a fase de treinamento, estes modelos não foram os mais parcimoniosos, pois em termos de aplicabilidade prática seria inviável devido à demanda de grande quantidade de sensores para a geração dos três índices de vegetação e a enorme quantidade de variáveis de coleta manual, gerando um modelo oneroso para sua alimentação de informações. Avaliando termos práticos e estatísticos, pode-se inferir, que as arquiteturas utilizando o NDRE como entrada e seis ou oito neurônios mostraram-se os modelos mais parcimoniosos, pois apesar de ter apresentado menor precisão e acurácia na fase de treinamento, apresentou precisão maior e erros próximos na fase de validação quando comparado a melhor arquitetura que utiliza todas as variáveis e oito neurônios. Em termos práticos isto significa que com um sensor capaz de gerar o NDRE o produtor utilizando o modelo neural proposto nessa pesquisa poderá gerar estimativas de biomassa da cultura do milho com precisão entre 86 e 87% (Tabela 3). A vantagem de usar redes neurais é que elas podem ser ajustadas a qualquer tipo de conjunto de dados e não requerem premissas de modelo do tipo requerido em metodologias não-lineares (Seber e Wild, 2003). Uma desvantagem dos modelos de rede neural é que eles não fornecem parâmetros que podem ser úteis para fins comparativos e de desenvolvimento (Savegnago et al. 2011). Roush

et al. (2006) relataram que é impossível comparar uma rede neural com outros modelos ou com conjuntos de dados de outras populações, levando em conta os pesos sinápticos das redes neurais.

**CONCLUSÃO:** O aprendizado de máquinas por meio da utilização de redes neurais artificiais mostrou-se uma ferramenta com potencial para estimar de biomassa da cultura do milho usando dados de sensoriamento remoto proximal.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

## REFERÊNCIAS

DIAS, A.M.A.; BATISTA, A.M.V.; FERREIRA, M.A.; LIRA, M.A.; SAMPAIO, I.B.M. Efeito do estágio vegetativo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) sobre a composição química da silagem, consumo, produção e teor de gordura do leite para vacas em lactação, em comparação à silagem de milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2086-2092, 2001.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

GUARESCHI, F.G.; BRASIL, R.B.; PERIN, A.; RIBEIRO, J.M.M. Produção de silagem de híbridos de milho e sorgo sem nitrogênio de cobertura em safra de verão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n. 4, 2010.

KOHONEN, Teuvo. An introduction to neural computing. **Neural networks**, v. 1, n. 1, p. 3-16, 1988.

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **The bulletin of mathematical biophysics**, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943.

OLIVEIRA, M. **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal - SP, p. 44. 2017.

ROUSH, W. B.; DOZIER, R.D, W. A.; BRANTON, S. L. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 794-797, 2006.

SAVEGNAGO, R.P.; NUNES, B.N.; CAETANO, S.L.; FERRAUDO, A.S.; SCHIMIDT, G.S.; LEDUR, M.C.; MUNARI, D.P. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. **Poultry Science**, v. 90, n. 3, p 705-711, 2011.

SEBER, G.A.F.; WILD, C.J. **Nonlinear regression**. Hoboken: John Wiley & Sons Google Scholar. 2003.

## **ESTUDO PRELIMINAR PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DO NDVI CALCULADO A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS**

**EDSON PATTO PACHECO<sup>1</sup>, MARCIA HELENA GALINA DOMPIERI<sup>2</sup>, ANTONIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA<sup>3</sup>, JONATHA PFAFFMANN DE ALMEIDA COUTO<sup>4</sup>, CELSO HIROSHI HAYASI<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju – SE, Fone: (79) 40091303, edson.patto@embrapa.br

<sup>2</sup> Geógrafa, Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju – SE

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Tecnoparts – Agricultura de Precisão, Aracaju – SE.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> de Produção, Invento Geosoluções, Aracaju – SE.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Uma das causas da ineficiência do uso de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho é a dificuldade em estimar em tempo hábil a necessidade da adubação nitrogenada por meio de análises do solo e/ou planta. Na procura de viabilizar o processo de recomendação de adubação nitrogenada em tempo real, trabalhos de pesquisa têm sido realizados para detectar a deficiência de nitrogênio utilizando sensoriamento remoto. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso do NDVI calculado por meio do processamento de imagens multiespectrais obtidas com câmera embarcada em VANT, para recomendação da aplicação de fertilizantes nitrogenados com taxa variada em estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho. Conforme resultados obtidos com este trabalho, foi possível concluir que a determinação do NDVI no estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho, por meio de imagens aéreas, é compatível com a determinação do índice utilizando sensor ótico ativo. O NDVI calculado a partir de imagem aérea no estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho pode ser utilizado para previsão da produtividade da cultura, e é viável para recomendação de adubação nitrogenada com taxa variada. Para aumentar a precisão da recomendação de adubação nitrogenada por meio do NDVI, é necessária a alimentação de banco de dados para geração de algoritmos compostos por variáveis que interferem no aumento ou diminuição do NDVI alvo, a exemplo do risco climático, preço do fertilizante, preço do produto, e nível tecnológico genético, fitossanitário e de nutrição de plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Vegetação; Imagem Multiespectral; VANT; Adubação em Taxa Variada.

### **VIBILITY OF THE NITROGEN FERTILIZATION RECOMMENDATION FOR CORN CULTURE IN THE FUNCTION OF THE NDVI CALCULATED FROM AIR IMAGES**

**ABSTRACT:** One of the causes of the nitrogen fertilizer use inefficiency in corn crop is the difficulty to estimate in a timely manner the nitrogen application rate by soil and/or plant analyzes. In the search for feasibility of the recommendation process of nitrogen fertilization in real time, research work has been carried out to detect nitrogen deficiency using remote sensing. The objective of this work was to evaluate the feasibility of using the NDVI calculated through the processing of multispectral images obtained by the Sequoia camera (Micasense™) mounted in UAV, to recommend the nitrogen fertilizers with varied rates through the initial stage of development of the maize crop. According to the results obtained, it was possible to conclude that the determination of the NDVI in the initial stage of development of the maize crop, through aerial images, is compatible with the determination of the index using active optical sensor (GreenSeeker®). The NDVI calculated from the aerial image in the initial stage of development of the maize crop can be used to predict crop productivity and is feasible for recommending nitrogen fertilization with a varied rate. In order to increase the precision of the nitrogen fertilization recommendation through the NDVI, it is necessary to feed the database to generate algorithms composed of variables that interfere with the increase or decrease

of the target NDVI, such as climatic risk, fertilizer and product prices, technological level genetic, phytosanitary and nutritional level of plants.

**KEYWORDS:** Vegetation Index; Multispectral Image; UAV; Variable Rate Fertilizer.

**INTRODUÇÃO:** O manejo da adubação nitrogenada é um dos fatores mais importantes em um sistema de produção para maximizar a produtividade e retorno econômico para os agricultores. O nitrogênio (N) é necessário em grandes quantidades e é o nutriente o mais móvel e dinâmico no solo. É bem documentado que a física do solo e as propriedades químicas são espacialmente variáveis e afetam a dinâmica do N, bem como os mecanismos para suas perdas. Portanto, o uso do sistema de manejo em zonas específicas pode ser utilizado para melhorar a eficiência na utilização do N, para aumentar a produtividade e reduzir as perdas de N para o meio ambiente. Existe uma dificuldade em estimar em tempo hábil a necessidade da adubação nitrogenada na cultura do milho por meio de análises do solo e/ou planta. Por isso, pesquisadores têm estudado o uso de sensores ópticos para detectar a deficiência de nitrogênio utilizando sensoriamento remoto. Vários sensores com base em refletância do dossel de lavouras ou transmitância através das folhas estão comercialmente disponíveis, e são capazes de estimar a deficiência de nitrogênio em função do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou índice SPAD, respectivamente (Longchamps and Khosla, 2014). No entanto, em condições de difícil acesso ao interior de glebas com grandes extensões, a obtenção de mapas temáticos de taxas variáveis de adubação nitrogenada pode se tornar dispendiosa, devido a necessidade da grande quantidade de pontos amostrais, no caso de áreas com muita variabilidade espacial de deficiência de nitrogênio. Entretanto, câmeras embarcadas em VANTs têm sido usadas para obtenção de imagens em duas bandas, uma na faixa visível vermelho e outra na faixa do infravermelho, necessárias para o cálculo do NDVI. Esse tipo de equipamento pode ser uma alternativa viável para tomadas de decisão em tempo quase real, podendo cobrir grandes áreas em um curto espaço de tempo. Porém, é necessário estudos para avaliar a viabilidade por meio da obtenção de dados suficientes para gerar algoritmos em cada condição específica, que vai variar com o tipo de solo, clima, material genético, dentre outros fatores. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso do NDVI, calculado por meio do processamento de imagens multiespectrais obtidas com uma câmera embarcada em VANT, para recomendação da aplicação de fertilizantes nitrogenados com taxa variada em estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para obtenção dos resultados, foi conduzido um experimento na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada no município de Nossa Senhora das Dores - SE. O solo (TABELA – 1) é classificado como Argissolo vermelho amarelo, textura argilosa, distrófico e relevo ondulado, com coordenadas geográficas 10°27'44"S e 37°11'38"W, altitude média de 200 m, temperatura média de 26°C e pluviosidade média anual de 1150mm. A região pode ser considerada uma transição do agreste com tabuleiros costeiros, onde a semeadura de culturas anuais ocorre da segunda quinzena de maio a primeira de junho e a colheita entre a segunda quinzena de outubro e primeira de novembro, dependendo do ciclo da cultivar utilizada.

TABELA 1. Propriedades químicas e físicas do solo na profundidade de 0 a 0,2 m de profundidade.

pH H <sub>2</sub> O	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	%V	Argila
-	dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>
5,49	2,34	6,35	65,33	2,10	1,25	<0,1	3,13	6,65	53	290

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, no esquema fatorial 5x2, mais uma testemunha (0 N na cobertura), totalizando 44 parcelas experimentais. Para compor os tratamentos foram considerados cinco níveis de adubação nitrogenada em cobertura (50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N), utilizando como fonte a Ureia perolada (46% de N) e Nitrato Yarabela (27% de N), que foram distribuídos manualmente quando as plantas de milho apresentavam quatro folhas completamente expandidas (estágio fenológico V4). A adubação de semeadura utilizada foi na proporção de 40-100-80 kg ha<sup>-1</sup>, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, o que totalizou as doses em 40, 90, 140, 190, 240 e 290 kg ha<sup>-1</sup> de N. A semeadura foi realizada em parcelas compostas por seis linhas de 10 m de comprimento no espaçamento de 0,5 m entre linhas (30 m<sup>2</sup>), utilizando semeadora-adubadora de plantio direto, regulada para densidade de semeadura de 70.000 sementes por hectare, do híbrido Status da marca Syngenta.

Nos estágios fenológicos de seis folhas (V6) e de dez folhas (V10) foram realizadas as avaliações nas duas linhas centrais das parcelas, com o objetivo de mensurar o efeito das diferentes níveis de adubação e fontes

de N. Para isso foi determinado o NDVI\_GS por meio do sensor ótico ativo GreenSeeker® portátil da marca Trimble e o NDVI\_SQ estimado por meio de imagens aéreas com câmera Sequoia-Micasense®. Para obtenção do NDVI\_GS, o gatilho do equipamento foi mantido acionado durante o caminhamento com o sensor posicionado sobre uma das duas linhas centrais, mantendo uma distância de aproximadamente 0,6 m acima do dossel. Para obtenção das imagens, nas bandas infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED), foi utilizada uma câmera Sequoia-Micasense embarcada em VANT do tipo quadricóptero, que sobrevoou o experimento a 40 m da superfície, nas duas épocas descritas anteriormente. Para confecção dos mosaicos foram utilizadas 59 imagens para cada banda (NIR e RED), que apresentavam tamanho de pixel de 4 cm. Após a obtenção dos mosaicos das duas bandas espectrais, foi utilizado o software QGIS 2.18.5 para recortar o centro das parcelas experimentais e realização do cálculo de raster:  $NDVI_{SQ} = (NIR-RED)/(NIR+RED)$ . No estágio V6 foram coletadas folhas para análise de teor de nitrogênio (N-V6). Foram coletadas aleatoriamente 10 folhas em cada parcela útil (2 linhas centrais), selecionando a primeira folha totalmente aberta de 10 plantas. Ao final do ciclo do milho foram determinadas as produtividades de cada parcela experimental, para estabelecer as correlações da produtividade da cultura com o NDVI obtido por meio dos dois sensores utilizados na pesquisa.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Conforme resultados obtidos, pela análise de variância não houve diferença significativa entre as duas fontes de N, assim como para a interação da fonte com doses de N. No entanto, houve diferença significativa para doses de N, independente da fonte utilizada. Para as duas épocas de avaliação distintas, foram realizadas análises de regressão para verificar o comportamento do NDVI\_GS, NDVI\_SQ, teor de N nas folhas e produtividade de grãos de milho em função das doses de N. As curvas de regressão do NDVI em função das doses de N apresentaram os melhores ajustes com a função quadrática (FIGURA 1). O NDVI obtido pela medida direta com GreenSeeker (NDVI\_GS) e o NDVI calculado a partir de imagens aéreas com a câmera Sequoia (NDVI\_SQ) apresentaram comportamentos similares, tanto para fase fenológica de V6 quanto para a fase fenológica V10, conforme pode se observado nas Figuras 1A e 1B, respectivamente. Esse resultado demonstra uma correlação significativa entre NDVI\_GS e o NDVI\_SQ, confirmando a viabilidade do uso de imagens aéreas para estimativa do NDVI em lavouras de milho em estágio inicial de desenvolvimento, tomando por referência o uso de um sensor ótico ativo operado manualmente (GreenSeeker). Resultados semelhantes foram encontrados por Pacheco et. al (2016), quando estudaram o efeito de doses de N sobre o NDVI de trigo no estágio inicial de desenvolvimento.

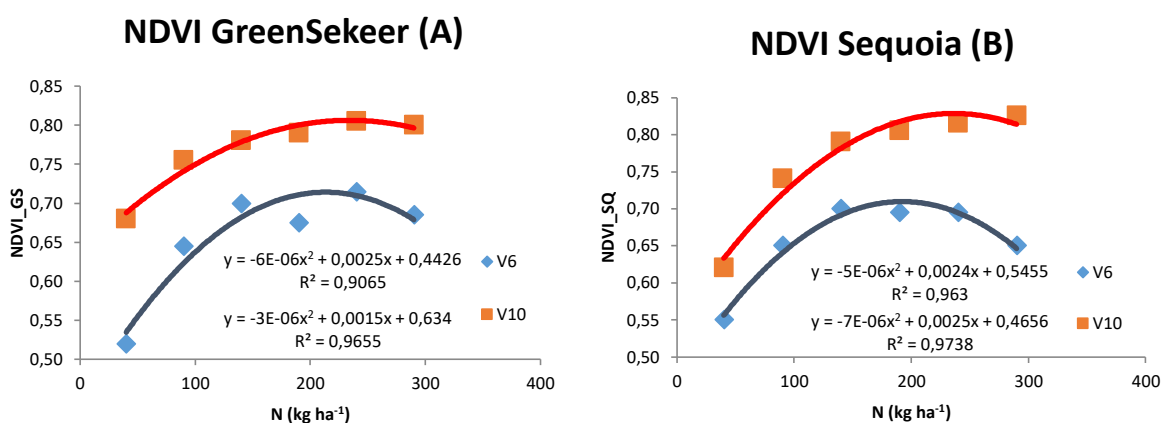


FIGURA 1. Resposta do NDVI\_GS (A) e NDVI\_SQ (B) em função de doses crescentes de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

Independente do tipo de sensor, o NDVI apresentou um aumento significativo do estágio fenológico V6 para V10, apresentando para V6 um valor máximo de 0,70 e 0,69 para o NDVI\_GS e NDVI\_SQ, e para V10 um valor máximo de 0,82 e 0,83 para o NDVI\_GS e NDVI\_SQ, respectivamente. Portanto, os dois métodos estimaram valores máximos de NDVI o similares tanto para V6 quanto para V10, correspondendo às doses médias de 193 kg ha<sup>-1</sup> e 245 kg ha<sup>-1</sup> de N, para as duas fases fenológicas, respectivamente. Essa diferença da dose necessária para obter o NDVI máximo corrobora com a importância da consideração do estágio de desenvolvimento da cultura para compor a modelagem do NDVI alvo, essencial para o cálculo e recomendação da adubação nitrogenada em taxas variadas, por meio de sensores de NDVI.



A produtividade de grãos de milho em função da dose N também teve o melhor ajuste com o modelo quadrático, apresentando um valor máximo de produtividade de 9.740 kg ha<sup>-1</sup>, correspondente a uma dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N (FIGURA 2). Entre as dose de 50 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N foram observados os maiores gradientes de efeitos sobre produtividade do milho, apresentando gradiente de resposta menor com o aumento da dose, principalmente a partir de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N (FIGURA 2). É interessante observar que a resposta do NDVI apresenta comportamento semelhante, ou seja, a partir de 200 kg ha<sup>-1</sup>, observa-se uma menor resposta do aumento do NDVI, em função do incremento de doses de N (FIGURA 1).

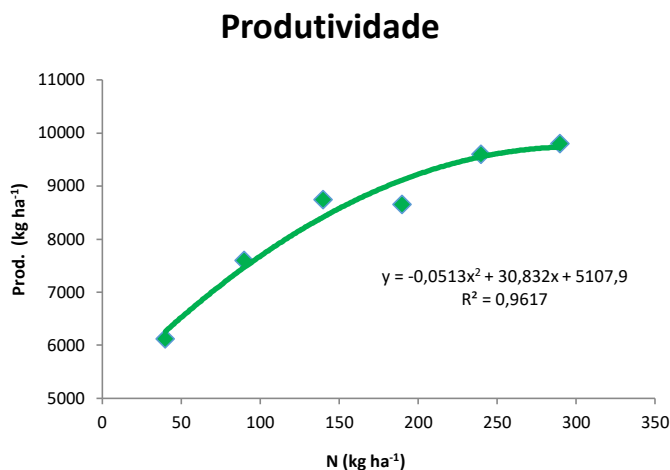


FIGURA 2 – Resposta da produtividade de milho, em função de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura.

A concentração de N nas folhas da planta no estágio fenológico V6 também apresentou uma resposta quadrática em função das doses crescentes de N, obtendo uma concentração máxima de 33,22 g kg<sup>-1</sup> de N nas folhas, obtido com uma dose estimada de 313 kg ha<sup>-1</sup> de N (FIGURA 3). Similar ao comportamento do NDVI e produtividade do milho em função de doses crescentes de N, o teor de N nas folhas de milho apresentam maiores gradientes no início da curva, apresentado menor respostas para doses acima de 200 ha<sup>-1</sup> de N.

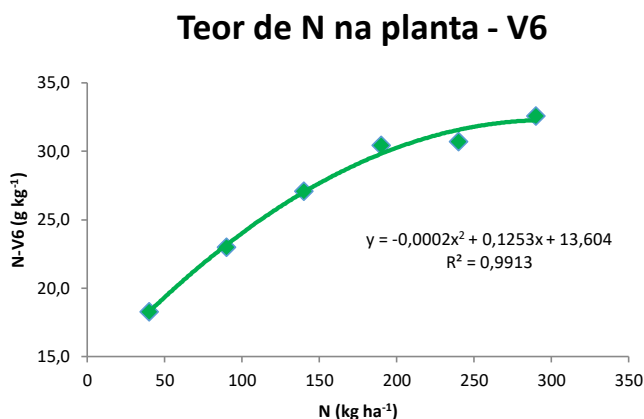


FIGURA 3 – Resposta do teor de nitrogênio (N) nas folhas de milho, em função de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura.

Segundo Malavolta et al. (1997), o teor de N ideal para a cultura do milho fica entre 27,5 e 32,5 g kg<sup>-1</sup>. Para a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, as plantas apresentavam aproximadamente 30 g kg<sup>-1</sup> de N nas folhas no estágio V6 (FIGURA – 3), correspondendo aproximadamente à dose necessária para obtenção do NDVI máximo para esse estágio fenológico (FIGURA – 1).

O comportamento similar das variáveis estudadas, em função das doses de N, comprova existir correlação significativa entre elas (FIGURA 4), podendo estimar uma variável em função da outra por meio de equações de regressão.

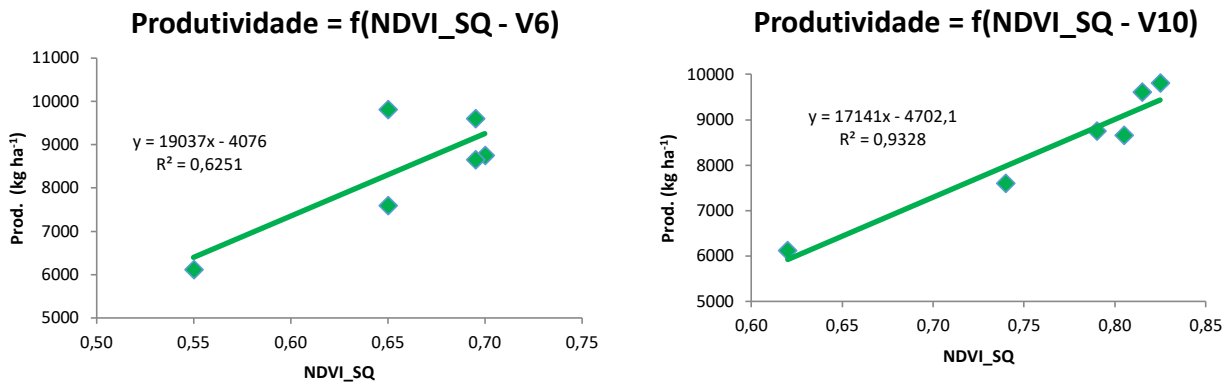


FIGURA 4 – Estimativa da produtividade de milho em função do NDVI calculado a parti de imagens aéreas (NDVI\_SQ) nos estágios fenológicos V6 e V10.

O NDVI estimado por meio de imagens multiespectrais, obtidas em estágios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho, é uma alternativa viável para previsão de produtividade de lavouras de milho (FIGURA – 4). Para o cálculo da necessidade de adubação nitrogenada por NDVI, é necessário conhecer a diferença entre a quantidade de N referente ao NDVI atual, que pode ser obtido a partir de imagens aéreas por meio de cálculos de raster utilizando softwares livres como o QGIS, e a quantidade de N referente ao NDVI alvo necessário para obtenção da produtividade máxima econômica, que deve considerar o máximo de variáveis possíveis como, estágio fenológico da cultura, risco climático, preço do fertilizante, preço do produto, e nível tecnológico genético, fitossanitário e de nutrição de plantas. Visto que os resultados desse trabalho foram originados de um experimento simples, sem considerar interações mais complexas entre variáveis independentes, fica evidente a necessidade da implantação de uma rede experimentos de campo, para geração de um banco dados suficiente para alimentar e atualizar modelos capazes de gerar mapas de recomendação de adubação nitrogenada em tempo real.

Por meio de mapas de NDVI obtidos em tempo real, o nitrogênio pode ser aplicado com taxas variadas em sítios específicos, o que pode diminuir a quantidade de adubação nitrogenada, diminuindo os custos com adubações sem comprometer a produtividade. Além de aumentar o lucro dos produtores, esse tipo de técnica pode diminuir os riscos de impactos ambientais provenientes do uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes nitrogenados.

**CONCLUSÃO:** A determinação do NDVI no estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho, por meio de imagens aéreas, é compatível com a determinação do índice utilizando sensor ótico ativo (GreenSeeker) e pode ser utilizado para previsão da produtividade da cultura do milho. A utilização do NDVI obtido por imagens aéreas pode ser viável para recomendação em tempo real da adubação nitrogenada em cobertura, desde que outras variáveis fitotécnicas e de mercado sejam consideradas na composição do modelo para o cálculo do NDVI alvo.

**AGRADECIMENTOS:** Às empresas da iniciativa privada Tecnoparts Agricultura de Precisão, Invento Geosoluções, Syngenta e Yara fertilizantes do Brasil pelas valiosas contribuições técnicas e apoio financeiro, que tornaram possível a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- LONGCHAMPS, L., & KHOSLA, R. Early Detection of Nitrogen Variability in Maize Using Fluorescence. *Agronomy Journal*, 106(2), p. 511-518, 2014.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **POTAFOS**, 319 p., 1997.
- PACHECO, E. P.; LIU, J.; LONGCHAMPS, L.; KHOSLA, R. Detecting nitrogen variability at early growth stages of wheat by active fluorescence and NDVI. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 13., 2016, St. Louis. **Abstracts...** Madison: ISPA, 2016.

## **GEORREFERENCIAMENTO DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA POR MEIO DE DIFERENTES PONTOS DE CONTROLE**

**LUCAS SANTOS SANTANA<sup>1</sup>, DIEGO BEDIN MARIN<sup>2</sup>, DAYANE SATURNINO DE SANTANA<sup>3</sup>, LETÍCIA APARECIDA GONÇALVES XAVIER<sup>4</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG, Fone: (35) 38219467, lucas.santana1@posgrad.ufla.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental e Sanitarista, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG, Lavras – MG

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG, Lavras – MG

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Depto. Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras – MG

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Novas análises sobre a superfície terrestre vêm sendo exploradas, como o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para obtenção de imagens aéreas. Para tanto um dos entraves da fotogrametria é a confiabilidade das cenas, em alguns casos por gerar erros geométricos consideráveis e exigir a realização de ajustes. Um dos parâmetros utilizados nesses ajustes são os pontos de controle, que ainda geram incertezas sobre a quantidade e disposição desses pontos em uma área. O objetivo deste trabalho foi avaliar erros geométricos em diferentes malhas de pontos georreferenciados. Avaliou-se quatro malhas de pontos com diferentes conformações e quantidades. A área de estudo localiza-se no campus da Universidade Federal de Lavras, em uma lavoura experimental de cafeeiro arábica de 0,65 ha. Foram rastreados 6 pontos por meio de receptores do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e identificados com placas, em seguida foi realizado um voo com um RPA modelo PHANTON 3 PROFESSIONAL para coleta de imagens. Os resultados obtidos indicaram índices de erros residuais distintos apontando maiores erros no eixo cartesiano Y, demonstrando que a distribuição dos pontos interfere diretamente nos erros residuais. O uso de pontos de controle é necessário para ajustes de imagens, porém para otimização desta aplicação deve se observar o formato da área a ser estudada e colocar os pontos de maneira não tendenciosa a algum eixo de coordenada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ortoretificação de imagens, erro geométrico, fotogrametria

## **GEORREFERENCING IMAGES OBTAINED BY A REMOTELY PILOTED AIRCRAFT THROUGH DIFFERENT CONTROL POINTS**

**ABSTRACT:** New analyzes of the land surface have been explored, such as the use of remotely piloted aircraft (RPA) for obtaining aerial images. Therefore, one of the obstacles of photogrammetry is the reliability of the scenes, in some cases for generating considerable geometric errors and requiring adjustments. One of the parameters used in these adjustments is the control points, which still generate uncertainties about the quantity and arrangement of these points in an area. The objective of this work was to evaluate geometric errors in different meshes of georeferenced points. It was evaluated four meshes of points with different conformations and quantities. The study area is located on the campus of the Federal University of Lavras, in an experimental coffee crop arabica of 0.65 ha. Six points were tracked through Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers and identified with boards, then a flight was performed with a PHANTON 3 PROFESSIONAL model RPA for image collection. The obtained results indicated indices of distinct residual errors pointing to greater errors in the cartesian axis Y, demonstrating that the point distribution interferes directly with the residual errors. The control points use is necessary for image adjustments, but for optimization of this application it is necessary to observe the format of the area to be studied and place the points in a non-biased way to some coordinate axis.

**KEYWORDS:** Images orthorectification, geometric error, photogrammetry

**INTRODUÇÃO:** A fotogrametria constitui-se na análise de uma faixa da superfície terrestre, por meio de um conjunto de fotografias aéreas, expondo ao observador informações de objetos contidos na superfície e fornecendo uma forma confiável na análise do meio ambiente. SOMBRA et al. (2017), definiu Fotogrametria como a ciência e tecnologia de se obter informação confiável, por meio de imagens adquiridas por sensores. No âmbito de facilitar a fotogrametria clássica, novas tecnológicas vem sendo testadas, como o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA). Atualmente a utilização de RPAs cresce sistematicamente no meio civil, devido suas características de voo e fácil operação, sendo capazes de imagear ambientes inacessíveis a humanos (DAPONTE et al., 2017). Considerada prática ágil de obtenção de dados da vegetação, a fotogrametria por meio de RPAs, tem sido cada vez mais aceita, em empresas privadas e comunidade acadêmica, facilitando tomadas de decisão em situações adversas. Como descreve JUNIOR et al. (2015), que ressalta a facilidade de obtenção de cenas de alta resolução espacial e temporal, explorando monitoramento sistemático em áreas de risco, planejamento urbano e agricultura de precisão. Porém para trabalhos que necessitam de boa precisão geométrica como: geração de MDT, monitoramento de linhas de plantio, construção de drenos e estradas, deve-se trabalhar com pontos de referência, melhorando a qualidade do ortomosaico. Segundo ZANETTI et al. (2017), pontos de controle são necessários para garantir precisão na geração de ortofotos e influencia diretamente na qualidade posicional dos produtos gerados. Neste contexto a quantidade de números de pontos de controle a ser utilizado em determinada área ainda é desconhecido, necessitando obter dados de precisão e acurácia, de imagens aéreas quando processados com diferentes pontos de controle. Este trabalho teve como objetivo avaliar erros geométricos em imagens aéreas obtidos por RPA aplicando quatro malhas de pontos georreferenciados.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Área de estudo: a região está localizada dentro do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras-MG, um polígono de 119 x 21 m compreendendo uma área de 0,24 hectares em área experimental de café arábica, sob as coordenadas: Latitude 21°13'33.23" Sul e Longitude: 44°58'17.63" Oeste de Greenwich. Nesta área foram pré-definidos 6 pontos de controle, sendo que estes foram fixados e rastreados a campo, utilizando um par de GNSS RTK, composto por base e rover, marca TRIMBLE modelo SP60 com as seguintes características: receptores de 240 canais trabalhando em frequências C/A, L1, L2 e L3, operando em modo cinemático (RTK) (TRIMBLE, 2017). O pós processamento para ajustes da base com o rover, foi realizado no software SURVEY PRÓ, gerando os dados de precisão apresentados na TABELA 2. Sendo que em cada local de rastreamento foi colocado uma placa de identificação FIGURA 01, para ser identificada nas imagens obtidas pelo drone.

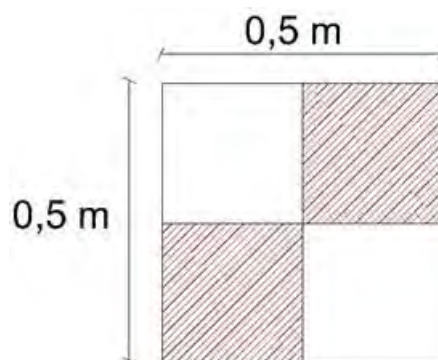


FIGURA 1. Modelo do ponto de controle, para caracterização do ponto georreferenciado.

Em cada local de rastreamento foi colocado uma placa de identificação FIGURA 01, para ser visualizada nas imagens capturadas pelo drone. As imagens aéreas foram obtidas por meio de uma aeronave remotamente pilotada do tipo asa rotativa de quatro rotores (quadricóptero), modelo Phantom 3 Professional, conduzindo uma câmera convencional digital com sensor CMOS com resolução de 20 megapixel em cores verdadeiras (Red, Green, Blue – RGB), lente de 24mm com abertura ótica de f/2.8 – f/11. A missão de voo foi configurada com as seguintes especificações: velocidade 3m/s, sobreposição frontal e lateral de 80 x 80 %, altura de voo 30 m, direção de voo 50°, obtendo-se um mosaico de 143 imagens, gerando cenas com resolução espacial de 1,2 cm. Inicialmente o processamento foi feito no software Agisoft PhotoScan, formando um ortomosaico exportado para formato GEOTIFF. Posteriormente o produto foi trabalhado no software de SIG (QGIS 2.18) para o georreferenciamento das imagens, informando as coordenadas dos pontos georreferenciados sobre os pontos visualizados no raster. Os pontos de controle, oriundos de rastreamento

GNSS foram divididos em três conjuntos: 4, 5 e 6 pontos como se pode observar na FIGURA 02. A característica georreferenciamento foi realizado da seguinte forma: Tipo de transformação e método de reamostragem lineares, sistema de referências de coordenadas SRC, SIRGARS 2000 UTM e zona 23 sul. Em seguida os pontos foram ajustados manualmente, informando ao software SIG a localização dos pontos, gerando um relatório de precisão que informa os erros residuais de cada ponto ajustado TABELA 2. Pode ser observado na FIGURA 2, a conformação de como foram realizados os rastreios e o produto final do georreferenciamento das imagens.

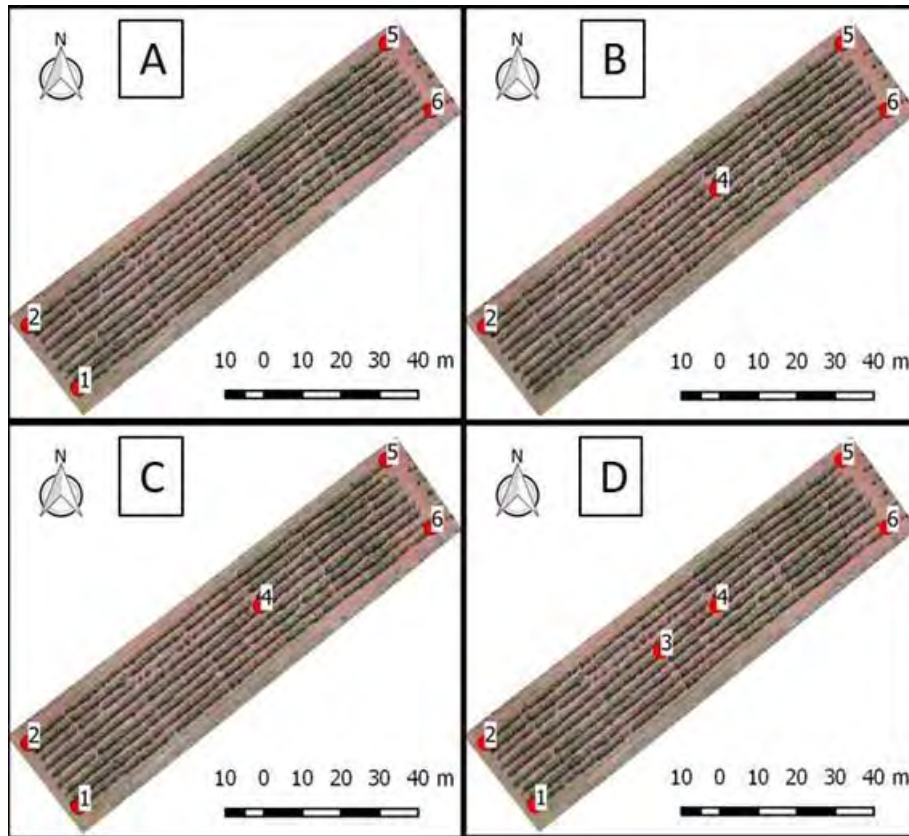


FIGURA 2. Localização dos pontos de controle georreferenciados, A: 4 pontos, B: 4 pontos com um ponto central, C: 5 pontos e D: 6 pontos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observa-se na FIGURA 3 o deslocamento visual do ponto rastreado em relação ao ponto georreferenciado. Isto evidencia a necessidade de ajustes nas imagens obtidas. Certamente o quadrado era para estar em sobreposição com o círculo em azul.

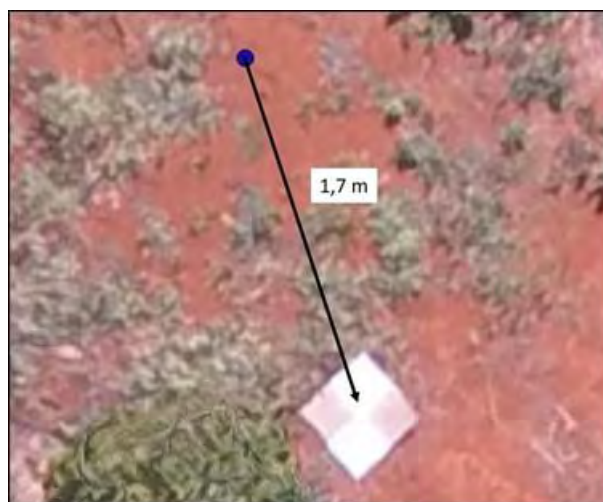


FIGURA 3. Erro encontrado antes do georreferenciamento das imagens, o círculo azul representa o ponto rastreado por meio de GNSS, o quadrado é ponto que foi visualizado pelo RPA.

Como mostrado na TABELA 1, os dados de rastreios a campo no modo RTK indicam alta confiabilidade dos pontos de amarração, com maiores valores de H: 0,021 e V: 0,029.. Os valores de H e V apresentados na TABELA 1, indicam a precisão Horizontal (latitude e Longitude) e vertical (altitude) em metros respectivamente. Essas taxas de desvio padrão são considerados de alta precisão. Segundo a norma NBR 13133 (1994), GNSS são considerados medidores eletrônicos de distância (MED) de alta precisão, pois atingem erros mínimos médios de 3 mm.

TABELA 1. Resultado dos relatórios, oriundos dos ajustes de pós processamento dos dados coletados a campo por meio do GNSS no modo RTK.

ID do vetor	Tipo de solução	Precisão H (metros)	Precisão V (metros)	Dist. elips. (metros)
1	Fixo	0,017	0,024	67,838
2	Fixo	0,021	0,029	79,040
3	Fixo	0,014	0,022	41,002
4	Fixo	0,021	0,027	40,536
5	Fixo	0,017	0,027	75,225
6	Fixo	0,019	0,027	62,003

Pela análise da TABELA 2 é possível observar os erros residuais em metros, indicando as diferenças entre os pontos rastreados pelo GNSS e os pontos visualizados pela RPA, ou seja, o deslocamento de coordenadas em metros obtidos nos dois sistemas. Ao analisar o erro médio, observa-se que a disposição com 4 pontos localizados no vértice da área foi a mais vantajosa em relação as outras conformações, isso pode ter ocorrido pelo tamanho pequeno da área estuda, respondendo melhor aos pontos somente dos vértices.

Os resultados indicam que as coordenadas de latitude (Y) foram as que apresentaram maiores erros, gerando altos índices residuais. Nesse caso os maiores valores registrados foram nos levantamentos FIGURA 2B (3 pontos no vértice e um central) e FIGURA 2D (6 pontos), 17 e 14,84 m, respectivamente, mostrando que para os valores de residuais de (Y), são melhores na conformação representada na FIGURA 2A (4 pontos localizados nos vértices da área), expressando melhores resultados quando os pontos são posicionados nos vértices, isso indica a influência da posição dos pontos na área. Orientações feitas pelo manual Pix4d (2013), estipula um número mínimo de 5 pontos de controle para pequenas porções de superfície e recomenda de 5 a 10 pontos de controle para grandes projetos. Nos pontos de longitude (X), observou-se os valores em geral foram relativamente baixos em relação ao eixo (Y), deixando claro que o formato da área influi nos erros residuais dos pontos de controle, pois as menores distâncias estão no eixo (X), indicando que o agrupamento de pontos melhora os erros residuais. No entanto este trabalho, chega em resultados diferentes dos encontrados por PERIN et al. (2016), que conclui, que quanto maior a quantidade de pontos maior precisão. Embora importante a quantidade de pontos os resultados mostram o alto nível de significância do agrupamento, distribuição dos pontos e tamanho da área estudada.

TABELA 2. Apresenta os resultados dos valores de residuais em metros, das coordenadas UTM “X e Y”.

ID	4 pontos		4 pontos A		5 pontos		6 pontos	
	Res X	Res Y	Res X	Res Y	Res X	Res Y	Res X	Res Y
1	-	-	3,83	-6,16	4,33	-8,94	4,58	-10,77
2	1,77	0,42	-3,03	4,27	-1,74	9,03	-0,96	10,52
3	-	-	-	-	-	-	0,45	4,09
4	-4,11	-8	-	-	-4,46	-2,92	-7,72	-6,88
5	-0,36	-9	-2,85	-12,14	-1,44	-11,82	-0,36	-11,8
6	2,69	17	2,06	14,03	3,32	14,64	4	14,84
Erro Médio	2,23	8,60	2,94	9,15	3,05	9,47	3,011	9,81

**CONCLUSÃO:** Está indicado nos resultados que a quantidade de pontos para aérea avaliada não alterou a precisão, o que alterou foi a distribuição dos pontos. Avaliação dos erros geométricos para área em específico mostrou a importância da distribuição dos pontos, e que o agrupamento ou afastamento desses pontos de controle pode interferir isoladamente em cada eixo da coordenada avaliada. O estudo mostrou que para melhor desenvolvimento desta aplicação deve se observar o formato da área a ser estudada e colocar os pontos de maneira distribuída de maneira não tendenciosa ao eixo da coordenada.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, CNPQ e FAPEMIG, ao SESU/MEC/PET, ao Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 13133 - Execução de levantamentos geodésicos: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.
- DAPONTE, Pasquale et al. A height measurement uncertainty model for archaeological surveys by aerial photogrammetry. **Measurement**, v. 98, p. 192-198, 2017.
- JÚNIOR, Leomar Rufino Alves et al. Validação De Ortomosaicos E Modelos Digitais De Terreno Utilizando Fotografias Obtidas Com Câmera Digital Não Métrica Acoplada A Um Vant. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, 2015.
- PERIN, Gustavo et al. Análise de Acurácia de Georrefereciamento de Mosaicos de Imagens Obtidas por RPA. **Anais do EATI-Encontro Anual de Tecnologia da Informação e STIN-Simpósio de Tecnologia da Informação da Região Noroeste do RS**, v. 193, p. 193-199, 2016. Pix4d. (2013) Pix4dmapper Software Manual Pix4D Support. Lausanne, Suíça: Pix4D SA. Disponível em: <https://support.pix4d.com/forums/22655307-Manual>.
- SOMBRA, Daniel. RESENHA-BRITO, JLNS, COELHO FILHO, LCT Fotogrametria digital. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 40, p. 248-250, 2017.
- ZANETTI, Juliette; JUNIOR, Joel Gripp; DOS SANTOS, Afonso de Paula. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por vant. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, 2017.
- Receptor sp60 GNSS TRIMBLE 2017, **SPECTRA PRECISION**, Westminster, CO 80021, EUA. Disponível em: [www.spectraprecision.com](http://www.spectraprecision.com).

## **ÍNDICE DE QUALIDADE DO FRUTO DO TOMATEIRO POR MEIO DE TÉCNICA GEOESTATÍSTICA**

**GABRIEL O. SALVIANO<sup>1</sup>, MARCOS PAULO DE O. MARTINS<sup>2</sup>, ANDERSON DA S. UMBELINO<sup>3</sup>, EDMILSON F. BORGES<sup>4</sup>, ELTON F. DOS REIS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrícola, Bolsista PIBIC/CNPq, CCET/UEG, Anápolis - GO, Fone: (62) 998370830, gbrls7861@gmail.com

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Mestrando em Eng. Agrícola. CCET/UEG, Anápolis – GO

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Mestrando em Eng. Agrícola. CCET/UEG, Anápolis – GO

<sup>4</sup> Graduando em Eng. Agrícola. CCET/UEG, Anápolis - GO

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Prof. Doutor. CCET/UEG, Anápolis - GO

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O estudo da composição química e sensorial do tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), é fundamental para amadurecimento do tomateiro e na prevenção de perdas pós-colheita. Assim objetivou-se avaliar o índice de qualidade do fruto do tomateiro por meio de técnica geoestatística. Os frutos foram coletados em 1m<sup>2</sup> em cada um dos 61 pontos espaçados por 90x90m e estimado a produtividade total, posteriormente foram levados ao laboratório para determinação de suas características qualitativas tais como: Sólidos solúveis (SS), firmeza da casca (FC) e da polpa (FP), potencial hidrogeniônico (pH) e volume do fruto (VF). Os dados foram analisados pela estatística descritiva e geoestatística. Os semivariogramas foram elaborados pelo software GS+, versão 7.0 e os mapas confeccionados por meio da krigagem. A produtividade total apresentou dependência espacial muito alta e sua disposição em áreas próximas a extremidade. A distribuição dos atributos firmeza e sólidos solúveis foram mais homogêneos em relação a outros atributos abrangendo grande parte de seus mapas. A escala amostral não foi suficiente para determinar a dependência espacial do pH, entretanto para firmeza da polpa e volume do fruto foi considerada alta e para outros atributos foram considerados muito alta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agroindústrias, economia de produtividade, segurança alimentar

### **QUALITY INDEX OF TOMATO FRUIT BY GEOSTATISTICAL TECHNIQUE**

**ABSTRACT:** The study of the chemical and sensorial composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* L.), is essential for the maturing of the tomato and the prevention of post-harvest losses. The aim of this study was to evaluate the fruit quality index of the tomato by means of geostatistical technique. The fruits were collected in 1m<sup>2</sup> at each of the 61 points spaced by 90x90m and estimated the total productivity, later they were taken to the laboratory to determine their qualitative characteristics such as: Soluble solids (SS), firmness of the shell (FC) and pulp (FP), hydrogen potential (pH) and fruit volume (VF). Data were analyzed by descriptive and geostatistical statistics. The semivariograms were elaborated by software GS +, version 7.0 and maps made by means of kriging. The total productivity showed very high spatial dependence and its arrangement in areas near the end. The distribution of firmness and soluble solids attributes were more homogeneous in relation to other attributes covering most of their maps. The sample size was not sufficient to determine the spatial dependence of pH, however for pulp firmness and fruit volume it was considered high and for other attributes it was considered very high.

**KEYWORDS:** Agroindustries, productivity savings, food security

**INTRODUÇÃO:** O tomate é uma das hortaliças mais difundida no Brasil e amplamente consumida pela população que busca alimentos mais nutritivos. A produção do tomate em solo brasileiro está entre os 10 maiores produtores mundiais com aproximadamente 4,2 milhões de toneladas para uma área de 64 mil hectares (FAOSTAT, 2016). Essa produção é destinada tanto para o processamento (tomate industrial ou



rasteiro) quanto de mesa (in natura), e para isso agroindústrias se instalam nos principais estados produtores entre eles os estado de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Pernambuco e Ceará (ASSUNÇÃO et al., 2013). As agroindústrias buscam frutos com alta resistência a choques mecânicos, coloração avermelhada e altos índice de sólidos solúveis e ácido cítrico acrescentando uma bonificação para o produtor que atingir essas exigências (GREGÓRIO, 2014). Para isso, é necessário o conhecimento dos atributos qualitativos em busca de manejos corretos para satisfazer a produção visando atender o mercado mundial e sua distribuição espacial na propriedade. O uso de técnicas de agricultura de precisão permite avaliar com mais propriedade e exatidão uma área específica visando atender sua demanda nutricional quanto hídrica, a fim de reduzir impactos ambientais e desperdício de capital. O emprego da geoestatística permite aprofundar o conhecimentos a partir dos dados e informações que foram coletadas em campo, sendo assim, considera-se o aspecto espacial de um fenômeno para caracterização da variabilidade espacial que influenciarão na produtividade. Desse modo este trabalho objetivou-se avaliar o índice de qualidade do fruto do tomateiro por meio de técnica geoestatística.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado na fazenda Barcelos na safra 2017, localizada próximo a região de Anápolis – GO, 16°26'18.00"S e 48°50'17.71"O. A cultura do tomate foi transplantada em linhas simples de plantio com densidade populacional de 36000 plantas ha<sup>-1</sup> com espaçamento de 1,2m entre linhas, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro com textura argilosa. Para coleta dos dados utilizou-se um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) com sistema de correção diferencial em tempo real (WGS 84) por meio de uma malha amostral em área de 55 ha de um pivô central, dividida em 61 pares de pontos espaçados em 90x90m. A avaliação de produtividade foi realizada em área de 1m<sup>2</sup> de cada ponto coletando-se os frutos, e a partir de uma balança de precisão foram pesados e estimado a média da produção em Mg ha<sup>-1</sup>. Os frutos do tomateiro foram coletados e, armazenados em sacos plásticos identificados e levados ao laboratório de Engenharia Agrícola. Posteriormente foram macerados e colocados em copos descartáveis contendo 50mL de cada amostra e logo após foram realizadas avaliações a temperatura ambiente tais como: Potencial Hidrogeniônico por meio do PHmetro, Sólidos Solúveis (Brix<sup>o</sup>) determinado por meio do Refratômetro Digital e a firmeza do fruto (cN) a partir do Texturômetro Brookfield CT3 que calculou a firmeza da casca até sua deformação e sua firmeza da polpa, para isso foram selecionados três tomates de cada ponto com duas repetições através do método TPA (Texture Profile Analysis), o qual consiste em reproduzir duas compressões em curtos intervalos de tempo com velocidade de 6,9mm. O volume do fruto foi realizado separadamente através de um recipiente graduado com 1 L, obtido pela média de três frutos. Os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva, utilizando o software GS+ 7.0 (Gamma Design Software®). O coeficiente de variação foi classificado conforme Gomes e Garcia (2002), considerando-se alto 20%<CV<30%, médio 10%<CV<20% e baixo CV<10%. A dependência espacial dos atributos estudados para o cálculo dos semivariogramas e seus respectivos ajustes utilizou o software geoestatístico GS+. Os modelos foram escolhidos tendo como base de escolha, o maior valor de R<sup>2</sup> e na menor soma de Quadrados do Resíduos (RSS), gerados em cada modelo (DALCHIAVON et al., 2012). Após a escolha do melhor modelo que se ajustou os dados coletados foi possível ter a construção dos mapas de isolinhas pelo software GS +, que realizou as interpolações utilizando-se o método da krigagem.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A tabela 01 apresentada abaixo, fornece a análise descritivas das características qualitativas e a produtividade do tomate industrial. Observou-se, dentre os atributos qualitativos, que apenas a firmeza da polpa apresentou elevado Coeficiente de Variação (CV) de 45,82%, sendo classificado como muito alto segundo Pimentel Gomes (1986), enquanto que outras características obtiveram CV baixo e médio (quanto mais baixo for o CV maior será a homogeneidade dos dados). A produtividade da safra 2017 obteve uma média de 79,84 Mg ha<sup>-1</sup>. Para a indústria de processamento, essa produção total será aproveitada para elaboração de produtos derivados. O teor de sólidos solúveis com variações entre 2,5 a 5,0 e média de 3,74 °Brix com CV de 13,82% corroborando com o que foi encontrado por Monteiro et al. (2008) que chegou a 4 °Brix no tomate sem semente e sem casca e no tomate com semente e com casca de tomate híbrido tipo italiano (saladete) que estabelece uma evolução segundo Santos (2014), de massa do tomate para processamento, quanto maior o teor no tomateiro, mais pequeno será o gasto energético, sendo assim estima-se um aumento de 20% na receita industrial para cada crescimento de um °Brix. O índice pH apresentou o menor CV considerado baixo entre outros índices, e variações entre 4,10 a 4,75. Esses valores foram semelhantes a que foi encontrado por Ferreira et al., (2012) de 4,35 em tomate híbridos Mariana e SM-16. A faixa entre 4 a 4,5 favorece o impedimento do crescimento de bactérias. A firmeza do fruto é fundamental na vida útil dos frutos, pois atribui resistência a danos durante a colheita, transporte e fase de comercialização (FERREIRA et al., 2012), e o mais relevante para o processamento

industrial verificou-se que firmeza da casca, que é a primeira a receber choques mecânicos varia de 3,35 N a 6,20 N, esse valor foram semelhantes aos que foram encontrados por Vieira (2015) entre 3,65 e 6,66 N em frutos deitados das principais cultivares AP533, IT761, H9992 e HY37 que se destacaram em seu trabalho porem são inferiores quando é relacionado a firmeza da polpa, cujo valores encontrados entre 1,55 a 2,31 N nos cultivares Advance e AP533. Os valores compreendidos do volume do fruto entre 50,00 a 93,33 cm<sup>3</sup> obteve uma média de 70,27 cm<sup>3</sup>, esse resultado é inferior a qual foi encontrado por Vasconcelos (2012) de 82 ml para cultivar „Heinz“ (H9553). Segundo Vieira (2015) quanto menor o volume do tomateiro, maior será a resistência da casca a compressão dos frutos deitados, esses valores podem se alterar devido ao estágio de amadurecimento.

Tabela 01. Análise descritiva de para índices qualitativos e a produtividade de tomate industrial. **Descriptive analysis of qualitative indexes and productivity of industrial tomatoes.**

Parâmetro Estatístico	PR	SS	FF		PH	VL
	(Mg ha <sup>-1</sup> )	(°Brix)	(N)			
	PRT		FC	FP		
Nº de amostras	61	61	61	61	61	61
Média	79,84	3,74	4,49	0,38	4,48	70,27
Mediana	78,00	3,70	4,48	0,35	4,48	66,67
Mínimo	61,00	2,50	3,35	0,1	4,10	50,00
Máximo	108,80	5,00	6,20	0,98	4,75	93,33
Assimetria	0,53	0,18	0,50	1,10	-0,22	0,45
Curtose	-0,36	-0,03	0,01	1,66	0,01	0,05
D. Padrão	11,89	0,51	0,64	0,17	0,14	9,71
Variância	141,49	0,26	0,41	0,03	0,02	94,36
C.V. (%)	14,89	13,63	14,39	45,82	3,12	13,82

PR – Produtividade Total; SS – Sólidos Solúveis; FF – Firmeza do fruto; FC – Firmeza da Casca; FP - Firmeza da Polpa; PH – Potencial Hidrogeniônico; VL – Volume; C.V. – Coeficiente de Variação

Na tabela 02, são apresentados os modelos teóricos de semivariogramas ajustados. Para os índices qualitativos, sólidos solúveis e firmeza da casca o melhor modelo experimental foi o esférico, exceto a firmeza da polpa e volume do fruto, sendo exponencial e para o potencial hidrogeniônico, efeito pepita puro. A produtividade apresentou também o melhor modelo semivariograma exponencial. O índice pH apresentou efeito pepita puro, com alcance inferior a qual foi proposto neste trabalho de 90 m, ou seja, o efeito pepita puro indica que o atributo na área de estudo é homogêneo, aleatório ou a malha amostral utilizada não possui pontos suficientes para detectar a dependência (BOTTEGA et al., 2013), erros de medição. Os valores do alcance, exceto para o pH apresentaram valores que variam entre 118,00 a 6330,00, segundo Guimarães et al. (2016) esse alcance indica que a variável apresenta dependência espacial. O grau de dependência espacial dos índices qualitativos, observado entre 62,93% a 93,94% foram considerados alta e muito alta. A produtividade total apresentou dependência espacial de 96,71%, que pode ser classificada como muita alta.

Tabela 02. Modelos teóricos dos semivariogramas ajustados simples para índices qualitativos e a produtividade de tomate industrial. **Theoretical models of simple adjusted semivariograms for qualitative indices and industrial tomato productivity.**

Parâmetro	Geoestatística						
	Modelo	Co	Co+C1	Ao	R <sup>2</sup>	RSS	GDE %
Prod. total	Esférico	4,70	142,50	139,00	0,278	1626,00	96,71
Sólidos solúveis	Esférico	0,017	0,274	121,00	0,077	6,62.10 <sup>-03</sup>	93,08
Firmeza da casca	Esférico	0,026	0,429	123,00	0,228	1,57.10 <sup>-02</sup>	93,94
Firmeza da polpa	Exponencial	0,026	0,071	6330,00	0,405	2,77.10 <sup>-04</sup>	62,93
Potencial hidrogeniônico	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
Volume do fruto	Exponencial	44,33	159,10	688,00	0,629	3082,00	72,14

Co – Efeito Pepita; Co+C1 – Patamar; Ao – Alcance (m); R<sup>2</sup> - Coeficiente de Determinação; RSS - Soma de Quadrados do Resíduos; GDE - Dependência Espacial em Porcentagem - [Co/(Co + C1)].100: (a) 0% ≤ GDE < 20% Muito Baixa; b) 20% ≤ GDE < 40% - Baixa; c) 40% ≤ GDE < 60% - Média; d) 60% ≤ GDE < 80% - Alta; e) 80% ≤ GDE < 100% - Muito Alta e efeito pepita puro 100%) segundo Dalchiavon et al. (2012).

Na figura 01, são representados por meio de mapas, os dados interpolados por meio da krigagem, sendo assim é possível ter a dimensão de cada atributo a partir da sua distribuição espacial. Com base nela, segundo Guimarães et al. (2016) é possível identificar a localização e a abrangência dos valores extremos, o grau de homogeneidade da área e as direções de maior gradiente. A maior produtividade concentrou-se nas extremidades do mapa, onde observou que o atributo qualitativo sólidos solúveis é abrangente. A firmeza da polpa, em sua maioria composta por valores abaixo 0,303 N permitiu avaliar que os frutos do tomateiro são perecíveis possuindo vida pós-colheita muito curta. Entretanto, a firmeza da casca observada apresentaram elevados valores, onde o volume do fruto é modesto. O índice pH não foi possível confeccionar seu mapa, devido ao efeito pepita puro apresentado.

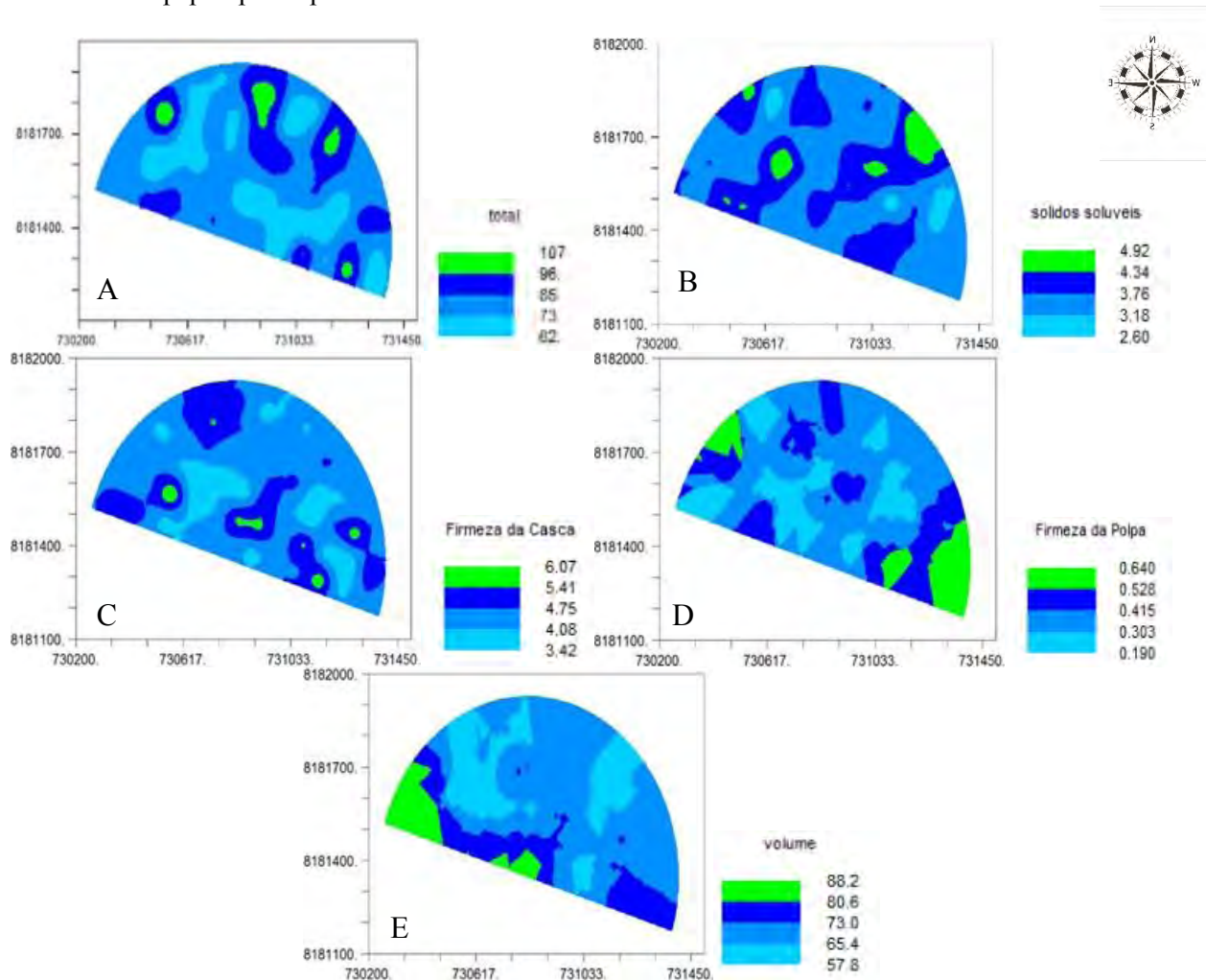


Figura 01. Mapas de distribuição espacial de índices qualitativos e produtividade de tomate industrial. **Spatial distribution maps of qualitative indices and productivity of industrial tomatoes.**

A – Produtividade Total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); B - Sólidos Solúveis ( $^{\circ}$  Brix); C – Firmeza da Casca (N); D – Firmeza da polpa (N); E – Volume do fruto ( $\text{cm}^3$ )

**CONCLUSÃO:** A escala amostral não foi suficiente para determinar a dependência espacial do potencial hidrogeniônico, devido seu alcance ser menor que 90m, entretanto para firmeza da polpa e volume do fruto foi considerada alta e para outros índices foram considerados muito alta. A firmeza da polpa concentra-se na partes extremas da área, o que poderá afetar em perdas de produtividade se houver no seu transporte sequencias de baques. O volume do fruto foi observado em grandes proporções em regiões opostas do mapa e isso favorece o peso do fruto do tomateiro. A firmeza da casca e sólidos solúveis estão distribuídos homogeneamente, isto é um fator determinante para aspectos qualitativos e aumenta o rendimento da safra, devido os frutos apresentarem maior carga máxima a choques mecânicos e elevados teores de açúcares, importantes para a bonificação do produtor rural pela agroindústria. A produtividade total concentrou-se nas extremidades do mapa assim como o volume do fruto.

## REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, P. E.V.; SPINELLI, E.M.A.; CARDOZO, J.S. Caracterização da produção de tomate industrial no município de Morrinhos/GO: da utilização de defensivos à vantagem dos contratos. **Teoria e Evidência Econômica - Ano 19**, n. 40, p. 153-168, jan./jun. 2013.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; CARVALHO PINTO, F. de A. de; ALVES SOUZA, C. M. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro, **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan-mar, 2013.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 43, n. 3, 2012.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso 10/04/2018

FERREIRA, R. M. de. A.; LOPES, W. de. A. R.; AROUCHA, E. M. M; MANO, N. C. S.; SOUSA, C. M. G. Caracterização física e química de híbridos de tomate em diferentes estádios de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.4, p. 506-511, jul/ago, 2012

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

GREGÓRIO, J. P. C. Avaliação do efeito do regime hídrico na produtividade e qualidade do tomate de indústria. 2014. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Sustentável), Escola Superior Agrária de Santarém. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.15/1419>.

GUIMARÃES, W. D.; JUNIOR GRIPP, J.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 247-255, abr-jun, 2016.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Revista de Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.19, n.1, p. 25-31, jan./mar. 2008.

SANTOS, G.G. Qualidade físico-química, microbiológica e ocorrência de micotoxinas de *Alternaria alternata* em derivados de tomate, Doutorado em Nutrição Humana. Universidade de Brasília, UnB, 2014.

VASCONCELOS, L. H. C. Resistência ao desprendimento dos frutos de tomate industrial do pedúnculo. 2012. 33 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrícola – Maquinas agrícolas), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

VIEIRA, D. A. P. Qualidade de frutos de cultivares de tomate para processamento 2015. 232 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

## **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E BIOMASSA EM DUAS CULTIVARES DE TRIGO**

**CAROLINA TRENTIN<sup>1</sup>, CHRISTIAN BREDEMEIER<sup>2</sup>, ANDRÉ LUIS VIAN<sup>2</sup>, ADRIANE PARRAGA<sup>3</sup>, THIAGO BERTANI<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Mestranda, Departamento de Plantas de Lavoura, UFRGS, Porto Alegre - RS, Fone: (55) 997182678, carolinatrentin@live.com;

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Prof., Departamento de Plantas de Lavoura, UFRGS, Porto Alegre - RS.

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup>. Eletricista, Prof. Departamento de Engenharia da Computação, UERGS, Guaíba - RS.

<sup>4</sup> Geógrafo, Departamento de Engenharia da Computação, UERGS, Guaíba - RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A cultura do trigo possui grande importância na cadeia produtiva do Rio Grande do Sul e o uso de novas tecnologias e manejos são fundamentais para aumentar a produtividade e a sustentabilidade da cultura. O trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre os índices de vegetação com duas avaliações de biomassa e a produtividade de grãos na cultura do trigo. O experimento foi conduzido na EEA/UFRGS. As cultivares utilizadas foram BRS Parrudo e TBIO Toruk. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos consistiam em diferentes doses de nitrogênio na emergência das plantas e em cobertura. As aquisições das imagens foram realizadas nos estádios de V6, 1º nó visível, 2º nó visível, emborrachamento e pleno florescimento, respectivamente, com o auxílio de um veículo aéreo não tripulado (VANT). Para a relação entre NDVI e produtividade de grãos, o coeficiente foi de  $r = 0,85$ , para Parrudo, e  $r = 0,87$  para Toruk. Na correlação entre GNDVI e a biomassa no florescimento, a cultivar Parrudo apresentou  $r = 0,79$  e a cultivar Toruk, a relação produtividade de grãos e GNDVI apresentou um coeficiente de  $r = 0,91$ . Os índices de vegetação NDVI e GNDVI apresentaram boas relações com a biomassa da parte aérea e a produtividade de grãos nas duas cultivares de trigo avaliadas, podendo ser utilizados, neste caso, como estimadores para ambas. O estágio fenológico do florescimento foi o que melhor estimou a produtividade de grãos. O uso da tecnologia de câmeras multiespectrais mostrou-se eficiente em detectar as variações na produção de biomassa e do potencial produtivo que ocorrem na cultura do trigo ao longo de seu ciclo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de vegetação, Veículo aéreo não tripulado, Sensor de vegetação

### **VEGETATION INDICES OBTAINED BY UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR DETERMINATION OF GRAIN AND BIOMASS PRODUCTION IN TWO WHEAT CULTIVARS**

**ABSTRACT:** Wheat cultivation has great importance in the productive chain of Rio Grande do Sul, the use of new technologies and management are fundamental to increase the productivity and the sustainability of the crop. The objective of this work was to evaluate the relationship between vegetation indices with two biomass evaluations and grain yield in wheat. The experiment was conducted in the EEA / UFRGS. The cultivars used were BRS Parrudo and TBIO Toruk. The design was randomized blocks with three replications. The treatments consisted of different doses of nitrogen in the emergence of plants and in coverage. The images were acquired in the V6, 1 st visible, 2 nd visible, booting and fully flowering stages respectively, with the aid of an unmanned aerial vehicle (UAV). For the relationship between NDVI and grain yield, the coefficient was  $r = 0.85$ , for Parrudo, and  $r = 0.87$  for Toruk. In the correlation between GNDVI and biomass in flowering, the cultivar Parrudo presented  $r = 0.79$  and the cultivar Toruk, the relation of grain yield

and GNDVI presented a coefficient of  $r = 0.91$ . The NDVI and GNDVI vegetation indices showed good relations with shoot biomass and grain yield in the two wheat cultivars evaluated, and in this case, they can be used as estimators for both. The phenological stage of flowering was the one that best estimated grain yield. The use of multispectral camera technology proved to be efficient in detecting the variations in biomass production and in the productive potential that occur in the wheat crop throughout its cycle.

**KEYWORDS:** Vegetation index, Unmanned aerial vehicle, Vegetation sensors

**INTRODUÇÃO:** A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) possui grande importância na cadeia produtiva do estado do Rio Grande do Sul, além de possuir relevância na alimentação humana e animal, sendo uma alternativa de cultivo para o inverno (CAMPONOGARA, 2015).

No trigo, um dos manejos fundamentais é a adubação nitrogenada, entretanto, é necessário fazê-la de forma sustentável, diminuindo os custos e os impactos causados ao ambiente, otimizando a entrada de insumos e melhorando a eficiência de uso do nutriente (ZHAO et al., 2017).

O uso de novas tecnologias, como veículos aéreos não tripulados (VANT), tem sido uma alternativa para auxiliar nas práticas de manejo, visto que, com base nos dados coletados é possível calcular índices de vegetação, e a partir destes índices pode-se monitorar o desenvolvimento das culturas (MOTOMIYA et al., 2014). Além disso, os índices podem ser empregados para estimar a quantidade de biomassa da cultura, a exigência de nitrogênio e a produtividade de grãos, e a partir destes se torna possível inferir a necessidade nutricional das plantas e a aplicação fertilizantes em taxa variável. Para Motomiya et al. (2014), o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é altamente influenciado pela quantidade de nitrogênio acumulado pelas plantas.

Dentre os índices, pode-se destacar o NDVI e o GNDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada verde). O trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre os índices de vegetação com duas avaliações de biomassa e com a produtividade de grãos na cultura do trigo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (RS). A altitude média local é de 46 metros acima do nível do mar e o clima é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koppen (IPAGRO, 1979). A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul é de 1440 mm e as temperaturas médias mensais variam entre 14 e 25°C (BERGAMASCHI et al., 2003). O solo é caracterizado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (SANTOS et al., 2014).

A cultura foi implantada na segunda semana de junho no ano agrícola de 2017, onde foram semeadas as cultivares BRS Parrudo e T BIO Toruk. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes doses de nitrogênio aplicadas na emergência das plantas (0, 15, 30 e 45 kg N ha<sup>-1</sup>) e em cobertura (0, 20, 40, 60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup>), no estágio de seis folhas completamente expandidas, segundo a escala fenológica de Haun (1973). Essas doses foram utilizadas com o intuito de gerar variabilidade no desenvolvimento das plantas, para posteriormente avaliar a resposta dos tratamentos em relação aos índices de vegetação e a produtividade de grãos. As coletas de biomassa foram realizadas quando a cultura estava no estágio de seis folhas completamente expandidas (V6) e em pleno florescimento, estágio no qual, a cultura do trigo apresenta maior acúmulo de biomassa seca na parte aérea. Para ambas, foram coletadas 03 linhas de 0,50 m cada, totalizando área de 0,27 m<sup>2</sup>. Após as coletas, as amostras foram secas em estufa a 60°C até atingirem peso constante e, posteriormente, foram pesadas. Para a avaliação de produtividade, foram colhidas 08 linhas de 2,5 m de comprimento, totalizando área de 3,33 m<sup>2</sup>. Após, as amostras foram pesadas, corrigindo-se a umidade dos grãos para 13%.

As aquisições das imagens foram feitas nos dias 05, 16, 23 e 31 de agosto e 13 de setembro, que correspondem aos estádios de V6, 1º nó visível, 2º nó visível, emborrachamento e pleno florescimento, respectivamente, com o auxílio de VANT modelo DJI Matrice 100<sup>®</sup>, o qual carregava uma câmera multispectral Sequoia Parrot<sup>®</sup>, que captura imagens nos espectros do infravermelho próximo (NIR, 790 nm), vermelho (R, 660 nm), verde (G, 550 nm), e red edge (RE, 735 nm).

As imagens coletadas foram co-registradas, para coincidirem exatamente os mesmos pontos e então foram gerados os ortomosaicos no software PhotoScan<sup>®</sup>, as parcelas do experimento foram demarcadas com auxílio do programa Global Mapper<sup>®</sup>. Após, as imagens foram analisadas com o auxílio do programa eCognition Developer 64<sup>®</sup> (Trimble) onde fez-se a média dos pixels de cada banda, para todas as avaliações e onde foram extraídos os valores digitais médios das bandas dos espectros obtidos. Esses valores foram utilizados para estimar os índices de vegetação NDVI (Equação 1) e GNDVI (Equação 2), os quais foram relacionados

com os teores de biomassa da parte aérea (V6 e pleno florescimento) e com a produtividade de grãos.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}) \quad (1)$$

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR}-\text{G})/(\text{NIR}+\text{G}) \quad (2)$$

em que: NIR – infravermelho próximo; R – vermelho; G – verde.

Os resultados obtidos passaram por análise estatística, onde fez-se correlação linear de Pearson entre os índices de vegetação, as biomassas e a produtividade de grãos, utilizando o programa SigmaPlot®.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As maiores médias foram obtidas na cultivar TBIO Toruk, tanto para biomassa de parte aérea quanto para produtividade de grãos, 6469 kg ha<sup>-1</sup> e 5004 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já a cultivar BRS Parrudo apresentou 5580 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa no florescimento e 3496 kg ha<sup>-1</sup> de produtividade de grãos. Os maiores valores de médias, para ambas cultivares, foram observados nos níveis de adubação nitrogenada mais elevados. Basso et al. (2016) também observaram incrementos de produtividade quando aumentou-se as doses de fertilizante nitrogenado na cultura do trigo.

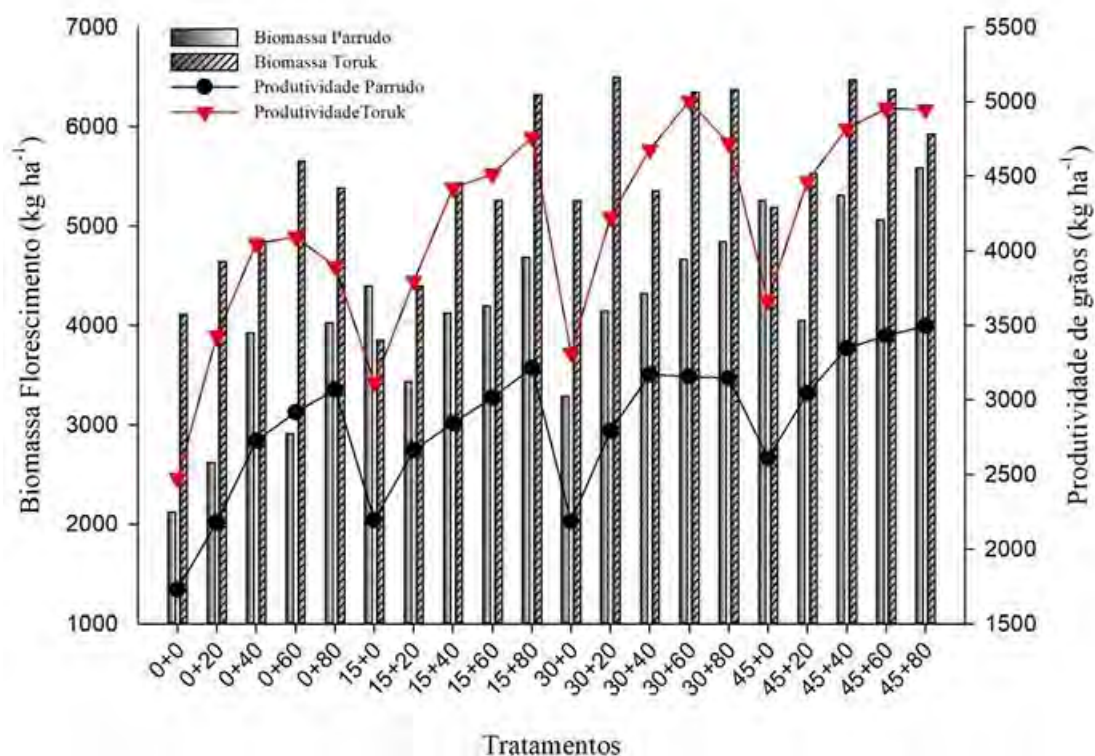


FIGURA 1. Biomassa de parte aérea em pleno florescimento e produtividade de grãos para as cultivares de trigo TBIO Toruk e BRS Parrudo.

Os valores dos coeficientes de correlação entre a biomassa da parte aérea no estágio V6 e o NDVI, foram de  $r = 0,79$  para a cultivar BRS Parrudo, e  $r = 0,58$  para a cultivar TBIO Toruk (Tabela 1). Para a correlação entre o GNDVI e biomassa da parte aérea em V6, o coeficiente de correlação para a TBIO Toruk ( $r = 0,64$ ) apresentou-se menor que o coeficiente da BRS Parrudo ( $r = 0,77$ ). Segundo Callegari-Jacques (2003), estes valores de coeficiente de correlação são considerados altos, indicando que a relação entre as variáveis é elevada.

TABELA 1. Correlação entre biomassa em V6 com os índices NDVI e GNDVI, para a cultura do trigo.

IV <sup>1</sup>	CULTIVARES	V6
NDVI	BRS PARRUDO	0,79*
	TBIO TORUK	0,58*
GNDVI	BRS PARRUDO	0,77*
	TBIO TORUK	0,64*

<sup>1</sup>IV = índice de vegetação. \*Significativos para  $p < 0,001$ .

As análises de correlação entre a biomassa da parte aérea no florescimento da cultura do trigo e o índice de vegetação NDVI apresentaram relações positivas em todos os estádios avaliados, para ambas as cultivares (Tabela 2). Para a cultivar BRS Parrudo, o maior valor de coeficiente de correlação ( $r = 0,76$ ) foi verificado no 1° nó visível, e o menor valor ( $r = 0,60$ ) foi observado quando as plantas estavam em pleno florescimento. Já para a cultivar TBIO Toruk, o maior coeficiente de correlação foi  $r = 0,56$ , também no estágio fenológico de emborrachamento e o menor coeficiente de correlação ( $r = 0,46$ ), foi encontrado no 2° nó visível. Para ambas as cultivares, os estádios eram de um nó visível nos maiores valores e os menores valores encontrados no segundo nó visível (Toruk) e no florescimento (Parrudo). O que pode explicar o decréscimo nos valores de correlação no florescimento é a saturação do índice NDVI, onde os sensores não captam mais diferenças da parte aérea da cultura, mesmo com o incremento de biomassa na parte aérea (SANTANA et al., 2017).

As relações feitas entre biomassa no florescimento e o GNDVI também foram positivas (Tabela 2), onde todas foram consideradas muito altas (CALLEGARI-JACQUES, 2003). A cultivar que apresentou maior coeficiente de correlação foi a BRS Parrudo,  $r = 0,79$  no estágio fenológico de um nó completamente visível (1° nó visível). Mantai et al. (2015) ao avaliarem biomassa na cultura da aveia, observaram que este componente aumentava com o incremento nas doses de adubo, mas que a produtividade de grãos nem sempre acompanhava essa tendência de crescimento, o que não foi observado neste estudo, onde houve incremento de produtividade de grãos para a cultura de trigo quando se aumentou as doses de adubação nitrogenada (Figura 1).

TABELA 2. Análises de correlação entre biomassa no florescimento com NDVI e GNDVI, em diferentes estádios da cultura do trigo.

IV <sup>1</sup>	CULTIVARES	1° nó	2° nó	Emb <sup>2</sup>	Flor <sup>3</sup>
NDVI	BRS PARRUDO	0,76*	0,63*	0,72*	0,60*
	TBIO TORUK	0,51*	0,46*	0,56*	0,54*
GNDVI	BRS PARRUDO	0,79*	0,65*	0,69*	0,59*
	TBIO TORUK	0,60*	0,58*	0,62*	0,58*

<sup>1</sup> IV = índice de vegetação; <sup>2</sup> Emb= emborrachamento; <sup>3</sup> Flor= Florescimento. \*Significativos para  $p < 0,001$ .

Os índices de vegetação respondem de forma diferenciada quando se utilizam diferentes doses e fontes de fertilizante nitrogenado. Damian et al. (2018) obtiveram correlações altas entre o NDVI e matéria seca da parte aérea de trigo, e entre NDVI e produtividade de grãos,  $r = < 0,60$ , quando a cultura foi submetida a adubação com dejetos líquidos de bovinos, corroborando com os resultados obtidos neste estudo, onde a relação entre o NDVI e a produtividade de grãos foi alta. Liu et al., (2018) verificaram que a resposta do NDVI ao estresse por seca, na cultura do trigo, foi mais tardia se comparada com o índice de fluorescência de clorofila induzida por energia solar (SIF). Os dados apontam as mudanças que ocorrem na fisiologia ou morfologia das plantas quando estão sob algum estresse, essas modificações são podem ser captadas pelos índices de vegetação, e podem auxiliar os produtores na tomada de decisão do manejo mais indicado para a situação.

Ao avaliar a relação entre o NDVI e a produtividade de grãos, os valores de correlação se comportaram de forma similar entre as cultivares avaliadas (Tabela 3). Para a cultivar BRS Parrudo, o maior valor de  $r$  ( $r = 0,85$ ) foi obtido no florescimento. A cultivar TBIO Toruk apresentou seus maiores coeficientes de correlação ( $r = 0,87$ ) nos estádios de um nó visível e de pleno florescimento. Bredemeier et al. (2013) observaram que há a possibilidade de se utilizar o NDVI para definir as aplicações de N próximo ao florescimento, a fim de melhorar a qualidade do grão, além de poder-se quantificar a produtividade. As melhores relações entre o NDVI e a produtividade de grãos podem ser explicadas pelo fato de que a cultura já recebeu suas últimas doses de adubação nitrogenada, e está próxima ao enchimento de grãos.

Entre as correlações do GNDVI e da produtividade de grãos (Tabela 3), o maior valor do coeficiente de correlação foi encontrado na cultivar TBIO Toruk,  $r = 0,91$ , no 2° nó visível. O menor valor de  $r$  foi



observado na cultivar BRS Parrudo ( $r = 0,77$ ), no emborrachamento. Rissini et al. (2015) encontraram diferenças significativas nos valores de NDVI, quando avaliaram doses de adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos para a cultura do trigo. Os autores ainda constataram que o NDVI possui relação com a produtividade de grãos para os estádios de afilhamento, início do emborrachamento e no início do florescimento.

TABELA 3. Análises de correlação entre a produtividade de grãos com NDVI e GNDVI, em diferentes estádios da cultura do trigo.

IV <sup>1</sup>	CULTIVARES	1º nó	2º nó	Emb <sup>2</sup>	Flor <sup>3</sup>
NDVI	BRS PARRUDO	0,70*	0,73*	0,81*	0,85*
	TBIO TORUK	0,87*	0,79*	0,82*	0,87*
GNDVI	BRS PARRUDO	0,84*	0,79*	0,77*	0,89*
	TBIO TORUK	0,89*	0,91*	0,80*	0,89*

<sup>1</sup> IV = índice de vegetação; <sup>2</sup> Emb= emborrachamento; <sup>3</sup> Flor= Florescimento. \*Significativos para valores de  $p < 0,001$ .

Os danos causados pelo mofo-branco nas folhas de feijoeiro refletiram nos valores de GDNVI e no índice de área foliar (IAF) da cultura (BOECHAT et al., 2014), o que demonstra que os índices refletem não somente as variações de adubação, mas também problemas fitossanitários. Buzzi et al. (2017), ao avaliarem diferentes tipos de vegetação, utilizando o GNDVI, obtiveram altas relações entre o índice com a produção de biomassa de parte aérea, em algumas regiões estudadas o índice evidenciou cerca de 60% das variações que ocorreram na quantidade de vegetação. Avaliar a cultura do trigo ao longo de seu ciclo, utilizando o NDVI, possui grande importância, uma vez que este índice mostrou-se efetivo na identificação das variações que ocorrem nas plantas. Isto possibilita recomendações de adubação em taxa variável, aumentando a sustentabilidade do sistema de cultivo com um menor impacto ao meio ambiente (BREDEMEIER et al., 2013).

O GDNVI demonstrou maior correlação que o NDVI, nas avaliações de biomassa em pleno florescimento e produtividade de grãos. Entretanto apresentou menor relação que o NDVI na avaliação de biomassa no estádio de seis folhas completamente expandidas. Esses resultados podem ser explicados pelos espectros de banda que são utilizados para calcular os índices, visto que, a reflectância do vermelho (NDVI) diminui ao longo do ciclo da cultura e a banda do verde (GNDVI) apresenta comportamento inverso, pois ambos representam a presença de clorofila nas folhas (BENEDUZZI et al., 2017).

**CONCLUSÃO:** Os índices de vegetação NDVI e GNDVI apresentaram boas relações com a biomassa da parte aérea e a produtividade de grãos nas duas cultivares de trigo avaliadas, podendo ser utilizados, neste caso, como estimadores para ambas. O estádio fenológico do florescimento foi o que melhor estimou a produtividade de grãos. O uso da tecnologia de câmeras multiespectrais mostrou-se eficiente em detectar as variações na produção de biomassa e do potencial produtivo que ocorrem na cultura do trigo ao longo de seu ciclo.

## REFERÊNCIAS

- BASSO, B.; FIORENTINO, C; CAMMARANO, D; SCHULTHESS, U. Variable rate nitrogen fertilizer response in wheat using remote sensing. **Precision Agriculture**. v.17, p.168-182, 2016. doi: 10.1007/s11119-015-9414-9
- BERGAMASCHI, H. et al. Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência. UFRGS. Porto Alegre. 2003.
- BENEDUZZI, H.M.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SCHENATTO, K. Temporal variability in active reflectance sensor-measured NDVI in soybean and wheat crops. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.4, p.771-781, 2017. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p771-781/2017
- BOECHAT, L.T. et al. Detecção do mofo-branco no feijoeiro, utilizando características espectrais. **Revista Ceres**, Viçosa. v.61, n.6, p.907-915, 2014. doi: 10.1590/0034-737X201461060004
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A.T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, p.0-15, 2013. doi: 10.1590/S0103-84782013005000080

- CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed. 2003.
- CAMPONOGARA, A.; GALLIO, E.; BORBA, W.F.; GEORGIN, J. O atual contexto da produção de trigo no Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**. Santa Maria, v.19, n.2, p.246-257, 2015. doi: 105902/2236117015437
- CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS - Safra 2017/18. v.5, n.6, 2018.
- DAMIAN, J.M. et al. Strategies for fertilization with pig and cattle slurry in wheat crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.4, p.261-266, 2018. doi: 10.1590/1807-1929
- HAUN, J.R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, n.1, p.116-119, 1973. doi:10.2134/agronj1973.00021962006500010035x
- IPAGRO. Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico** (3). Porto Alegre.1979.
- LIU, L. et al. Evaluating the utility of solar-induced chlorophyll fluorescence for drought monitoring by comparison with NDVI derived from wheat canopy. **Science of the Total Environment**. p.1208-1217, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.268
- MANTAI, R.D. et al. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.19, n.4, p.343-349, 2015. doi: 10.1590/1807-1929
- MOTOMIYA, A.V.A. et al. Vegetation index in cotton under rates of nitrogen and growth regulator. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina. v.35, n.1, p.169-178, 2014. doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p169
- NETO, A.A.O.; SANTOS, C.M.R. A cultura do trigo. **Conab**, Brasília, 2017.
- REN, H.; ZHOU, G.; ZHANG, F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands. **Remote Sensing of Environment**. p.439-445, 2018. doi:10.1016/j.rse.2018.02.068
- RISSINI, A.L.L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A.L. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1703-1713, 2015. doi: 10.1590/01000683rbc20140686
- SANTANA, A.V.; HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; NASCENTE, A.S. Índice de refletância na estimativa da área foliar e biomassa das folhas em feijão-comum. **Colloquium Agrariae**, v.12, n.1, p.07-19, 2016. doi: 10.5747/ca.2016.v12.n1.a128
- SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA. Brasília. 2014.
- ZHAO, B. et al. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. **European Journal of Agronomy**. p.113-125, 2018. doi: 10.1016/j.eja.2017.12.006

## **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE NA CULTURA DA SOJA**

**KAREN A. D. DE MORAIS<sup>1</sup>, FERNANDO H. Q. SOUZA<sup>2</sup>, PEDRO H. A. MARTINS<sup>2</sup>, TULIO H. D. MARTINS<sup>3</sup>, FABIO H. R. BAIO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônoma, Graduanda, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Chapadão do Sul – MS, fone: (67) 99950-1213, karendiasmorais@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando, Área de Produção Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Graduando, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Adjunto, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018

**RESUMO:** A partir dos dados coletados pelos sensores multiespectrais, podendo estes serem ativos ou passivos, pode-se obter índices de vegetação (IV's), que podem ser correlacionados a diversos parâmetros produtivos das plantas de soja. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma equação que indique uma estimativa de produtividade, com base nas informações dos índices de vegetação (IV's) para a cultura da soja. Um experimento foi realizado no ano agrícola 2017/18, no município de Chapadão do Sul – MS. O experimento consistiu-se de quatro blocos, onde cada bloco foi composto por uma população de plantas. Um sensor multiespectral passivo Sequoia fez aquisição da reflectância, em três épocas distintas (31, 61 e 78 dias após emergência) e as informações adquirida permitiu o cálculo dos índices de vegetação utilizados (NDVI e IV 760/550). Com isso, foi desenvolvido um modelo para estimativa do potencial produtivo na soja, correlacionando os índices de vegetação com a biomassa acumulada na parte aérea. A utilização do IV 760/550 pode ser utilizado como indicador de produtividade quando obtidos no momento de saturação vegetal da planta de soja.

**PALAVRAS-CHAVE:** *glycine max*, sensor multiespectral, índice de vegetação

### **VEGETATION INDICES TO ESTIMATE SOYBEAN YIELD**

**ABSTRACT:** From the data obtained by the multispectral sensors, which may be active or passive, vegetation indices (IV's) can be obtained, which can be correlated to several products of soybean plants. The objective of this study was to develop an equation with a productivity rate, based on information on vegetation indices (IV's) for soybean crop. An experiment was carried out in the agricultural year 2017/18, in the municipality of Chapadão do Sul - MS. The experiment consisted of four blocks, where each block was composed plant populations. A passive multispectral sensor sequoia was able to reflect, at three distinct times (31, 61 and 78 days after emergence) and the information acquired allowed the calculation of the vegetation indexes used (NDVI and IV 760/550). Thus, a model was developed to estimate soybean production potential, correlating the vegetation indices with biomass accumulated in the aerial part. The use of IV 760/550 can be used as an indicator of production when used at the time of soybean saturation.

**KEYWORDS:** *glycine max*, multispectral sensor, vegetation index

**INTRODUÇÃO:** A cultura da soja pode alterar sua morfologia em resposta às modificações na densidade de plantio, mantendo seu rendimento (BOARD, 2000; COX & CHERNEY, 2011; JAVIER DE LUCA et al., 2014). Esta técnica de ajuste na quantidade de semente por área, quando associadas as técnicas de monitoramento agrícola, pode ser uma prática muito eficiente para o incremento da rentabilidade da cultura, visando redução no custo de sementes e aumento da produtividade. A partir dos dados coletados pelos sensores multiespectrais, podendo eles serem ativos ou passivos, pode-se obter índices de vegetação (IV's) que atualmente são muito utilizados no monitoramento das atividades agrícolas. Os sensores passivos medem a energia refletida do alvo que foi emitido do sol, enquanto os sensores ativos têm sua própria fonte de luz e seu

sensor mede a energia refletida do dossel da cultura (SOUZA et al., 2017). Como alternativa os Vant's (Veículo Aéreo Não Tripulado) são muito utilizados para aquisição de dados de sensoriamento remoto, principalmente na mensuração de IV's, devido a sua economia de tempo e eficiência na obtenção de dados de alta qualidade. Neste sentido estes equipamentos têm como principal vantagem a utilização de sensor multiespectral acoplado, onde através deste equipamento, pode-se realizar a mensuração da reflectância nos comprimentos de onda desejado, permitindo o cálculo de índices de vegetação que posteriormente podem ser relacionados a parâmetros produtivos das plantas. Neste seguimento o objetivo deste estudo foi desenvolver uma equação que indique uma estimativa de produtividade, com base nas informações dos IV's para a cultura da soja.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), no município de Chapadão do Sul – MS, com as coordenadas 18°46'26,98" S 52°37'28,58" O, e altitude de 810 m durante o ano agrícolas de 2017/2018. O experimento consistiu-se de quatro blocos, onde cada bloco foi composto por uma população de plantas (parcelas semeadas com 314.500, 370.000, 430.000 e 494.000 sementes ha<sup>-1</sup>). Após a emergência, cada população de plantas emergidas foram contabilizadas. Um sensor multiespectral passivo Sequoia fez aquisição da reflectância, em três épocas distintas: 31, 61 e 78 dias após emergência (DAE). As aquisições das mensurações dos índices de vegetação foram utilizados para determinar a sua relação com a biomassa da planta e o seus reflexo sobre a produtividade. As parcelas experimentais possuíam dimensões 21,6 m<sup>2</sup>, cultivadas com a cultura da soja (*Glycine max*), cultivar Brasmax Desafio RR - 8473RSF. A semeadura direta foi realizada no mês de novembro em ambos os anos. Neste momento foram aplicados 335 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado NKP 5-25-15, para isso utilizou-se uma semeadora adubadora Jumil (JM3060PD) de 9 fileiras, com espaçamento de 0,45 m. Para o cálculo dos IV's foi utilizado o Vant (Veículo Aéreo Não Tripulado) de asa fixa Sensefly eBee RTK, equipado com o sensor multiespectral passivo Sensefly Sequoia. Esse sensor fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm). As informações adquiridas nesses comprimentos de ondas permitiram o cálculo dos índices de vegetação utilizados. Para avaliação da produtividade, coletou-se 2,7 m<sup>2</sup> da parte central de cada parcela. Posteriormente o material colhido foi trilhado, pesado e mensurado a sua umidade, para os possíveis cálculos da produtividade. Após a obtenção dos resultados, foi realizada análise conjunta para as variáveis produtividade, IV's (NDVI e 760/550) e população de plantas. Foram elaborados gráficos de superfície gerados a partir do programa sigPlot versão 11.0, além da análise de variáveis canônicas e estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis com o software Rbio (BHERING, 2017).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os mapas de prescrição da semeadura da soja e mapas do IV 760/550 segundo as mensurações aos 31, 61 e 78 DAE estão apresentados na Figura 1. Os valores do IV variaram de 0,8 a 17,5, aproximadamente. Os menores valores representam áreas com menor quantidade de vegetação e maior presença de solo exposto, enquanto os valores mais altos representam áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa. Isso pode ser explicado, levando em conta que as plantas apresentam baixa refletância na faixa visível do espectro, devido à forte absorção pela clorofila e uma grande refletância na região do infravermelho próximo. Esse comportamento padrão da reflectância sofre variações quando a planta está em senescência ou em condições de estresse ambiental (MARTINS & GALO, 2015). A rede de correlações (Figura 2) apresentou uma correlação positiva de maior amplitude entre as leituras do IV 760/550 e da população de plantas, o que foi esperado, devido a relação entre os índices de vegetação com a biomassa da planta. Com isso nas áreas com maior população de plantas foram encontrados os maiores valores dos índices mensurado. Observa-se que para as leituras do NDVI a correlação positiva de maior amplitude também ocorreu entre os índices e de menor amplitude entre a população, o que representa que não houve grande influência deste parâmetro sobre este IV. Analisando as correlações relacionadas a produtividade, nota-se que houve uma correlação positiva entre as demais variáveis, IV's e população, porém de menor amplitude. Isso ocorreu devido ao fato de que as áreas onde havia maiores índices de vegetação, que eram consideradas as áreas com maior população de plantas, não foram as mais responsivas a produtividade. Pois à medida que a taxa de semeadura aumenta, há uma redução na participação de cada planta na produção final (COX et al., 2010), devido as mudanças na arquitetura da planta como menor produção de ramos, resultando em um menor número de vagens por planta.

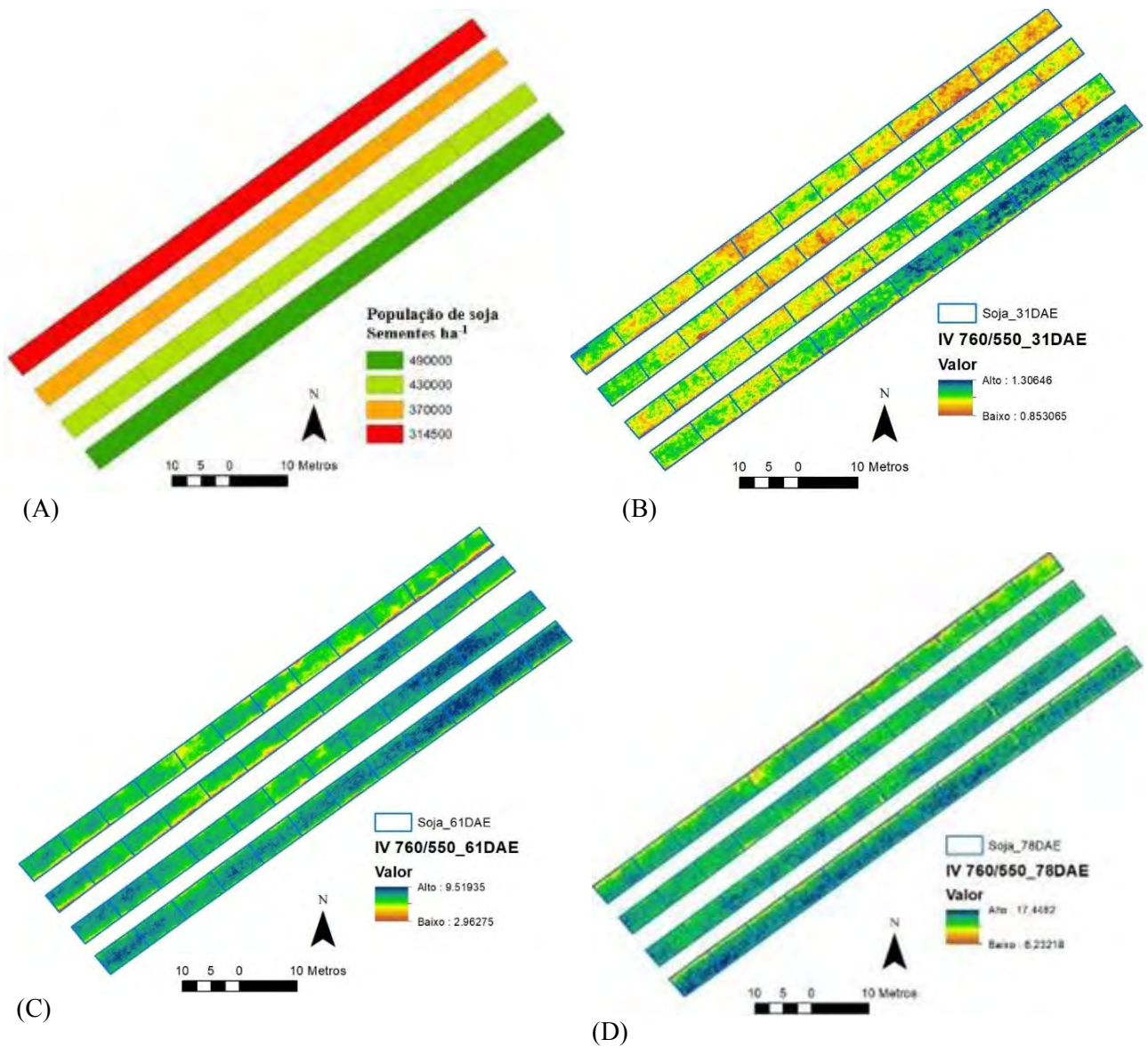


FIGURA 1. Mapa de prescrição da semeadura da soja (A), e mapas do IV 760/550 segundo as mensurações aos 31 (B), 61 (C) e 78 (D) DAE.

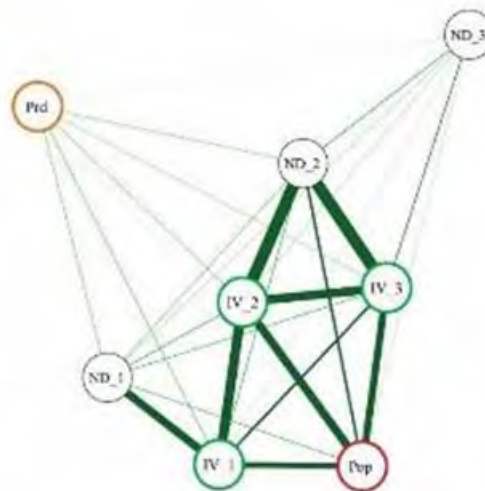


FIGURA 2. Rede de correlações entre as variáveis população de plantas (Pop), IV 760/550 e produtividade (prd) na cultura da soja. IV\_1: índice de vegetação aos 32 DAE; IV\_2: índice de vegetação aos 61 DAE; IV\_3: índice de vegetação aos 78 DAE.

A Figura 3 apresenta as superfícies de respostas para a produtividade em função da variação da população de plantas e do IV 760/550 aos 32, 61 e 78 dias após emergência (A, B e C). com coeficientes de determinação de 0,62, 0,61 e 0,58, respectivamente.

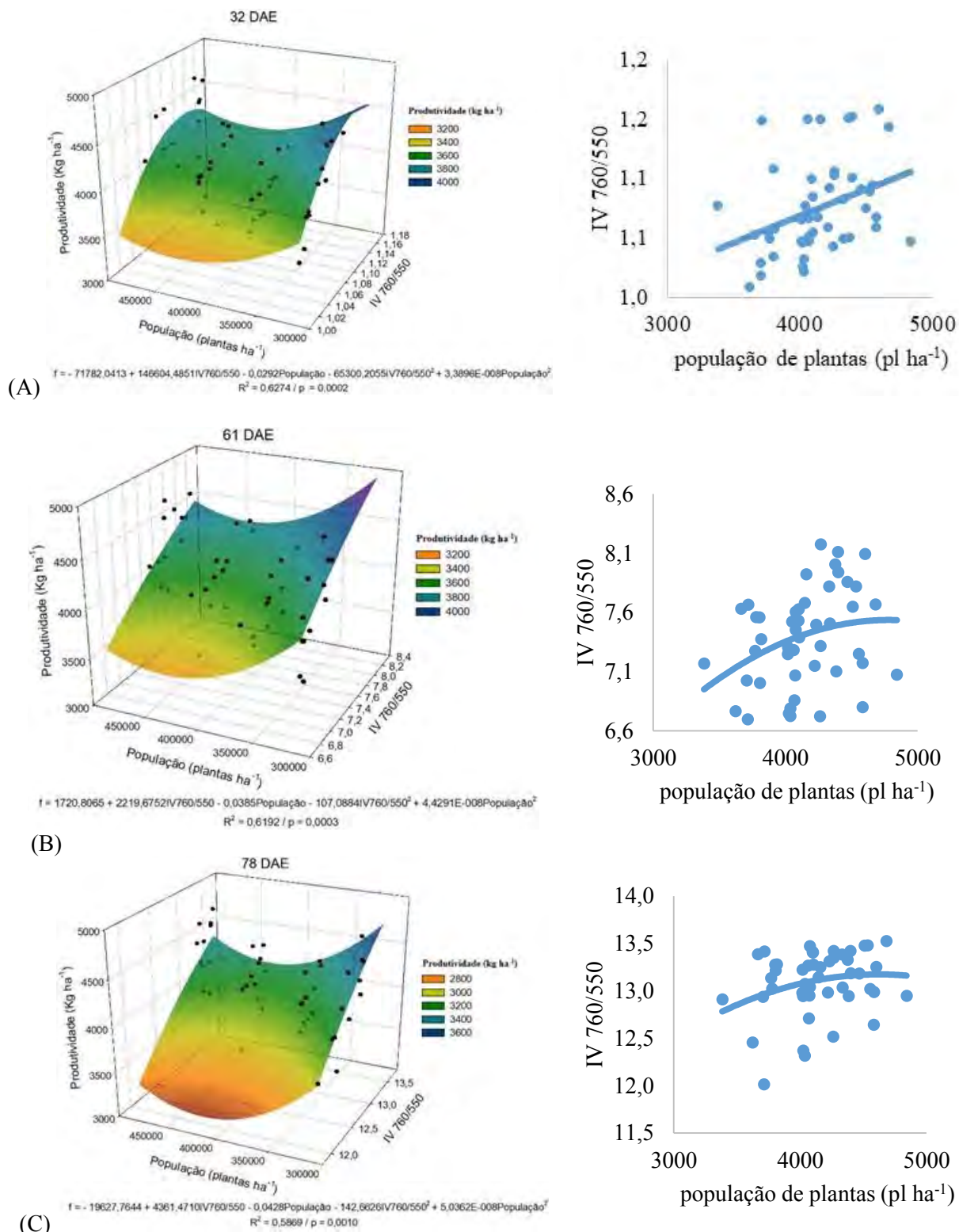


FIGURA 3. Superfícies de respostas para a produtividade em função da variação da população de plantas e do IV 760/550 aos 32, 61 e 78 dias após emergência (A, B e C).

Sabe-se que os índices de vegetação apresentam uma relação direta com a biomassa da planta, o que pode ser considerado um fator determinante para a produtividade, porém verificou-se que a menor população de plantas apresentou maior produtividade. Na medida que se aumenta a população de plantas os valores do IV aumentam e a produtividade tendem a cair, até o ponto da maior população o qual apresentou os maiores valores de IV,

em resposta, aumentando a produtividade. Tais resultados podem estar relacionados, onde em baixas densidades populacionais, as plantas de soja tendem a produzir uma menor quantidade de ramos, havendo um aumento no número de vagens por plantar, o que resulta em uma maior produção por planta (FERREIRA et al., 2018). À medida que o ciclo da soja progride, a cultura da soja em baixas densidades pode compensar o menor número de plantas pelo maior crescimento vegetativo (BOARD & KAHLON, 2013; BALBINOT JÚNIOR et al., 2015a, b). Em contrapartida, utilizando maiores densidades de plantas, há menos ramificações e a produção de cada planta é menor (FERREIRA et al., 2016; WERNER et al., 2016). Provavelmente devido a baixa qualidade ou quantidade de luz no dossel, devido a presença de maior quantidade de planta causando maior competição e sombreamento no dossel, que faz com que plantas de soja tendam a apresentar alto crescimento em altura, para incrementar a interceptação de radiação, além de produzir menor número de ramos (BOARD, 2000). As equações geradas a partir dos gráficos permitem estimar a produtividade da cultura de acordo com a variação da população de plantas e mensuração dos IV's. Analisando a variáveis canônicas (Figura 4), observa-se que a maior população (490.000 plantas.ha<sup>-1</sup>), teve influência direta na variabilidade dos dados do IV 760/550 aos 31 DAE, porém não houve influência nas leituras aos 61 e 78 DAE. As populações de 370.000 e 430.000 plantas.ha<sup>-1</sup>, influenciaram diretamente na leitura do NDVI aos 78 DAE. Nota-se que a produtividade sofreu baixa influência na variabilidade dos dados, tanto para população de 490.000 quanto a de 31.500 plantas.ha<sup>-1</sup>, que foram as taxas que proporcionaram maiores resultados. A população de plantas de soja de 314.500 plantas.ha<sup>-1</sup> foi muito diferente das demais populações, assim os valores mensurados nessa classe foram muito discrepantes dos demais.

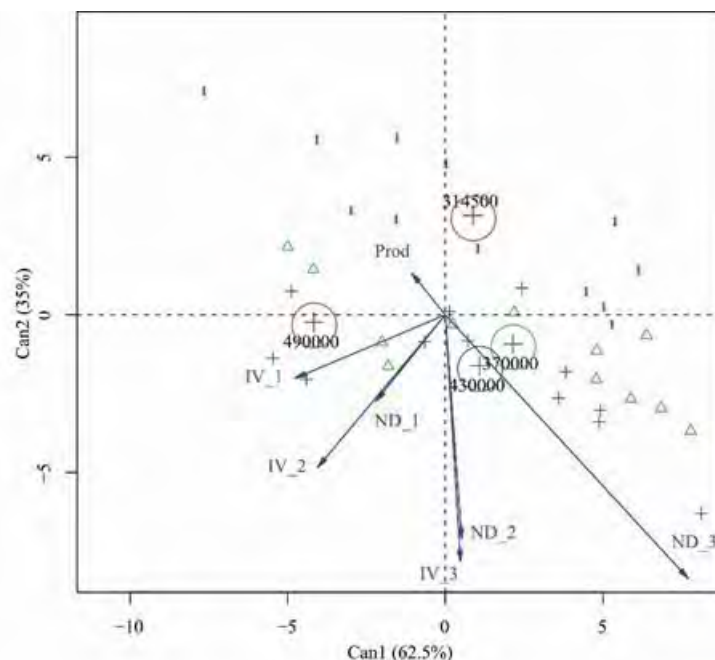


FIGURA 4. Análise por variáveis canônicas para produtividade (prod) e IV's 760/550 em relação às populações de sementes de soja. IV\_1: índice de vegetação aos 32 DAE; IV\_2: índice de vegetação aos 61 DAE; IV\_3: índice de vegetação aos 78 DAE.

**CONCLUSÃO:** Menores populações de plantas alcançaram maiores produtividades. O IV 760/550 foi afetado pela maior população nas primeiras leituras (31 e 71 DAE). As populações de 370.000 e 430.000 plantas ha<sup>-1</sup>, influenciaram diretamente na leitura do NDVI aos 78 DAE.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundect e a instituição UFMS pelo incentivo ao desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS

BALBINOT JÚNIOR, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; COSTA, J.M.; KOSINSKI, C.L.; PANISON, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Espaçamento reduzido e plantio cruzado associado a diferentes densidades de plantas em soja. *Semina Ciências Agrárias*, v.36, n.5, p.2977-2986, 2015a.

- BALBINOT JÚNIOR, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.1215-1226, 2015b.
- BHERING, L.L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, n.2, p.187-190, 2017.
- BOARD, J.E.; KAHLON, C.S. Morphological responses to low plant population differ between soybean genotypes. **Crop Science**, v.53, n.3, p.1109-1119, 2013.
- BOARD, J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. **Crop Science**, v.40, n.5, p.1285-1294, 2000.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy Journal**, v.103, n.1, p.123-128, 2011.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rate but not at high thinning rates. **Agronomy Journal**, v.102, n.4, p.1238-1243, 2010.
- FERREIRA, A.S.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J. C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.3, p.151-157, 2018.
- FERREIRA, A.S.; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v.75, n.3, p.362-370, 2016.
- GITELSON, A.A.; MERZLYAK, M.N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.12, p.291-298, 1997.
- JAVIER DE LUCA, M.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Feasibility of lowering soybean planting density without compromising nitrogen fixation and yield. **Agronomy Journal**, v.106, n.6, p.2118-2124, 2014.
- MARTINS, G.D.; GALO, M.L.B.T. Caracterização espectral da cana-de-açúcar infectada por nematoides e *Mytilus fryanus* por espectrorradiometria de campo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.21, n.4, p.783-796, 2015.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **earth resources technology satellite**, v.1, n.1, p.309-317, 1973.
- SOUZA, H.B.; BAIO, F.H.R.; NEVES, D.C. Using passive and active multispectral sensors on the correlation with the phenological indices of cotton. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.4, p.782-789, 2017.
- WERNER, F.; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; FERREIRA, A.S.; AGUIAR E SILVA, M.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.8, p.734-738, 2016.



## **INFLUÊNCIA DA SEMEADURA DE MILHO EM TAXA VARIÁVEL SOBRE O NDVI**

**EDER E. DA SILVA<sup>1</sup>, IGOR M. SCARPIN<sup>1</sup>, PAULO EDUARDO TEODORO<sup>2</sup>, DANIEL F. KOLLING<sup>3</sup>, FÁBIO H. R. BAIO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mestrando em Agronomia, UFMS, CPCS, Chapadão do Sul-MS, e.eujacio@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Associado, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Chapadão do Sul-MS, dfkolling@gmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A densidade e o arranjo populacional da cultura do milho pode afetar a variabilidade espacial da produtividade dessa cultura. Atualmente, semeadoras-adubadoras possuem o disco dosador de sementes acionados por motores de passos, os quais são capazes de realizar a variação populacional da cultura. Este trabalho teve como objetivo estudar a influência da sementeira da cultura do milho em taxa variada sobre o NDVI em dois estágios de desenvolvimento da cultura. O experimento foi conduzido em um talhão de 97,6 ha. Variáveis da fertilidade e física do solo foram amostradas em uma grade regular de 1 ha, totalizando 100 amostras. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi diagnosticada por um equipamento Veris V3100. Confeccionou-se um mapa de recomendação de taxa de sementeira em parcelas experimentais distribuídas aleatoriamente no talhão. O talhão foi subdividido em parcelas quadráticas de 80 x 80 m. As taxas variáveis de sementeira foram instaladas aleatoriamente em cinco tratamentos (50.000, 55.000, 60.000, 65.000 e 70.000 sementes ha<sup>-1</sup>), em um delineamento inteiramente casualizado, com 40 repetições. Existe correlação negativa entre NDVI aos 12DAE e a CEa. As populações de plantas mais baixas não influenciaram a variabilidade de NDVI mensurados aos 12 e 40DAE. A população de plantas que mais interferiu no NDVI aos 40DAE, foi a de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutividade elétrica aparente, taxa variada, índice de vegetação.

### **INFLUENCE OF CORN SOWING IN VARIABLE RATE OVER THE NDVI**

**ABSTRACT:** The population density and arrangement of the corn crop can affect the spatial variability of the yield of this crop. Currently, seeders have the seed-meter driven by stepper motors, which are capable of performing the populational variation of culture. The objective of this work was to study the influence of sowing of the corn crop in varied rate over the NDVI at two stages of the crop development. The experiment was conducted in a field of 97.6 ha. Variables of fertility and soil physics were sampled at a regular grid of 1 ha, totaling 100 samples. The equipment Veris V3100 was used for the apparent soil electrical conductivity (EC) measurement. A prescription map of seeding rate recommendation was developed with experimental plots randomly distributed in the field. The field was divided into plots of 80 x 80 m. The variable rates of sowing were installed randomly in five treatments (50,000, 55,000, 60,000, 65,000 and 70,000 seeds ha<sup>-1</sup>), in a completely randomized design with 40 replications. There is a negative correlation between NDVI to 12 DAE and the ECW. The populations of plants more casualties did not influence the variability of NDVI measured at 12 and 40 DAE. The population of plants that interfere in the NDVI to 40 DAE, it was the 60,000 plants ha<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** apparent electrical conductivity, variable rate, vegetation index.

**INTRODUÇÃO:** Nos tempos modernos a agricultura vem passando por grandes transformações, no qual se busca cada vez mais um incremento na produtividade. Dessa forma a adoção de novas tecnologias passa a ser indispensável, como a agricultura de precisão. Artuzo (2014) reporta que o acréscimo de produtividade atrelado a agricultura de precisão pode ser encarado como pilar de sustentação para o aumento da produtividade e o conseqüente aumento da produção de alimentos. A condutividade elétrica aparente do solo

(CEa) é um dos parâmetros adotados para mensurar a variabilidade espacial do solo, a qual fornece uma mensuração indireta das propriedades físicas e químicas do solo (RHOADES et al., 1999). Entre os principais fatores responsáveis pelo sucesso na produtividade do milho, Silva & Gamero (2010) destacaram a população e o arranjo de plantas. Atualmente há poucos registros na literatura que correlacionam CEa do solo com a semeadura em taxa variável, onde a semeadora aplica diferentes doses de semente na área, no qual o mercado carece tais informações. Segundo Sana et al. (2014), pela CEa, é possível identificar variabilidade da fertilidade do solo. Por tanto é possível realizar semeadura de milho em taxa variável de acordo com as condições do solo, evitando assim a competição entre plantas de tal forma que expresse seu máximo potencial genético. Este trabalho teve como objetivo estudar a influência da semeadura da cultura do milho em taxa variada sobre o NDVI em dois estádios de desenvolvimento da cultura.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido em um talhão de 97,6 ha na Fazenda Maraney, situado nas coordenadas geográficas -18° 23' 58" S e -52° 39' 39" O, a uma altitude média de 810 m, no município de Chapadão do Céu – GO, durante o ano agrícola de 2018/18. O clima da região é caracterizado de acordo com a classificação Köppen, como clima tropical com estação seca no inverno (Aw). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), com textura argilosa e teor de argila médio de 440 g kg<sup>-1</sup>. O talhão foi subdividido em parcelas quadradas de 80 x 80 m. As taxas variáveis de semeadura foram instaladas aleatoriamente em cinco tratamentos (50.000, 55.000, 60.000, 65.000 e 70.000 sementes ha<sup>-1</sup>), em um delineamento inteiramente casualizado, com 40 repetições. A fazenda conta com uma semeadora John Deere modelo DB (Horizontalina, Brasil). A adubação de base foi a mesma em todas as parcelas e realizada de acordo com a análise de solo, na semeadura foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (ureia, 43% N), 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Super simples, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (Cloreto de potássio, 58% K<sub>2</sub>O). A semeadura do milho foi realizada no dia 11 de fevereiro de 2018. O híbrido de milho (*Zea Mays*) utilizado foi o AG 8700 PRO3 da empresa Agrocere, o qual possui ciclo precoce de 135 dias. O espaçamento utilizado foi de 0,90 m entre linhas. Variáveis da fertilidade e física do solo foram amostrados em uma grade regular de 1 ha, totalizando 100 amostras. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida por um equipamento Veris V3100. O sensor compreende seis eletrodos conectados a discos de metal, que realizam o contato com o solo à profundidade de 0,06 a 0,07 m, e ficam dispostos lado a lado (MACHADO et al., 2006; PERALTA & COSTA, 2013) sendo as amostras de CEa georreferenciadas. Esse implemento foi acoplado a um quadriciclo Honda (Sumaré, SP, Brasil), o qual fornecia energia hidráulica e elétrica ao sistema. Foram estudados os semivariogramas e gerado o mapa de CEa através do método de interpolação por krigagem ordinária pelo programa ArcGis 10.5 (ESRI, Redlands, CA, USA). Foi utilizado o RPA (aeronave remotamente pilotada) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de voo. O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm). O sobrevoo sobre a área foi realizado à 100 m de altitude local, permitindo uma resolução espacial nas imagens de 0,10 m. As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. Os mapas de NDVI e mapas de prescrição foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5. Foi realizada a análise de componentes principais e estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis com o software Rbio (BHERING, 2017). Para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlações foi utilizada a rede de correlações, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das bordas foi controlada por aplicação de um valor de corte igual 0,60, o que significa que apenas  $|r_{ij}| \geq 0,60$  têm as suas arestas em destaque. Finalmente, correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores de NDVI aos 12DAE foram altamente influenciados pelas taxas de semeadura. Isso se deve pelo fato de que as maiores taxas apresentaram maior massa vegetal por área, concentrando os maiores valores de NDVI onde há mais plantas. Para o NDVI aos 40DAE, a maior interação foi com o teor de argila, que pode ser explicado pela maior capacidade em reter mais umidade do solo que locais onde os teores de areia são maiores, permitindo o maior desenvolvimento da cultura. A CEa apresenta interação negativa com o NDVI aos 12DAE e 40DAE para as taxas de semeadura que foram realizadas. Existe interação entre CEa e os teores de argila, isso pode complementar a discussão entre a influência da taxa de semeadura e os valores obtidos por NDVI, quando os teores de argila são maiores, junto com altos valores de CEa, essas áreas podem receber mais sementes, pois suportaram o desenvolvimento inicial da cultura, porém onde os valores de teor de argila e CEa são baixos, taxas de

semeadura menores podem responder melhor nos estágios iniciais. Nesse sentido, a condutividade elétrica tem sido importante no monitoramento da salinidade, textura e estratificação, umidade, densidade, matéria orgânica e derivados, lixiviação, definição de bordas em classificação de solos, classes de drenagem, entre outras (MOLIN & RABELLO, 2011). Matias et al., (2015) encontraram correlação positiva e linear utilizando o NDVI para estimar a produtividade de milho com imagens do satélite Landsat 8.

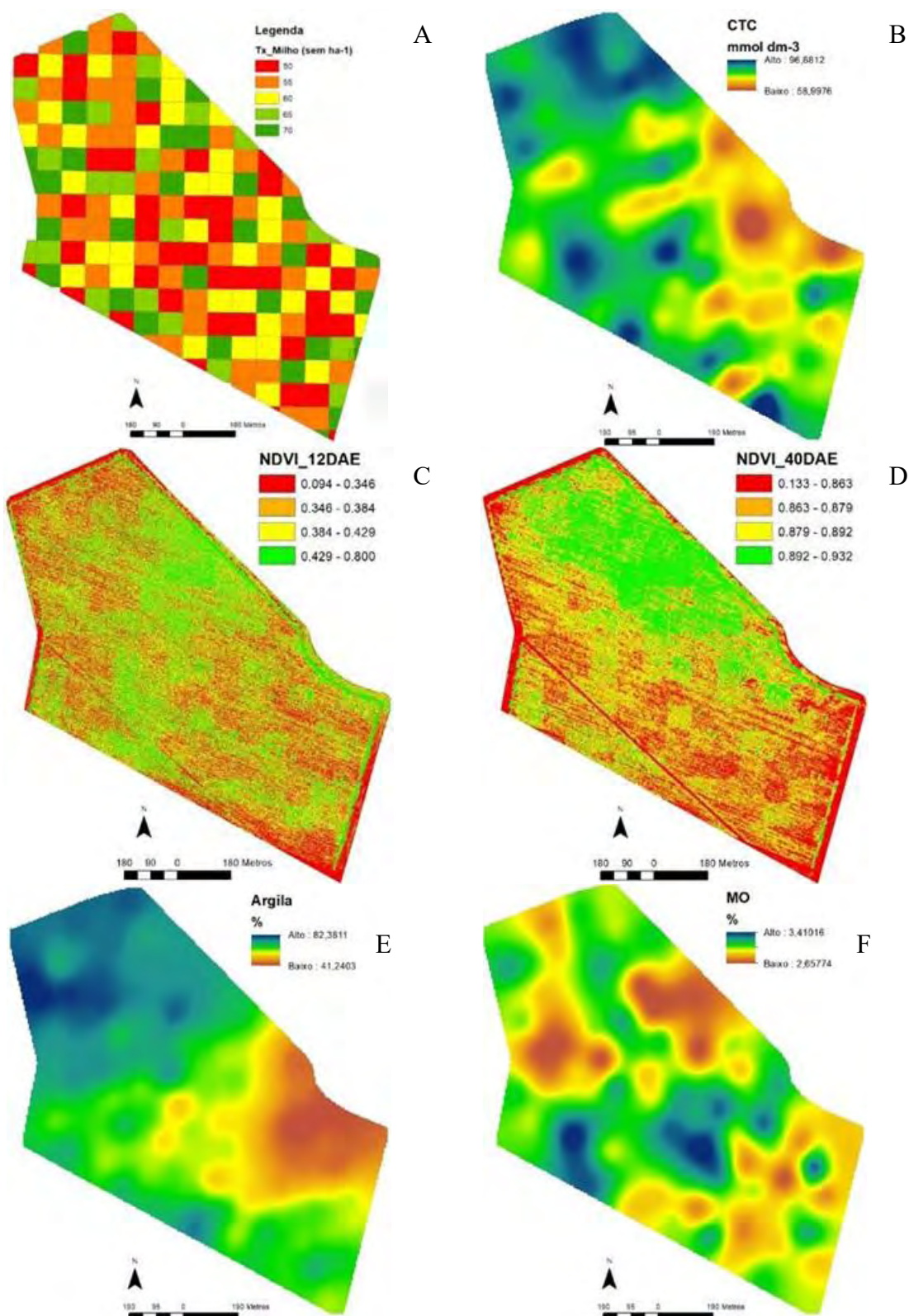


FIGURA 1. Ilustração dos mapas dos valores da VRT de semente de milho (A), CTC (B), Índice de vegetação aos 12 DAE (C) e aos 40 DAE (D), Teor de argila (E) e teor de MO (F).

O gráfico de correlações (Figura 2A) apresenta forte correlação entre NDVI no milho aos 12 e 40 DAE. Houve correlação positiva entre NDVI a 12DAE e CEa ilustrando que onde esse índice é maior, há maior teor de argila, e, portanto teor de umidade, favorecendo a emergência da cultura, e aumentando o NDVI com plantas mais vigorosas no stand inicial, como reportado sobre a Figura 1. A análise multivariada utilizando variáveis canônicas mostra que a variabilidade das populações de 50.000 e 55.000 plantas ha<sup>-1</sup> não influenciaram a variabilidade dos NDVI mensurados aos 12 e 40 DAE. Também foi observado que houve interação entre a variabilidade da CTC e CEa, e interação negativa entre NDVI aos 40DAE, CTC e CEa. Assim, os maiores valores de NDVI aos 40 DAE foram encontrados em locais onde a CTC era menor e diretamente influenciado pela população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, onde se espera maior produtividade.

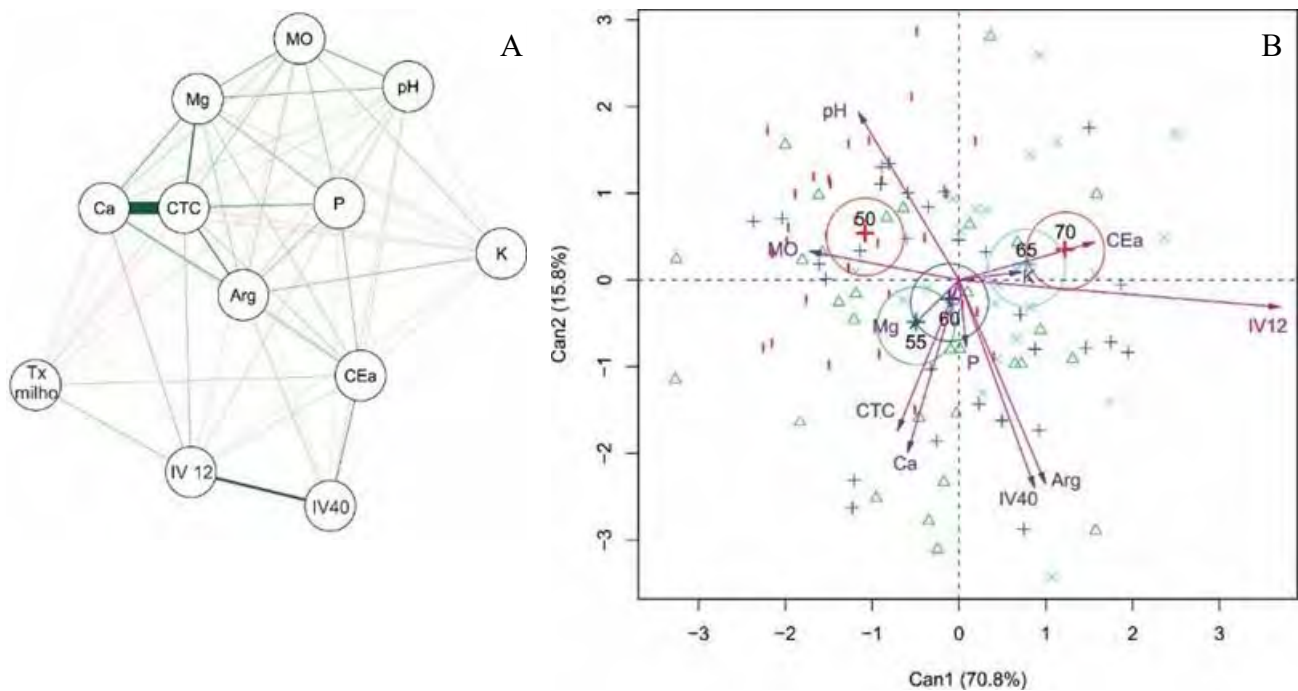


FIGURA 2. Ilustração do Gráfico de correlações (A) e Análise de multivariada (B).

**CONCLUSÃO:** Existe correlação negativa entre NDVI aos 12 dias após a emergência e a CEa. As populações de plantas mais baixas não influenciaram a variabilidade de NDVI mensurados aos 12 e 40 DAE. A população de plantas que mais interferiu no NDVI aos 40DAE, foi a população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

- ARTUZO, F. D.; JANDREY, W. F.; SILVA, L. X. **Impacto da agricultura de precisão a taxa variável na cultura da soja: questões produtivas e ambientais.** In: 2º Simpósio da Ciência do Agronegócio, 2014, Porto Alegre. Cadeias Globais de Suprimento no Agronegócio, 2014.
- BHERING LL. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.** v.17, n.2, p.187-190. 2017.
- CAMBARDELLA CA, MOORMAN TB, NOVAK JM, PARKIN TB, KARLEN DL, TURCO RF, KONOPKA AE. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal.** v.58, n.5, p.1501-1511. 1994.
- EMBRAPA (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília, 353p.
- MATIAS, J. F.; STRECK, L.; AGUILAR, D. D. **Geração de mapas de produtividade de milho (*Zea Mays*) com índice de vegetação NDVI de imagens Landsat 8.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, 2015.
- MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI. A.C. de C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G. de; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de um Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.41, p.1023-1031, 2006.

- MOLIN J.P.; RABELLO L.M. Estudos Sobre a Mensuração da Condutividade Elétrica do Solo. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.90-101. 2011.
- PERALTA, N.R.; COSTA, J.L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.99, p.218-226, 2013.
- RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. **Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation**. In Assessment of Non-Point Source Pollution in the Vadose Zone, Geophysical Monograph 108; CORWIN, D.L., LOAGUE, K., ELLSWORTH, T.R., EDS.; AGU: Washington, DC, 1999; 197–215.
- SILVA, M. C. da; GAMERO, C. A. Qualidade da operação de semeadura de uma semeadoraadubadora de Plantio direto em função do tipo de martelete e velocidade de deslocamento. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 01, p. 85-102, 2010.
- SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físicos-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.994-1002, 2014.
- TRANGMAR BB, YOST RS, WADE MK, UEHARA G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**. v. 38, p. 45-94, 1985.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**. v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

## **INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO CONJUNTO DE CALIBRAÇÃO EM MODELOS DE PREDIÇÃO PARA FÓSFORO E POTÁSSIO COM ESPECTROSCOPIA**

**FERNANDO DE OLIVEIRA ALARI<sup>1</sup>, THIAGO PONTES MACHADO<sup>2</sup>, LUCAS RIOS DO AMARAL<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Zootecnista, Pesquisador Colaborador, FEAGRI, UNICAMP, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP, Fone (16)996223193, fernandoalari7@gmail.com

<sup>2</sup> Aluno de Graduação em Eng<sup>a</sup> Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A espectroscopia tem demonstrado grande potencial para substituição dos métodos convencionais de análise de solo. Porém, esta metodologia é dependente da quantidade de amostras destinadas ao conjunto de calibração dos modelos de predição dos elementos do solo. Assim, objetivo foi avaliar se com uma proporção reduzida de amostras destinadas à calibração dos modelos é possível obter satisfatório desempenho na predição da disponibilidade de P e K no solo. Para isso foram coletados espectros de solo na região vis-NIR e criados modelos de calibração por meio de regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) utilizando duas formas de divisão dos dados 25% e 50% das amostras para o conjunto de calibração e, 75% e 50% para o conjunto de validação. Os resultados demonstraram que mesmo com o aumento do conjunto de calibração não houve melhora na predição dos modelos de P e K. Assim, a construção de modelos locais é inviável com um conjunto pequeno de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fertilidade do solo; cana-de-açúcar; sensoriamento proximal; espectrorradiometria.

### **DATASET SIZE INFLUENCE FOR CALIBRATION OF SOIL SPECTROSCOPY MODELS TO QUANTIFY PHOPHORUS AND POTASSIUM**

**ABSTRACT:** The spectroscopy is showing high potential to be an alternative for the conventional methods of soil analysis. However, this technique is dependent on the size of the dataset destined to prediction model's calibration. Thu, the goal of this study was to evaluate whether the reduced proportion of the dataset to build calibration models enables P and K prediction in the soil. For this, spectra on vis-NIR region were collected, calibration models were created using partial least squares regression (PLSR) utilizing two dataset partition proportion: 25% or 50% to calibration and, 75% or 50% to validation. The results showed that even with the increase calibration dataset there was not P and K prediction model improvement. Thus, it is unfeasible to construct local models to predict P and K with small datasets.

**KEYWORDS:** Soil fertility; sugar cane; proximal sensing, spectroradiometry.

**INTRODUÇÃO:** Segundo Molin (2004), a agricultura de precisão pode ser entendida como um conjunto de ações necessárias para a gestão de um sistema de produção, que considera a variabilidade espacial das lavouras, levando em conta que as condições de produção nessas áreas são heterogêneas, variando no tempo e no espaço. Na agricultura de precisão a amostragem deve quantificar e caracterizar a variabilidade espacial de parâmetros agrônômicos, representando-os na forma de mapas temáticos. Sendo assim, o número de amostras de solo para descrever uma área é um fator determinante para a qualidade e capacidade do mapa final em representar a variabilidade da área (MOLIN; AMARAL; COLAÇO et al., 2015). Contudo, o uso de grades amostragens densas se torna inviável principalmente pelo custo da análises de laboratório, o que não permite a correta definição dessa variabilidade (NANI et al., 2011). Desse modo, há um crescente interesse pela utilização da espectroscopia na avaliação das propriedades do solo em substituição, mesmo que parcial,

das análises químicas em laboratório, oferecendo uma opção mais barata e rápida. Espectros que abrangem do visível ao infravermelho próximo (Vis-NIR, 350 a 2500 nm) demonstram-se promissores para determinação de parâmetros físicos e químicos do solo (BEN-DOR et al., 2008). De acordo com Araújo, Demattê e Bellinaso (2013), é possível a utilização dessa região espectral para previsão de diversas propriedades do solo, mostrando grande potencial de substituição do método convencional de análise de solo. Para tal, a utilização dos dados obtidos pela espectroscopia vis-NIR é dependente do uso de métodos de modelagem. Dentre esses métodos podemos citar a regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR), principalmente utilizado para diminuir grandes conjuntos de dados, como é o caso de matrizes espectrais (WOLD, 1985). No processo de modelagem por PLSR há a necessidade de divisão do conjunto de dados em duas partes, uma para a construção do modelo (calibração) e outra para a validação desse modelo (validação externa). Segundo Moron e Cozzolino (2004), o aumento do conjunto de calibração proporciona o aumento da acurácia de predição dos modelos, principalmente por explicar com maior precisão a variabilidade dos dados. Contudo, devido ao custo das análises de solo, seria interessante utilizar a menor quantidade de amostras possível para a calibração dos modelos. Porém ainda há dúvidas sobre a proporção dessa divisão dos dados quando se tem número reduzido de amostras, o qual é o caso da amostragem de solo em grade. Logo, quanto menos amostras forem requeridas para calibração dos modelos, melhor o retorno do investimento. Frente a isso, nosso objetivo foi avaliar se com uma proporção reduzida de amostras destinadas à calibração dos modelos é possível obter satisfatório desempenho na predição da disponibilidade de P e K no solo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Em área cultivada com cana-de-açúcar de aproximadamente 100 ha foram coletadas 100 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, distribuídas em forma de grade regular. As amostras de cada ponto foram fracionadas em duas partes: 1) uma delas seguiu para análise laboratorial seguindo o método convencional, para determinação de P e K; 2) a outra parte do solo foi utilizada para análise espectral e criação dos modelos de calibração. Para a coleta dos espectros na região do visível e infravermelho próximo (Vis-NIR), as amostras foram secas em estufa à temperatura de 45° C por 24 horas e peneiradas em malha de 2 mm (ARAÚJO; DEMATTÊ; BELLINASO, 2013). Foi utilizado o equipamento FieldSpec 4 Standard-Res (Analytical Spectral Devices, Bolder, Colorado, EUA), que cobre a faixa espectral de 350 a 2500 nm e trabalha com o princípio da refletância difusa. O equipamento é utilizado em conjunto com um acessório de medida do mesmo fabricante (MugLight), o qual possui uma fonte de luz própria (lâmpada de halogênio). Obtivemos 4 espectros da mesma amostra de solo, com cálculo posterior da média, buscando maior representatividade do espectro médio. Após a coleta dos espectros, foram construídos modelos de calibração com duas densidades amostrais: 25 ou 50% dos dados destinados para a criação dos modelos de predição para as propriedades do solo (P e K). Ajustou-se os modelos pelo método da regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) com o auxílio do software Pirouette 3.11 (InfoMetrix, Bothell, Washington, EUA). A qualidade dos modelos construídos foi avaliada conforme seu desempenho preditivo para o conjunto de validação externa, compreendendo 75 ou 50% dos dados. Para isso, três figuras de mérito foram utilizadas: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a raiz quadrada do erro médio (RMSE) e a razão de porcentagem de desvio padrão (RPD) (Eq. (1)) (WILLIAMS, 1987).

$$RPD = \frac{DP}{RMSE} \quad (3)$$

Onde: DP é o desvio padrão dos dados de referência.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os modelos para predição para P e K foram todos insatisfatórios ( $R^2 \leq 0,26$  e  $RPD \leq 1,15$ ), segundo classificação de Terra, Demattê e Vicarra Rossel (2015) e Viscarra Rossel, Mcglynn e McBratney (2006), independente das configurações utilizadas entre calibração e validação externa dos modelos (Figura 1). O P e K não apresentam respostas diretas no espectro vis-NIR (TERRA; DEMATTÊ; VICARRA ROSSEL, 2015). O P está associado a presença de oxihidróxidos de ferro e alumínio no solo (EBERHARDT et al., 2008; BORTOLUZZI et al., 2015; FINK et al., 2016). Já, o K tem sua leitura no vis-NIR intrinsecamente relacionada as vibrações das moléculas de água relacionadas a esse elemento (DEMATTÊ et al., 2017). Assim, as concentrações nos solos estudados desses elementos (concentração média 8 mg dm<sup>-3</sup> de P e 1,2 mmolc dm<sup>-3</sup> de K) podem ter sido insuficientes para afetar os sinais no espectro vis-NIR em suas associações com oxihidróxidos de Fe e Al e água, prejudicando suas predições. Outro fato que pode ter contribuído para a má predição dos modelos pode ter sido o número de amostras utilizado no conjunto de calibração dos modelos, no presente trabalho os conjuntos de calibração

possuíam 53 e 106 amostras, respectivamente para as proporções 25 e 75%. Este fato é exemplificado por Moron e Cozzolino (2004), que demonstram em seu estudo que a análise de nitrogênio em matrizes complexas, como é o caso do solo, exigem um número de amostras superior a 124. Ramirez-Lopez et al. (2014) demonstraram também que a predição de argila e cálcio no solo foram melhores quando se trabalhou com mais de 200 amostras. Portanto, no âmbito da agricultura de precisão, o uso de uma pequena quantidade de amostras para a construção de modelos locais de predição pode ser inviável. Contudo, os modelos de predição poderiam ser aperfeiçoados com a utilização de conjuntos de dados maiores, com abrangência regional, somando-se a eles, por diferentes técnicas, os dados obtidos localmente. Romero et al. (2018) citam em sua pesquisa que a utilização de um banco de dados de amostras de solo internacionais adicionada aos seus poucos dados coletados localmente elevou a predição de matéria orgânica dos modelos. Assim, talvez a utilização de um banco de dados com diferentes matrizes de solo e doses de P e K auxiliariam no aumento da acurácia dos modelos.

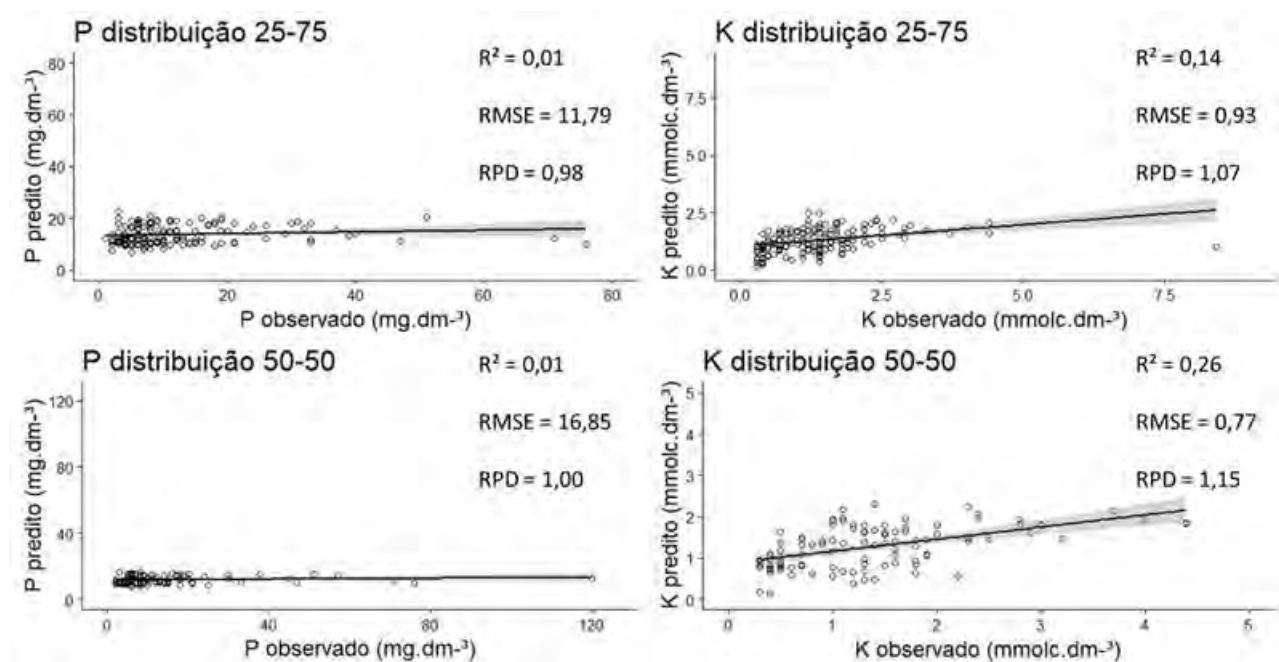


FIGURA 1. Valores reais e preditos pelos modelos Vis-NIR para a conjunto de validação, conforme o elemento avaliado e a divisão do conjunto de dados. R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação, RMSE = raiz quadrada do erro médio, e RPD = razão de porcentagem de desvio padrão.

**CONCLUSÃO:** Conjuntos de dados que apresentem quantidade reduzida de amostras não são viáveis para a criação de modelos de predição locais no âmbito da agricultura de precisão. Contudo o uso de outras metodologias de análises dos dados e bancos de dados regionais podem auxiliar no aumento da acurácia dos modelos, tornando-o aplicável.

**AGRADECIMENTOS:** Aos colegas Marcos A. N. Coutinho pelos ensinamentos passados e ao colega Thiago L. Brasco pelo apoio na preparação dos dados para este estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro (Processo FAPESP 2015/21616-5).

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ J. M.; BELLINASSO H. Analysing the effects of applying agricultural lime to soils by VNIR spectral sensing: a quantitative and quick method, **International Journal of Remote Sensing**, 34:13, 4570-4584, 2013.
- BEN-DOR, E., HELLER, D., CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 72, p. 1113-1123, 2008.
- BORTOLUZZI, E. C.; PÉREZ, C. A. S.; ARDISSON, J. D.; TIECHER, T.; CANER, L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, v. 104, p. 196-204, 2015.



- DEMATTÊ, J. A. M.; RAMIREZ-LOPEZ, L.; MARQUES, K. P. P.; RODELLA, A. A. Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. **Geoderma**, v. 288, p. 8–22, 2017.
- EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1009–1016, 2008.
- FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 369–379, 2016.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão e seus poucos anos de história. Campo Aberto. Canoas, maio, 2004.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MORON, A.; COZZOLINO, D. Determination of potentially mineralizable nitrogen and nitrogen in particulate organic matter fractions in soil by visible and near-infrared reflectance spectroscopy. **The Journal of Agricultural Science**, v. 142, p. 335–343, 2004.
- NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DEMATTÊ, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 386-392, 2011.
- RAMIREZ-LOPEZ, K.; BEHRENS, T.; VAN WESEMAEL, B. Sampling optimal calibration sets in soil infrared spectroscopy. **Geoderma**, 226–227, pp. 140-150, 2014.
- ROMERO, D.J.; BEN-DOR, E.; DEMATTÊ, J.A.M.; SOUZA, A.B.; VICENTE, L.E.; TAVARES, T.R.; MARTELLO, M.; STRABELI, T.F.; BARROS, P.P.S.; FIORIO, P. R.; GALLO, B.C.; SATO, M.V.; EITELWEIN, M.T. Internal soil standard method for the Brazilian soil spectral library: Performance and proximate analysis. **Geoderma**, 312, pg 95-103, 2018.
- TERRA, F. S.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis–NIR and mid-IR reflectance data. **Geoderma**, v. 255–256, p. 81–93, 2015.
- VISCARRA ROSSEL, R. A.; MCGLYNN, R. N.; MCBRATNEY, A. B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v. 137, n. 1–2, p. 70–82, 2006.
- WILLIAMS, P.C. Variables affecting near-infrared reflectance spectroscopy analysis. In: WILLIAMS, P., NORRIS, K. (Eds.), Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. vol. 1987. **American Association of Cereal Chemists**, St Paul Mn., pp. 143–166, 1987.
- WOLD, H. Partial Least Squares. **Encyclopedia of Statistical Sciences**, v. 6, p. 581–591, 1985.

## **INTEGRAÇÃO DE DADOS E SOFTWARES FAZENDO USO DA API AGDATABOX**

**THYAGO ROMAGNA BENDO<sup>1</sup>, CLAUDIO LEONES BAZZI<sup>2</sup>, ERMINIO PITA JASSE<sup>3</sup>,  
GUILHERME ALEXANDRE DOS SANTOS JOHANN<sup>4</sup>, GABRIELA KAROLINE MICHELON<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Discente do curso de Ciência da Computação, UTFPR, Medianeira – PR, Fone: (45) 99948299, thyagobendo@alunos.utfpr.edu.br

<sup>2</sup> Pesquisador, Departamento de Computação, UTFPR, Medianeira – PR.

<sup>3</sup> Mestrado, UTFPR, Medianeira – PR,

<sup>4</sup> Discente do curso de Ciência da Computação, UTFPR, Medianeira – PR,

<sup>5</sup> Aluna de mestrado, UTFPR, Medianeira – PR,

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Dentre os problemas que têm sido relacionados ao uso de tecnologias de agricultura de precisão (AP), verifica-se a dificuldade de gerenciamento da elevada quantidade de dados obtidos à campo, bem como a diversidade de tipos de dados disponíveis por diferentes softwares. Neste sentido, o presente trabalho visa apresentar o Ambiente de Programação Integrado (API) AgDataBox, que vem sendo desenvolvida para que seja possível a integração de dados de diferentes tipos e formatos e de diferentes fontes e softwares. A solução proposta neste projeto tem o objetivo de oferecer um ambiente capaz de permitir o armazenamento e gerenciamento de dados agrícolas a partir do desenvolvimento de softwares em diferentes plataformas. Por meio da documentação desenvolvida, desenvolvedores de software podem gratuitamente fazer uso da tecnologia e desenvolver suas aplicações de forma integrada ao ambiente. Como exemplo de integração de softwares, é apresentado uma solução mobile integrada a API. O projeto mostrou-se inovador e de fácil utilização, permitindo que dados de diversas fontes e formatos podem ser facilmente integrados e compartilhados entre si.

**PALAVRAS-CHAVE:** software web; compartilhamento de dados

### **DATA AND SOFTWARE INTEGRATION USING AGDATABOX API**

**ABSTRACT:** Among the problems related to the precision agriculture technology use, exist the difficult to manage the elevated quantity of data from the field, as the diversity of data types available for different softwares. In that sense, the present job aim to present the Application Programming Interface (API) AgDataBox, who is being developing to possibility a integration of different data types and formats and from different softwares source. The proposed solution in this project have the goal to offer a ambient capable to enable the agricultural data storage and management from the developing software on different platforms. By means of the developed documentation, software developers can free of change use the technology and devolve yours applications integrate to this ambience. As example of the software integration, a mobile solution is presented integrated the API. The project showed innovator and easy to use, enabling who many data source e formats can be easily integrated and shared with each other.

**KEYWORDS:** web software; data sharing

**INTRODUÇÃO:** A dificuldade em utilizar os softwares e o tempo gasto para entender os processos envolvidos na lógica aos quais foram desenvolvidos são os principais problemas apontados pela pesquisa de Reichardt e Jürgens (2009) como motivos que corroboram com a dificuldade na utilização de softwares aplicados no contexto agrícola. Fountas et al. (2005) analisaram que existem diversos softwares voltados para o meio agrícola, entretanto eles normalmente atendem somente à poucas funcionalidades específicas, não possibilitando uma análise completa. Segundo os autores dentre os poucos softwares que possibilitam uma certa integração de dados, o custo fica superior ao aporte financeiro dos produtores, o que dificulta ainda mais a integração destes tipos de dados. Neste sentido, o projeto Agricultural Data Box (AgDataBox), que vem sendo desenvolvido por pesquisadores de diversas regiões do país, busca integrar dados de

agricultura de precisão de diferentes aplicações, focando em armazenamento, gerenciamento e disponibilização de dados agrícolas, possibilitando ainda a disponibilização de forma aberta (Jasse, 2017). Para permitir essa integração entre diferentes aplicações e diferentes tipos de dados foi necessário padronizar os meios de comunicação de diferentes sistemas e linguagem, sendo então implementada uma API (Application Programming Interface) com a arquitetura REST (Representational State Transfer), seguindo o recomendado para uso em APIs públicas (BORA e BEZBORUAH, 2015).

**MATERIAL E MÉTODOS:** No desenvolvimento da API AgDataBox, foram utilizadas tecnologias gratuitas como a linguagem de programação Java, o servidor de aplicações web Tomcat e a IDE NetBeans (Jasse, 2017). Como padrão de comunicação de dados, o ambiente foi configurado para receber/enviar dados via protocolo HTTP, fazendo uso do padrão JSON (JavaScript Object Notation), considerando que Nurseitov, Nurzhan, et al. (2009) afirmam que este padrão tem um menor uso de memória, devido a não utilizar as marcações de “tags”, possui melhor desempenho, e seu formato ser facilmente entendido pelos utilizadores. Como sistema gerenciador de banco de dados, utilizou-se o PostgreSQL, juntamente com sua extensão para o tratamento de dados geográficos, PostGIS. Para garantir a segurança dos dados e dos utilizadores da API, foi implantado um sistema de segurança que funciona com a autenticação por meio de token, sendo permitido acesso restrito aos dados de cada usuário. Em casos onde há necessidade de um usuário realizar o acesso aos dados de outro usuário, foi criada uma metodologia de permissões, onde um usuário pode permitir que outro tenha acesso sobre os recursos desejados, com os métodos desejados, em um período determinado. Como muitos dados são comuns para todos os usuários, tais como cultura, variedade, unidades de medidas, entre outros, estes recursos foram disponibilizados de forma pública para evitar duplicação de dados no banco de dados, sendo realizada de forma controlada e automática pela API. Considerando a necessidade de entendimento do funcionamento da API por desenvolvedores para acoplarem suas aplicações a referida API (Robillard, 2009), os processos e formas de comunicação foram padronizados e documentados de forma a permitir a uniformização da comunicação e possibilidade de acoplamento por qualquer sistema que deseja-se interagir com a API, independentemente de linguagem, banco de dados, sistema operacional que esta aplicação tenha sido desenvolvida. O ambiente de testes, utilizado na fase de desenvolvimento foi o Postman, sendo que foram integrados a parte de testes e a documentação de texto dos métodos, visando proporcionar um ambiente de aprendizado mais produtivo. Neste sentido, foi utilizado o software Swagger, que proporcionou desenvolver um ambiente de testes integrado muito mais atrativo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** AgDataBox – API pode ser considerada como o centro de conversação ou intermediador da conversa entre sistemas e diferentes tipos de dados. A comunicação é realizada em padrão específico (HTTP), fazendo uso de protocolos para envio e recebimento dos diferentes tipos de dados. Na Figura 1 o projeto AgDataBox é apresentado no contexto geral em que na parte central, a API atua como intermediador entre as aplicações, sendo responsável pelo processamento e armazenamento de todos os dados.

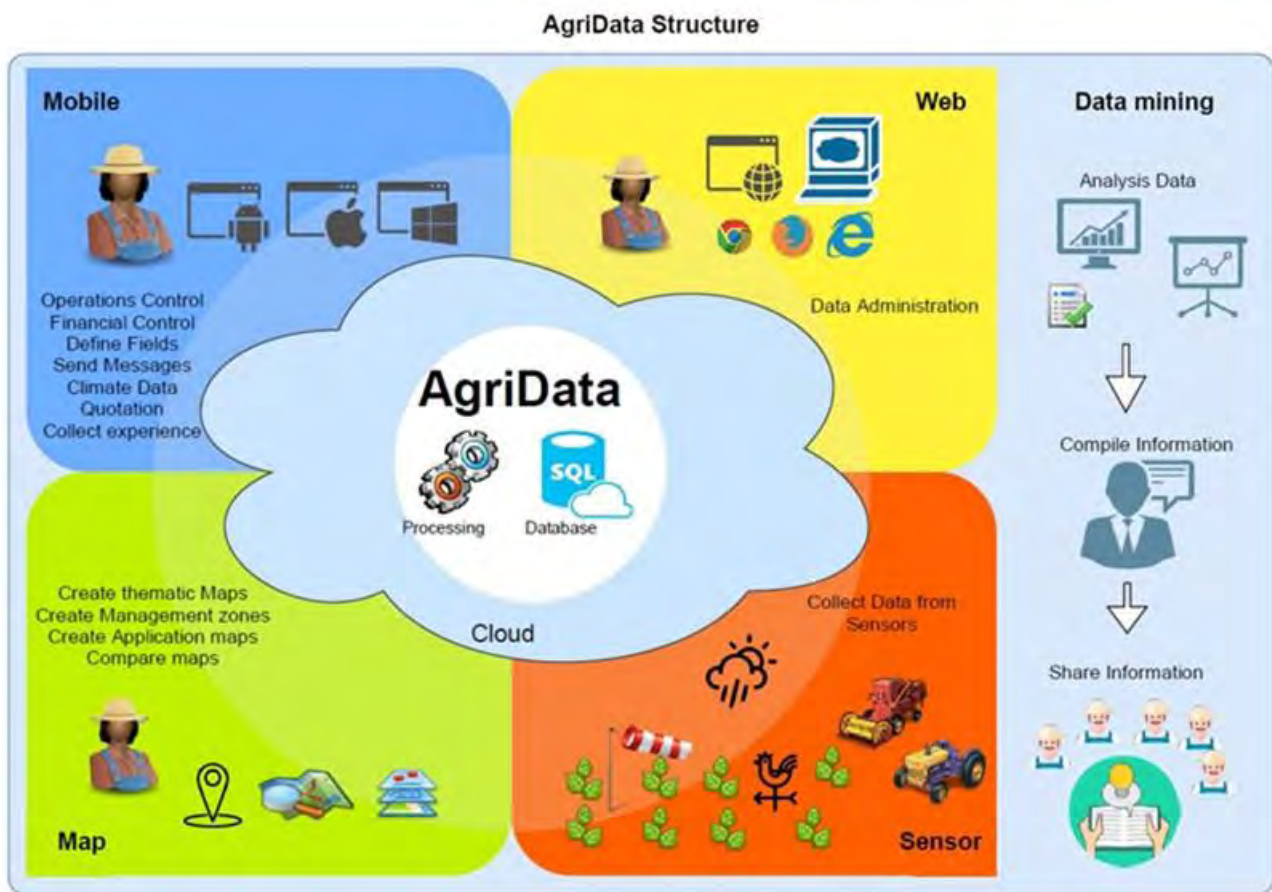


FIGURA 1. Estrutura do projeto AgDataBox.

Para demonstrar as funcionalidades e integração de dados e softwares, o aplicativo AgDataBox Mobile (disponível na Play Store para smartphones com Sistema Operacional Android), foi desenvolvido com objetivo de auxiliar pequenos e médios agricultores no gerenciamento de suas propriedades, armazenando dados sobre suas safras, áreas produtoras, dados climáticos, entre outros.

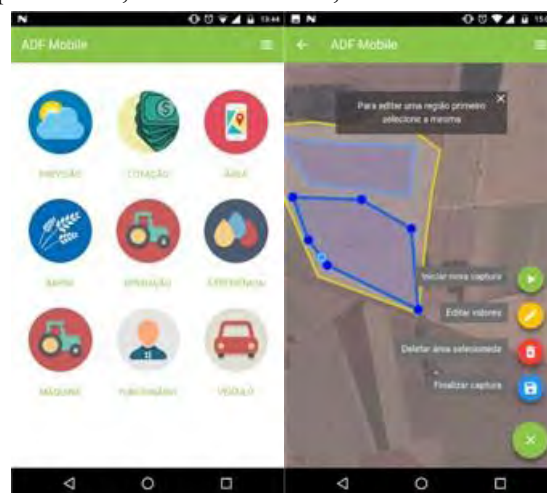


FIGURA 2. Telas do aplicativo AgDataBox Mobile fazendo demarcação de áreas e de ocorrências.

Considerando a viabilidade de integração deste tipo de aplicação, foi construída uma documentação para nortear os desenvolvedores a como realizar a integração com a API desenvolvida. Visando facilitar o entendimento por parte dos desenvolvedores, foi criado um layout (Figura 3) que funciona de forma responsiva, e que contempla a realização de testes no próprio ambiente em que a documentação foi disponibilizada ([www.ppat.com.br/api/login](http://www.ppat.com.br/api/login)).



FIGURA 3. Telas da documentação AgDataBox em sua versão mobile, web e sua tela de testes.

**CONCLUSÃO:** Com o desenvolvimento da API e sua documentação, verifica-se que trata-se de um ambiente viável para integração de dados agrícolas, considerando a facilidade de comunicação com o servidor disponível na Nuvem, as formas de representação e comunicação utilizadas e a gratuidade do ambiente. Percebe-se aqui que o ambiente tende a dar suporte ao problema de integração de dados de diversas fontes, armazenando-as e organizando-as de forma eficiente e facilitada, podendo qualquer empresa que possui equipamentos e dispositivos de coleta de dados, criarem módulos para integrar suas aplicações proprietárias ao ambiente integrado, visando facilitar o uso dos dados coletados por parte do produtor rural.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, ao CNPQ e a CAPES pelo apoio financeiro oferecido para viabilização do presente projeto.

## REFERÊNCIAS

- Reichardt, M., and Carsten Jürgens. "Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups." *Precision Agriculture* 10.1 (2009): 73-94.
- Fountas, Spyros, Søren Marcus Pedersen, and Simon Blackmore. "ICT in Precision Agriculture—diffusion of technology." *ICT in agriculture: perspective of technological innovation*, E. Gelb and A. Offer (eds), <http://departments.agri.huji.ac.il/economics/gelb-main.html> (2005).
- Bora, Abhijit, and Tulshi Bezboruah. "A comparative investigation on implementation of RESTful versus SOAP based web services." *International Journal of Database Theory and Application* 8.3 (2015): 297-312.
- Nurseitov, Nurzhan, et al. "Comparison of JSON and XML data interchange formats: a case study." *Caine* 9 (2009): 157-162.
- Robillard, Martin P. "What makes APIs hard to learn? Answers from developers." *IEEE software* 26.6 (2009).

## **MAPAS DE PRODUTIVIDADE PARA CENOURA EM SISTEMA DE COLHEITA SEMI-MECANIZADA**

**PEDRO M. N. OTTONI<sup>1</sup>, LEONARDO F. MALDANER<sup>2</sup>, MARCELO C. F. WEI<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (19) 34478905, jpmolin@usp.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com recentes inovações tecnológicas, a cultura da cenoura tende a ser produzida em escala e a importância do entendimento da variabilidade espacial das lavouras cresce. Para tanto, os mapas de produtividade se tornam necessários. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade de obtenção de dados de campo para a geração de mapas de produtividade de cenoura em colheita semi-mecanizada e comparar os métodos de interpolação pelo inverso da distância e krigagem ordinária com esse conjunto de dados. Tais dados foram obtidos de uma área de 1,56 ha em Uberaba, MG, georreferenciando as caixas de cenouras juntadas após o arranquio mecanizado. A estimativa da produtividade, interpolação de dados e geração de mapas foram realizadas com ferramentas de Sistema de Informação Geográfica. A partir da análise estatística descritiva e geoestatística foi observada a necessidade da filtragem de dados discrepantes e após este processamento os dados de produtividade apresentaram dependência espacial moderada. O método de interpolação pelo inverso da distância apresentou menor erro quadrático médio da raiz relativa em relação à krigagem ordinária. Dessa forma, conclui-se ser viável gerar mapas de produtividade para cenoura com sistema de colheita semi-mecanizada para o talhão estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, Sistema de Informação Geográfica, Variabilidade Espacial

### **DEVELOPMENT OF YIELD MAPPING FOR CARROT SEMI-MECHANIZED HARVEST**

**ABSTRACT:** The carrot production systems tend to be grown in larger proportions with the advance of the technology provided to the farmers which enhance the necessity to understand the spatial variability on crops. Therefore, yield maps become essential. This work aimed to evaluate the feasibility to collect field data to develop yield maps for carrot semi-mechanized harvest system and to compare interpolation methods by inverse distance weighted and ordinary kriging for these data. The dataset was obtained from an area of 1.56 hectare in Uberaba, MG, georeferencing the carrot boxes gathered after the mechanical pull-off. The yield estimation, data interpolation and generation of yield maps were performed using Geographic Information tools. The descriptive statistics and geostatistics analysis allowed visualizing the necessity to remove outlier data. After this procedure, the yield data presented moderate spatial dependency. The Inverse Distance Weighted method presented a lower root mean square deviation than the Ordinary Kriging method. This work concludes that it is feasible to develop yield maps in carrot semi-mechanized harvest system for this area of study.

**KEYWORDS:** Geostatistic, Geographic Information System, Spatial Variability

**INTRODUÇÃO:** A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma importante cultura hortícola na economia brasileira, além de ser uma excelente fonte nutricional ao ser humano (ALVES et al., 2016). A adoção de novas tecnologias na colheita da cenoura, como os equipamentos que realizam a remoção das raízes do solo, corte das folhas e a pré-limpeza, é cada vez mais adotada e induz à concentração e aumento do tamanho das áreas produtivas. A mecanizaçãorega impactos na redução de custo de mão-de-obra, além da redução do índice de

danos às raízes e possibilidade de colheita em diversos turnos de trabalho (MELO et al., 2016). A agricultura de precisão (AP) é um sistema de manejo integrado que visa melhorar economicamente a atividade agrícola considerando a variabilidade espacial e temporal (INAMASU & BERNARDI, 2014). Segundo MOLIN (2004), o resultado de uma lavoura, ou seja, a produtividade, é a informação mais importante para visualizar a variabilidade espacial da produção por meio de um mapa de produtividade. A coleta de dados de produção georreferenciados permitem a criação e identificação de áreas com diferentes potenciais produtivos permitindo desta maneira uma investigação direcionada (RABELLO et al., 2014). A qualidade na geração de mapas de produtividade é intrínseca à coleta adequada de dados, tornando-se mais complexa para sistemas de colheita altamente dependente de mão-de-obra com destaque para as culturas hortícolas (MOLIN et al., 2015). Processos para a coleta de dados em colheita manual ou semi-mecanizada já foram desenvolvidos para culturas como cana-de-açúcar (MOLIN et al., 2004) e laranja (COLAÇO et al., 2015). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos analisar a viabilidade de obtenção de dados de campo para a geração de mapas de produtividade em cenoura para colheita semi-mecanizada e explorar métodos de interpolação desses dados.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados foram coletados em uma área de 1,56 ha, na região de Uberaba, MG (19°31'7"S - 47°46'45" W) com a cultivar de cenoura Verano. A semeadura foi realizada em canteiros de 1,75 m de largura, com plantas dispostas em três conjuntos de linhas: linhas triplas nas extremidades e uma linha dupla na posição central. A colheita foi realizada no mês de agosto de 2017 quando ocorreu o amarelecimento e secamento das folhas mais velhas e o curvamento das folhas mais novas para baixo. Para arrancar as raízes foi utilizada a colhedora, modelo Dewulf GKIISE (Dewulf Group, Bélgica), que realiza o processo de remoção das raízes do solo em um único canteiro, retira o excesso de solo das raízes, corta as folhas e deposita a cenoura sobre o solo (Figura 1A). As cenouras colhidas foram depositadas ao lado esquerdo da colhedora com deslocamento de 5,25 m (Figura 1B). Devido ao tempo de processamento e a velocidade de deslocamento, as cenouras foram depositadas 16,5 m à frente, no sentido da colheita, em relação ao local onde foram arrancadas. Para o cálculo dessa distância, a cenoura inicialmente arrancada do solo foi marcada com tinta spray e uma estaca foi posicionada para marcar seu posicionamento inicial. Em seguida, foi rastreado e localizado o local de deposição da cenoura marcada com a tinta no solo pela máquina, dessa forma, foi mensurado o deslocamento da cenoura desde o ponto de arranquio até a sua deposição. Por causa das características construtivas da colhedora, a colheita foi realizada em único sentido de deslocamento, de modo que os erros de deposição das raízes ocorreram em sentidos iguais para todas as passadas da colhedora.



FIGURA 1. Sistema de colheita da cenoura semi-mecanizada. Colhedora de cenoura (A). Enleiramento das raízes ao lado da colhedora (B).

As cenouras são avaliadas visualmente pelos coletores previamente instruídos e, então, são depositadas em caixas plásticas com dimensões de 0,30 m x 0,33 m x 0,55 m e capacidade de 52 L. Dessa forma, as raízes que não se enquadravam no padrão de comercialização da fazenda, danificadas ou defeituosas, eram descartadas no campo (Figura 2A). Foi realizada a aferição da massa de cenouras contida em 150 caixas,

aleatoriamente escolhidas dentro da área de estudo, sendo que o peso médio por caixa foi de 28,59 kg. Seguindo a metodologia descrita por Colaço et al. (2015) e adaptada a essa condição, primeiramente as caixas de cenouras vazias eram dispostas próximos aos canteiros, sendo estes com faixas compreendendo de 20 m a 25 m. O preenchimento foi realizado colocando somente as cenouras mais próximas da caixa até completar aproximadamente 29 kg. O preenchimento das caixas ocorreu de forma individual, resultando em um grupo de caixas por pessoa. Todas as caixas na lavoura foram georreferenciadas por meio de um receptor GNSS modelo SMART-AG (NovAtel Inc., Canadá) e suas coordenadas geográficas foram armazenadas pelo programa SST Field Rover II, versão 7.13 (SST Development Group, EUA) por meio de um computador de mão iPAQ H3650 (Compaq Computer Corporation, EUA) (Figura 2B).

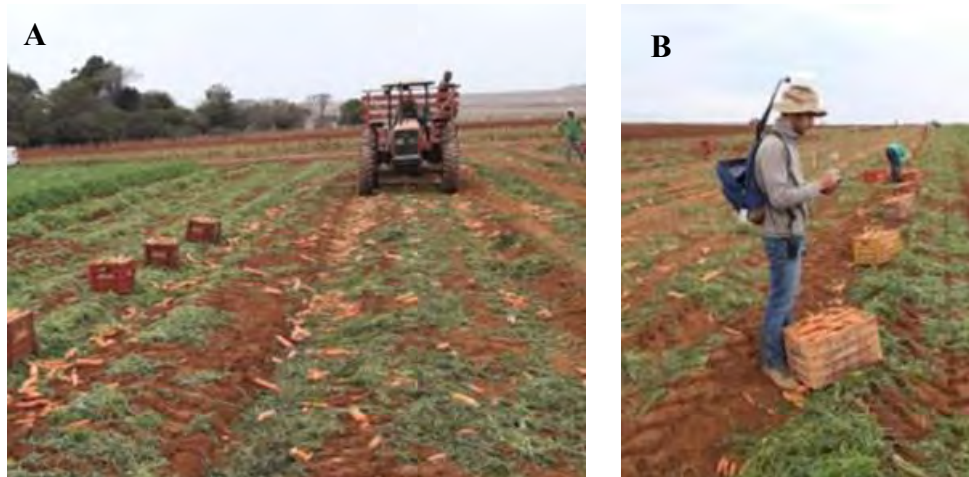


FIGURA 2. Coleta de dados da cenoura. Seleção e encaixotamento das raízes (A). Georreferenciamento das caixas (B).

Para correção do posicionamento das cenouras, foi realizado o deslocamento dos pontos (16,5 m) em sentido contrário da colheita. Para estimar os valores de produtividade em cada ponto coletado, primeiramente utilizou a ferramenta 'Voronoi Polygons' do software QGIS 3.0 (Geographic Information System, v. 3.0.1 Girona, QGIS 2018). Este algoritmo divide a área em polígonos menores, cada um correspondente à área de cobertura de cada caixa coletada (Figura 3). Em seguida atribuiu-se o valor de 28,59 kg para todos os pontos juntamente com os valores das áreas, transformando os dados em produtividade ( $\text{ton ha}^{-1}$ ). Devido à necessidade de remoção de pontos com valores discrepantes de produtividade, foi utilizada a metodologia de identificação e remoção de dados discrepantes descrito por Spekken et al. (2013). Realizou-se a estatística descritiva dos dados de produtividade antes e após a remoção dos dados discrepantes e na sequência, a análise geostatística no software Vesper 1.6 (ACPA, University of Sydney) e os modelos esféricos, exponenciais e gaussiano foram testados. O nível de dependência espacial foi avaliado com base na porcentagem do efeito de pepita sobre a variância do peitoril e classificado como forte ( $< 25\%$ ), moderado (entre 25 e 75%) ou fraco ( $> 75\%$ ) (Cambardella et al., 1994). Constatada a presença de dependência espacial entre os dados, foram realizadas as interpolações por krigagem ordinária (KO) e Inverso da distância (ID). A KO foi realizada utilizando o software Vesper 1.6 e a interpolação por ID foi realizada utilizando a ferramenta 'Interpolation' do software QGIS 3.0. Para considerar as diferenças nos mapas em relação ao tipo de interpolador, a medida estatística escolhida para comparação do desempenho de cada cenário foi o erro quadrático médio da raiz relativa (RMSE).



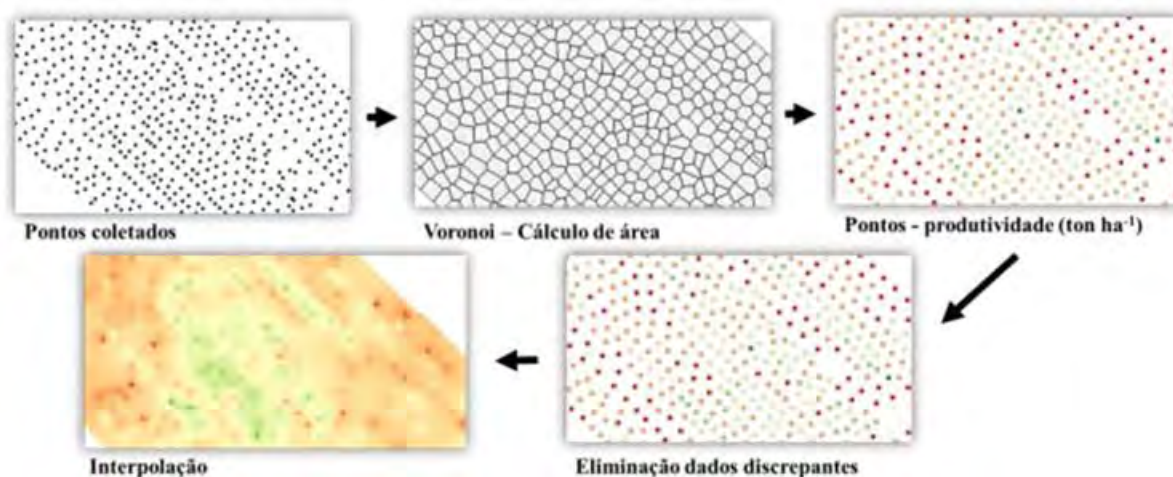


FIGURA 3. Etapas para geração do mapa de produtividade de cenoura.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observou-se que os pesos contidos nas caixas de cenoura colhidas no campo podem ser considerados estatisticamente iguais (Tabela 1). Isso possibilita o monitoramento da produtividade em campo a partir do seu georreferenciamento. Entretanto, essa atividade deve ser realizada com equipamentos que possibilite a coleta dos pontos de forma ágil, acurada e precisa. Caso contrário, distorções no mapa de distribuição de caixas no campo podem ocorrer. Imprevistos que impossibilitem o perfeito funcionamento do maquinário envolvido na colheita, além do incorreto posicionamento das caixas pelos funcionários, podem ser outros fatores causadores de erros.

TABELA 1. Estatística descritiva dos pesos de 150 caixas com cenoura (kg).

n	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	DP	CV (%)
150	27,2	28,7	28,6	30,0	0,6	2,2

n- número de amostras; DP – desvio padrão; CV- coeficiente de variação.

A variação dos valores de produtividade e do coeficiente de variação indicaram que existem dados com valores de produtividade discrepantes no conjunto de dados originais (Tabela 2). A metodologia utilizada para o cálculo da produtividade utilizou o valor fixo de peso das caixas variando somente os valores de área de atribuição de cada caixa, de modo que, os valores de áreas muito pequenas ou muito grandes resultaram em valores de produtividade superestimados e/ou subestimados. O alto valor do efeito pepita indica que existe grande variação da produtividade em pequenas distâncias na base de dados originais, além de mostrar que a distância amostral adotada não foi suficiente para medir a variabilidade espacial. Após a remoção dos dados discrepantes, a produtividade média do talhão foi de 75,39 ton ha<sup>-1</sup> e variou entre 48,46 ton ha<sup>-1</sup> e 114,44 ton ha<sup>-1</sup>. Além disso, após a filtragem, houve redução na ordem de 85% no valor do efeito pepita. Os dados pós-processados de produtividade apresentaram moderada dependência espacial com alcance de 38,07 m.

TABELA 2. Estatística descritiva e análise geostatística dos dados de produtividade da cenoura.

Dados	n	Mín.	Média	Med.	Máx.	DP	CV	M	C <sub>0</sub>	$\frac{A}{m}$	R	IDE
		ton ha <sup>-1</sup>					%					
Original	3868	24,14	76,35	74,40	326,56	23,92	31,33	Esf.	494,60	40,74	0,58	0,83
Filtrado	2620	48,46	75,39	74,76	114,44	12,03	15,95	Esf.	82,09	38,07	0,70	0,52

n – número de amostras; Mín. – mínimo; Med. – mediana; Máx. – Máximo; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; M – Modelo ajustado; Esf. – Esférico; C<sub>0</sub> – efeito pepita; A- alcance; R – coeficiente de correlação da validação cruzada; IDE – índice de dependência espacial.

Os mapas gerados apresentaram mesmos padrões, entretanto há uma maior suavização das informações no mapa gerado pela KO (Figura 4). Valores RMSE próximos de zero indicam menor erro na estimação de valores de produtividade, indicando a qualidade dos dados estimados. Dessa forma, neste estudo, é possível inferir que para esse cenário avaliado (talhão e metodologia) o método de interpolação ID apresentou melhor desempenho que a KO para os dados de produtividade, da forma como foram obtidos. A interpolação por ID manteve as variações de produtividade em pequenas distâncias, o que já era esperada devido à alta

densidades de caixas. Já a KO suavizou estas informações em pequenas distâncias, porém o mapa ainda apresenta as informações de altas e baixas produtividades da lavoura.

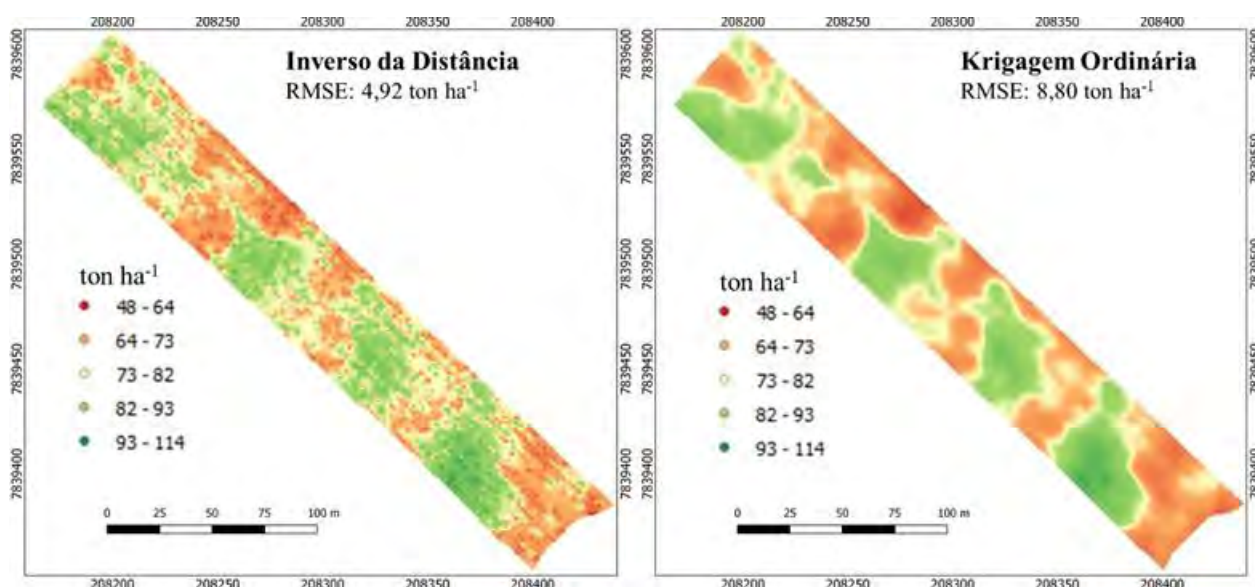


FIGURA 4. Mapas de produtividade de cenoura desenvolvidos a partir de diferentes métodos de interpolação. Interpolação dos dados pelo inverso da distância (A); interpolação dos dados pela krigagem ordinária (B).

O georeferenciamento das caixas de cenoura durante a colheita e o pós-processamento dos dados mostraram ser uma ferramenta viável para gerar mapas visando à gestão localizada no cultivo da cenoura. Apesar dos valores de peso das caixas com cenoura distribuídas pela área apresentarem homogeneidade, ou seja, não há diferença de produtividade entre os canteiros, foi possível observar visualmente pelo mapa de produtividade uma variabilidade na produtividade de forma contínua entre os canteiros.

**CONCLUSÃO:** É possível gerar mapas de produtividade para a cultura da cenoura em sistema de colheita semi-mecanizada georeferenciando as caixas após o seu enchimento e submetendo os dados ao pós processamento. Para este conjunto de dados, o método de interpolação interferiu no resultado final do mapa de produtividade, com melhor desempenho da interpolação pelo inverso da distância em relação à krigagem ordinária para a área e cenário avaliado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F. M., GONÇALVES, M. F., NICK, C. **A cultura**. In: NICK, C., BOREM, A. (Ed.). *Cenoura: do plantio à colheita*. Viçosa: Ed. UFV, cap. 1, p. 9-17, 2016.
- CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., NOVAK, J. M., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v.58, n.5, p. 1501-1511, (1994).
- COLAÇO, A. F., TREVISAN, R. G., KARP, F. H. S., & MOLIN, J. P. Yield mapping methods for manually harvested crops. In *Precision agriculture'15* (pp. 39-44). Wageningen Academic Publishers, 2015.
- INAMASU, R. Y, BERNARDI A, C. DE C. **Agricultura de Precisão**. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 21-33, 2014.
- MELO, P. C. T, SILVA, A. P. G., ARAÚJO, T. H. Colheita e pós-colheita. In: NICK, C., BOREM, A. **Cenoura: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, cap. 10, p. 162-179, 2016.
- MOLIN, J.P., AMARAL, L.R., COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238p.

MOLIN, J.P., FONTANA, G., GUIMARÃES, R.V., CABRERA, F.R., COSTA, M.B. Elaboração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar em corte manual com queima prévia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. Anais..., Piracicaba: ESALQ, 2004. 1 CD-ROM.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 48-57, 2014.

SPEKKEN, M.; ANSELMINI, A.A.; MOLIN, J.P. A simple method for filtering spatial data. In: EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 9. 2013. Lleida, Spain. Proceedings..., Lleida, 2013.

## **MONITORAMENTO DE LAVOURAS DE CANA-DE-AÇÚCAR POR IMAGENS AÉREAS E SENSORES A LASER**

**TATIANA FERNANDA CANATA<sup>1</sup>, MAURÍCIO MARTELLO<sup>2</sup>, TIAGO RODRIGUES TAVARES<sup>3</sup>,  
PETERSON RICARDO FIORIO<sup>4</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> de Biossistemas, Doutoranda, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba–SP, (19) 3447-8551, tatiana.canata@usp.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental, Doutorando, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Laboratório de Agricultura de Precisão, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Os sensores a laser, baseados em tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), e as imagens aéreas adquiridas por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) são técnicas de sensoriamento remoto aplicáveis ao ambiente de produção agrícola para a identificação de variabilidade espacial das lavouras. O objetivo do trabalho é empregar tais técnicas em cana-de-açúcar para a detecção do dossel de plantas. Os dados de LiDAR e de RPA foram adquiridos em conjunto em uma área de 0,77 ha. O sistema LiDAR é composto por receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com sinal de correção diferencial e um sensor a laser que emite feixes de luz no plano bidimensional. Esses equipamentos foram instalados a 4,0 m de altura em relação ao solo em um trator agrícola por meio de uma barra rígida. O pós-processamento gera uma nuvem de pontos, com cada ponto impactado pelo feixe de luz nas respectivas coordenadas geográficas. As imagens aéreas foram obtidas por uma plataforma multirrotor equipada com seis motores distanciados 0,55 m entre si, a aeronave contém uma controladora APM 2.6. Uma câmera digital com resolução espectral na faixa do visível foi utilizada para a aquisição de imagens a 0,03 m pixel<sup>-1</sup>. O voo foi executado a 40,0 m em relação a altitude local e sobreposição de imagens de 90,0% lateral e longitudinal. As imagens foram calibradas e obteve-se a nuvem de pontos. A identificação do dossel de plantas foi viabilizada por ambas as técnicas, sendo que o emprego dessas depende do nível de dados requerido para a extração de informações das lavouras.

**PALAVRAS-CHAVE:** altura de plantas, sensoriamento remoto, variabilidade espacial

### **MONITORING SUGARCANE CROPS BY AERIAL IMAGERY AND LASER SENSORS**

**ABSTRACT:** Laser sensors based on LiDAR (*Light Detection and Ranging*) technology and aerial images acquired by remotely piloted aircraft (RPA) are remote sensing techniques applicable to the agricultural production environment for identification of spatial variability of crops. The objective is to employ such techniques in sugarcane to detect the canopy plants. LiDAR and RPA data were purchased together in an area of 0.77 ha. LiDAR system consists of a GNSS (*Global Navigation Satellite System*) receiver with differential correction signal and a laser sensor that emits light beams in the two-dimensional plane. These equipments were installed at a height of 4.0 m in relation to the ground in an agricultural tractor by means of a rigid bar. Post processing generates a point cloud, with each point impacted by the light beam at the respective geographic coordinates. Aerial images were obtained by a multirotor platform, equipped with six motors spaced 0.55 m apart, aircraft contains an APM 2.6 controller. A digital camera with spectral resolution in the visible band was used to acquire images at 0.03 m pixel<sup>-1</sup>. Flight was performed at 40.0 m in relation to local altitude and overlap of 90.0% lateral and longitudinal images. Aerial images were calibrated and a point cloud was obtained. The identification of the canopy plants was made possible by both techniques, and the use of these depends on the level of data required for extracting crop information.

**KEYWORDS:** crop height, remote sensing, spatial variability

## INTRODUÇÃO

A área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil é de cerca de 9,05 milhões de hectares com produtividade média de 72,62 t ha<sup>-1</sup>, e produção acumulada de 27,80 bilhões de litros etanol e 38,69 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2017). Poucos estudos demonstram o potencial da Agricultura de Precisão (AP) como ferramenta para o manejo da variabilidade espacial inerente às lavouras. O conceito de AP envolve a identificação da variabilidade espacial e temporal dos fatores limitantes de produção e da produtividade da cultura (MOLIN et al., 2015). A identificação de variabilidade na lavoura permite, por exemplo, a aplicação localizada de insumos e a sua gestão de acordo com a identificação das demandas características do solo e de plantas.

As tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas na agricultura têm permitido o monitoramento e o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal das lavouras em tempo real. Para o cultivo de cana-de-açúcar o uso de sensores óticos ativos apresenta capacidade para a predição de biomassa das plantas (PORTZ et al., 2011) e para a diferenciação de doses de nitrogênio a partir da resposta espectral da vegetação (AMARAL e MOLIN, 2011). Outras técnicas de sensoriamento remoto são mais recentes no ambiente agrícola, como os sensores de varredura (ultrassom, radar e laser) para a mensuração de parâmetros geométricos da cultura, os quais são associados às variações de produtividade e à incidência de pragas e doenças nas lavouras (ÈSCOLA et al., 2016). Os sensores a laser baseiam-se na tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para a obtenção do modelo tridimensional da vegetação, a partir da nuvem de pontos gerada pelo sensor em conjunto com um dispositivo GNSS (*Global Navigation Sattelite System*).

Outra alternativa de sensoriamento remoto é a utilização de sensores embarcados em Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) a fim de obter a modelagem tridimensional da área de estudo por meio de imagens aéreas ortoretificadas. Essa alternativa possibilita a estimativa de parâmetros geométricos, como a altura da vegetação, a qual é uma informação essencial na estimativa da produtividade de cana-de-açúcar (PORTZ et al., 2012). Alguns estudos internacionais identificaram a praticidade e a rapidez de obtenção da altura da cultura por meio de imagens obtidas por RPA em comparação às outras tecnologias disponíveis comercialmente (HOLMAN et al., 2016). O objetivo do trabalho é empregar as técnicas de LiDAR e de RPA em uma área experimental de cana-de-açúcar para a detecção do dossel de plantas, visando o monitoramento de lavouras.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram abordadas duas técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de parâmetros geométricos da cultura da cana-de-açúcar, a primeira técnica corresponde ao uso de sensor a laser e a segunda envolve imagens aéreas obtidas por RPA. O estudo foi realizado em uma área experimental (Figura 1) de 0,77 ha localizada nas coordenadas geográficas 22°40'27"S, 47°38'14"O e 549,0 m acima do nível do mar. A variedade de cana instalada foi a IAC 95-5094 nos solos classificados como Latossolo Vermelho-Eutrófico (EMBRAPA, 1999) de textura muito argilosa.



FIGURA 1. Vista superior da área experimental.

Os dados gerados a partir das duas técnicas foram obtidos na mesma data, quando a cultura apresentava aproximadamente 320 dias após o corte. O sistema de mensuração baseado em LiDAR foi composto por um sensor a laser LMS200 (Sick AG, Alemanha), um par de receptores GNSS GR3 (Topcon, EUA) com correção

diferencial RTK (*Real Time Kinematic*) e sinal L1/L2 com frequência de 10 Hz, e um computador portátil para a aquisição de dados do dossel de plantas de cana-de-açúcar de modo georreferenciado. Os equipamentos foram acoplados ao trator agrícola em uma barra rígida e instalados em uma altitude local de 4,0 m em relação ao solo.

Para a aquisição de dados do sensor a laser o protocolo de comunicação RS422 foi utilizado com taxa de transmissão a 500 kbps e o receptor GNSS a 115200 bps (RS232). O computador possui uma rotina de programação desenvolvida para a aquisição de dados em linguagem Java no *software* Processing 2.2.1. O processamento de dados brutos do LiDAR, com a rotina de programação apresentada na Figura 2, foi desenvolvido no *software* RStudio 1.0.136. Os dados brutos obtidos contêm o georreferenciamento (latitude, longitude e elevação) da área e os dados de distância entre o sensor a laser e o dossel das plantas para cada ângulo de medição.



FIGURA 2. Rotina de programação para o processamento de dados brutos do LiDAR.

A nuvem de pontos foi analisada e editada por meio do *software* CloudCompare 2.8 para a identificação do dossel de plantas de cana-de-açúcar e o nível do solo, sendo filtrados os pontos identificados como discrepantes ao perímetro da área. Cada ponto pertencente à nuvem de pontos se refere a um ponto impactado pelo feixe de luz emitido pelo sensor a laser nas condições do dossel de plantas de cana-de-açúcar com coordenadas geográficas alocadas no sistema de referência UTM.

Para a técnica de obtenção das imagens aéreas foi utilizada uma plataforma multirrotor composta por seis motores distanciados 0,55 m entre si. O sistema propulsor é composto por seis motores elétricos propiciando uma capacidade máxima de carga total 0,80 kg e um tempo de voo de aproximadamente 10 minutos, utilizando uma bateria 3,0 s de 5.500 mAh. A plataforma contém uma controladora de voo APM 2.6, composta pelos sensores: giroscópio, acelerômetro, barômetro e receptor GNSS, conforme apresentado na Figura 3.

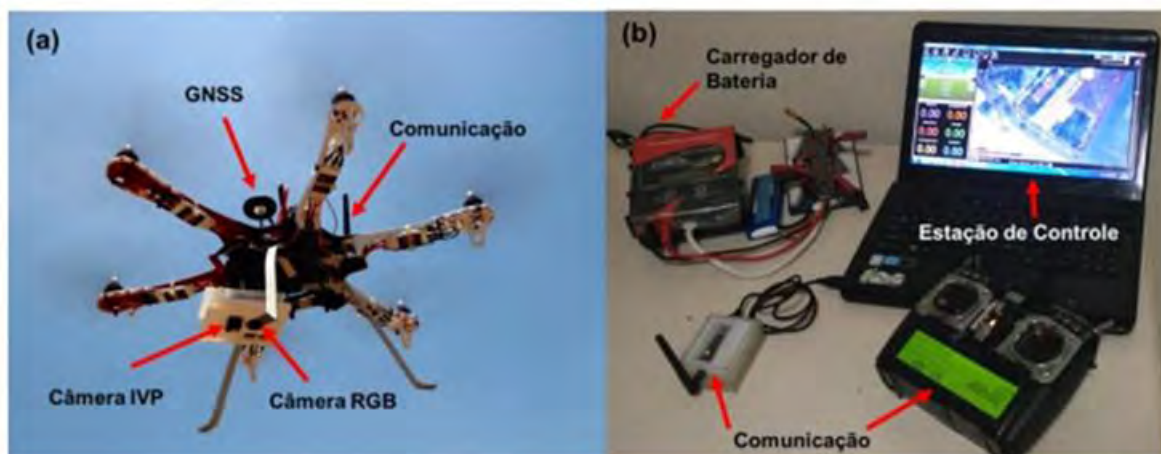


FIGURA 3. Plataforma de voo (a); estação de controle (b).

As rotas de voo foram pré-definidas de acordo com o sistema de piloto automático embarcado. A estação de controle possui um sistema de telemetria para a operação em frequências de 433 MHz e de 2,40 GHz a fim de que, em caso de falhas, fosse realizada uma alternância entre as frequências. O *software* Mission Planner foi utilizado na estação de controle para o controlar a aeronave e realizar o planejamento da missão.

O voo foi acompanhado em solo, mantendo sempre o contato visual com a aeronave. Foram utilizados quatro pontos de referência posicional para as coletas aéreas por meio de estação total (Figura 4), nesses pontos foram determinados alvos de 0,25 m<sup>2</sup> com multicores e confeccionados com material emborrachado a fim de auxiliar no posicionamento dos modelos digitais gerados na etapa de processamento dos dados.

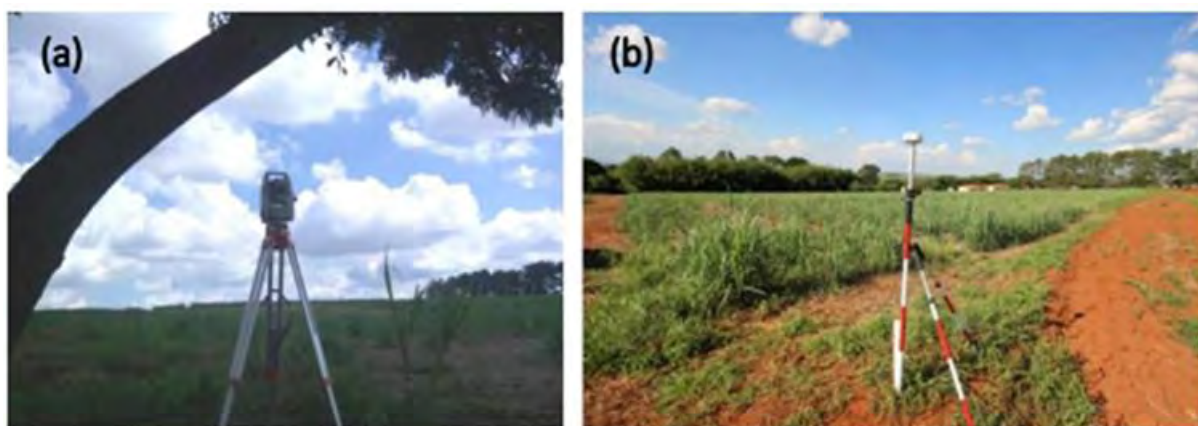


FIGURA 4. Estação total (a); receptor GNSS como ponto de referência das imagens (b).

Uma câmera equipada com sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) de dimensões 6,17 x 4,55 mm e bandas espectrais na faixa do visível (RGB) foi utilizada, equipada com um temporizador interno para programar as coletas de imagens a cada 2 segundos. O plano de voo foi determinado para que houvesse recobrimento lateral e longitudinal superior a 90,0% permitindo realizar a modelagem do dossel da cana-de-açúcar. O voo foi executado a 40,0 m de altura em relação ao solo em função da resolução espacial e do detalhamento necessário para a modelagem da cultura, possibilitando obter um GSD (*ground sample distance*) de aproximadamente 0,03 m por pixel. A distância máxima entre a aeronave e a estação de solo não ultrapassou 200,0 m. Para a geração dos modelos digitais, as imagens foram processadas no *software* Agisoft Photoscan (Agisoft LLC, São Peterburgo, Rússia) por meio da técnica *structure from motion* (SFM), o fluxograma de processamento é apresentado na Figura 5.

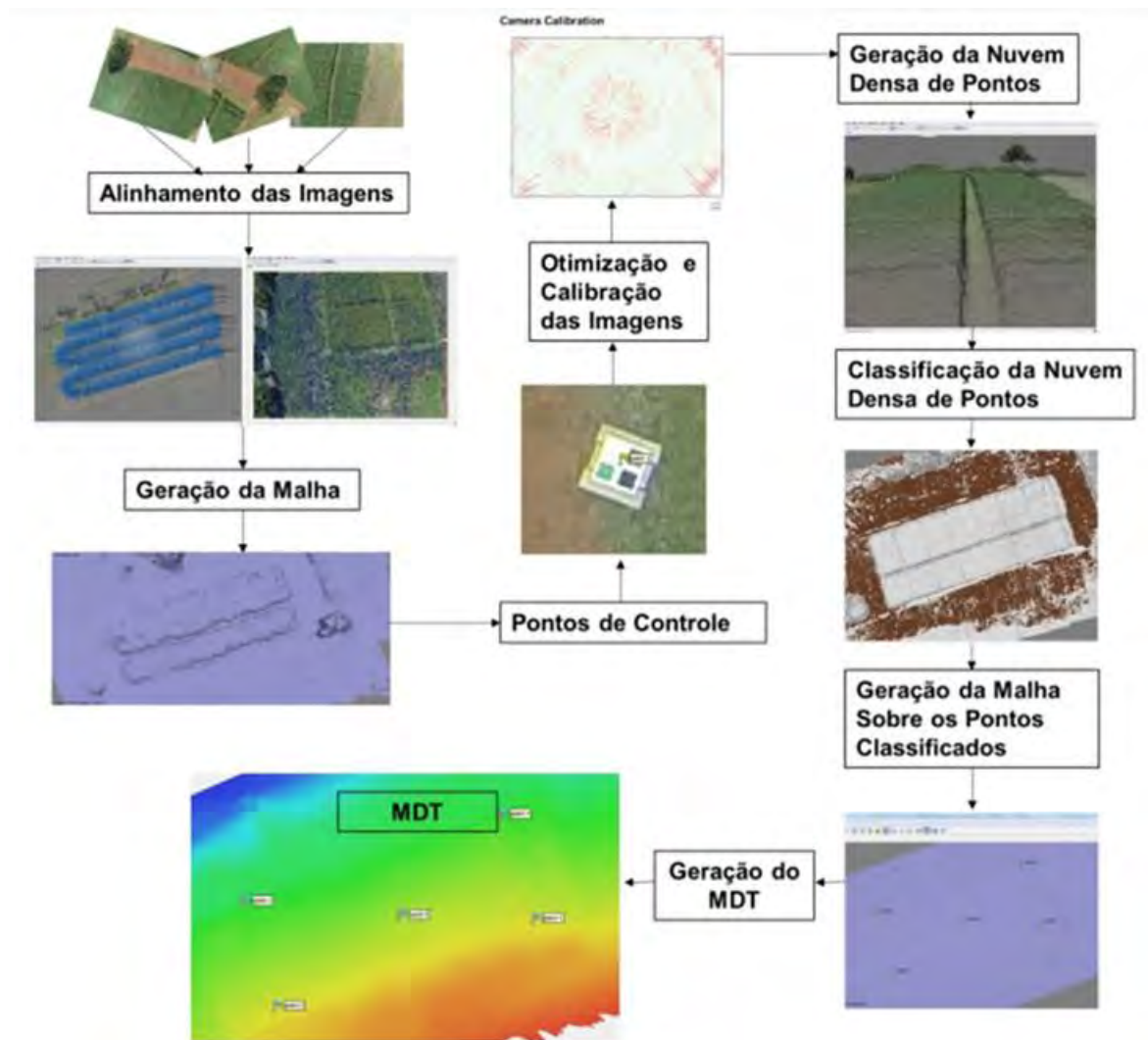


FIGURA 5. Fluxograma de processamento das imagens aéreas.

O alinhamento das imagens foi realizado para a geração de uma nuvem de pontos homólogos presentes em cada imagem, sendo que o alinhamento definiu a posição exata de cada imagem em relação ao alvo. Em seguida foi realizada a triangulação (geração da malha) para a determinação dos pontos de controle utilizados no georreferenciamento das imagens e na calibração da câmera. Após a localização dos pontos de controle foi efetuada a calibração das imagens e o seu processamento para a obtenção da nuvem de pontos. A nuvem de pontos foi analisada e editada no *software* CloudCompare 2.8 para a identificação do dossel de plantas de cana-de-açúcar e o nível do solo.

A partir dos arquivos gerados na etapa de processamento dos dados, foi calculada a altura média de vegetação ( $\bar{H}$ ) referente a todos os pontos pertencentes a nuvem de pontos, conforme a equação 1. O coeficiente de variação (CV) foi calculado (equação 2) para a verificação da variabilidade espacial das alturas indicadas pelo sensor a laser e pelas imagens aéreas.

$$\bar{H} = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{n} \quad (1)$$

em que:  $\bar{H}$ : altura média de vegetação (m);  $z_i$ : coordenada cartesiana do eixo z no ponto i (m); n: número de pontos pós-processamento.

$$CV = \frac{100 \times \sigma}{\bar{H}} \quad (2)$$

em que: CV: coeficiente de variação (%);  $\sigma$ : desvio padrão (m);  $\bar{H}$ : altura média de vegetação (m).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a estatística descritiva dos dados processados a partir do conjunto de dados proveniente do sensor a laser e RPA na área experimental. Os dados processados do sensor laser se referem à etapa posterior ao procedimento de limpeza dos dados brutos, como a eliminação de valores discrepantes (*outliers*) e a sobreposição causada devido às dimensões das parcelas experimentais.

TABELA 1. Estatística descritiva de dados processados para as técnicas LiDAR e RPA.

Técnicas	Número de pontos	Altura de vegetação (m)					Coeficiente de variação (%)
		Mínima	Máxima	Média	Mediana	Desvio padrão	
LiDAR	27.066.379	0,15	3,21	1,67	1,84	0,75	44,85
RPA	1.447.072	0,00	3,76	2,48	2,86	0,99	39,92

LiDAR: *Light detection and ranging*; RPA: aeronave remotamente pilotada

Uma das características do emprego de sensores a laser é a alta capacidade de aquisição de dados, como verificado na Tabela 1. O número de pontos alocados na nuvem de pontos é da ordem de 27,0 milhões em comparação a modelagem obtida através das imagens aéreas com uma nuvem de pontos na ordem de 1,44 milhões de pontos. Essa diferença na quantidade de pontos entre as duas técnicas é explicada por Wallace et al. (2016) comparando o uso do sensor laser e imagens aéreas para as áreas florestais, os autores destacaram que a técnica utilizando sensor laser apresenta uma maior penetração no dossel da planta, permitindo obter mais informações relacionadas à sua estrutura vertical. Uma das razões se deve à capacidade de o sensor a laser medir diretamente a distância entre o sensor e o alvo, enquanto que as imagens aéreas são baseadas em fotogrametria, ou seja, a altura correspondente é uma distância estimada por posições relativas (SILVA et al., 2016).

A estatística descritiva dos dados pós-processados do sensor laser e RPA indicam um coeficiente de variação de 44,85% e 39,92% respectivamente. Nesse caso, o valor elevado do CV se refere a quantidade de pontos observados, independentemente de o objeto-alvo ser correspondente ao solo ou ao dossel de plantas. A densidade de pontos obtidos é de aproximadamente 3.515 pontos  $m^{-2}$  para o sensor laser e de 188 pontos  $m^{-2}$  a partir de imagens aéreas. A nuvem de pontos gerada após a filtragem do conjunto de dados do sensor a laser para a área experimental é apresentada na Figura 6. O histograma correspondente (Figura 6b) permite verificar a distribuição da altura de vegetação e o nível do solo no conjunto de dados. A Figura 7 ilustra a nuvem de pontos da mesma área utilizando a técnica de RPA.

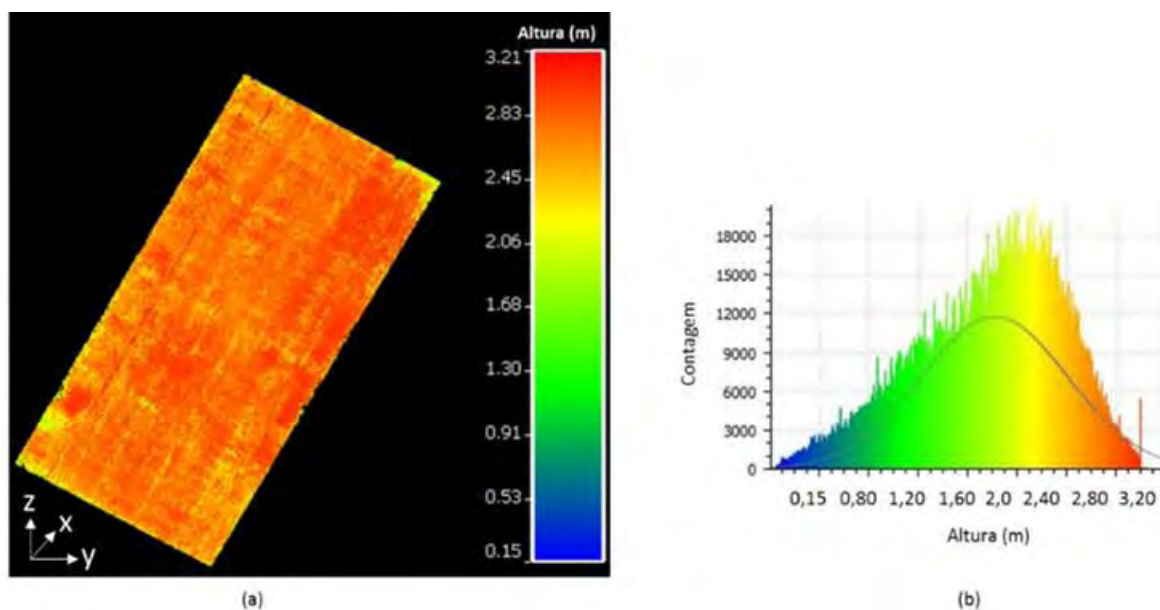


FIGURA 6. Nuvem de pontos obtida pelo LiDAR (a); histograma (b).

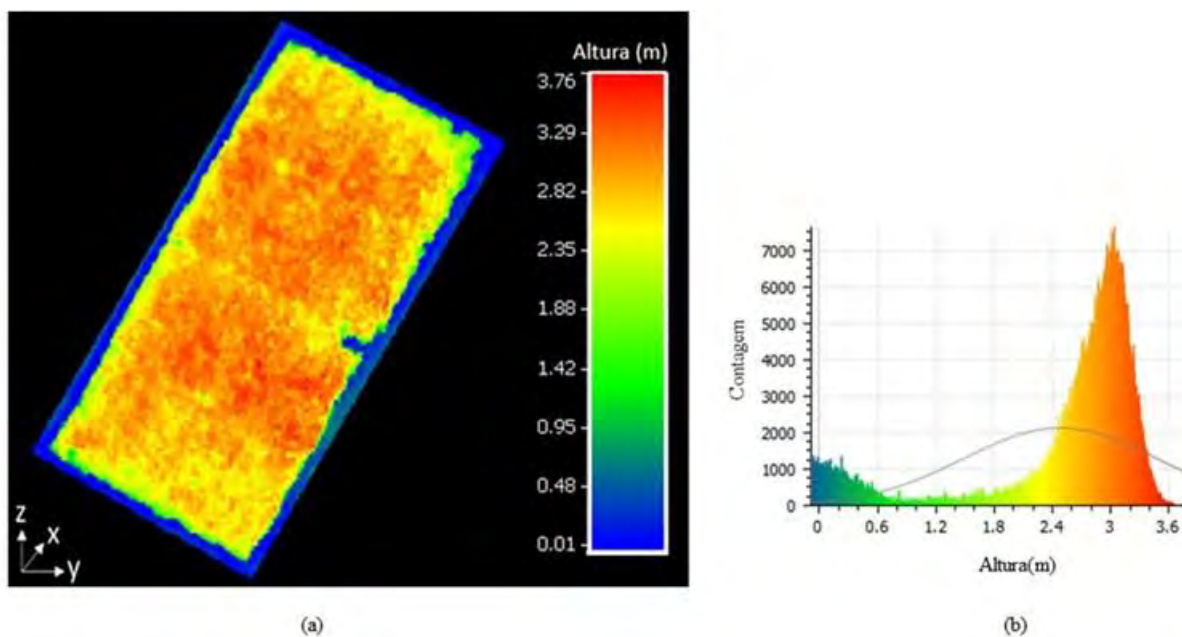


FIGURA 7. Nuvem de pontos obtida por imagem aérea (a); histograma (b).

A principal diferença entre as técnicas avaliadas neste estudo é o nível de detalhamento da nuvem de pontos, sendo maior para o LiDAR em função da densidade de pontos obtida e a capacidade de penetração no dossel. No histograma correspondente do LiDAR (Figura 6b) observa-se uma maior detecção para os valores intermediários da estrutura vertical das plantas, altura de 2,0 m, enquanto que para a nuvem de pontos gerada por imagens aéreas (Figura 7b), é possível observar uma faixa maior de dados apenas na superfície do dossel devido às características da metodologia empregada no estudo.

As técnicas de sensoriamento remoto a partir de sensores a laser e de imagens aéreas demonstraram potencial de aplicação no ambiente de produção de cana-de-açúcar, sendo que o emprego de cada uma depende da problemática abordada e da acessibilidade às tecnologias por parte do usuário. Para o monitoramento de lavouras, tais técnicas podem ser utilizadas de forma integrada para o acompanhamento do ciclo de produção. A perspectiva é de que essas tecnologias possam servir como base para as recomendações agronômicas no contexto da AP.

## CONCLUSÃO

As técnicas de sensoriamento remoto envolvendo LiDAR e imagens aéreas demonstraram potencial na detecção do dossel de plantas de cana-de-açúcar. Os resultados se diferem, principalmente, na capacidade de detecção do solo e na densidade de pontos, implicando em diferentes níveis de detalhamento do dossel de plantas e da condição da lavoura.

**AGRADECIMENTOS:** À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão das bolsas de estudos e à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) pela disponibilidade da área experimental.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R. do; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 16, n. 1, p. 1633-1642, 2011.
- CONAB. (2017). Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da agropecuária. Brasília. Disponível em: <[https://www.novacana.com/pdf/18042017090454\\_Conab\\_-\\_4\\_Levantamento\\_2016-17\\_180417.pdf](https://www.novacana.com/pdf/18042017090454_Conab_-_4_Levantamento_2016-17_180417.pdf)>. Acesso em: 16/07/2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: CNPS, 1999. 412p.

- ESCOLÀ, A.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RUFAT, J.; ARNÓ, J.; ARBONÉS, A.; SEBÉ, F.; et al. Mobile terrestrial laser scanner applications in precision fruticulture/horticulture and tools to extract information from canopy point clouds. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 111-132, 2016.
- HOLMAN, F. H.; RICHE, A. B.; MICHALSKI, A.; CASTLE, M.; WOOSTER, M. J.; HAWKESFORD, M. J. High Throughput Field Phenotyping of Wheat Plant Height and Growth Rate in Field Plot Trials Using UAV Based. **Remote Sensing**. v. 8, n. 12, p. 1031-1055, 2016.
- MOLIN, J. P.; COLAÇO, A. F.; AMARAL, L. R. do. **Agricultura de Precisão**. 1 ed. Piracicaba: Oficina de Textos, 224 p., 2015.
- PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 33-44, 2011.
- PORTZ, G.; AMARAL, L. R. do; MOLIN, J. P. Measuring sugarcane height in complement to biomass sensor for nitrogen management. In: **International Conference on Precision Agriculture**, 11, 2012, Indianápolis. Proceedings...Monticello: ISPA.
- SILVA, C. A. da; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S. dos; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 73-94, 2016.
- WALLACE, L.; LUCIEER, A.; MALENOVSKÝ, Z.; TURNER, D.; VOPĚNKA, P. Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds. **Forests**, v. 7, n. 3, p. 62-78, 2016.

## **POTENCIALIDADE À MECANIZAÇÃO DAS TERRAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA O MANEJO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**TERESA CRISTINA TARLÉ PISSARRA<sup>1</sup>, RENATA CRISTINA ARAÚJO COSTA<sup>2</sup>, MARCELO ZANATA<sup>3</sup>, ANILDO MONTEIRO CALDAS<sup>4</sup>, FLÁVIA MAZZER RODRIGUES<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Profa. Depto. Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone: (16) 32097287, teresa.pissarra@unesp.br; <sup>2</sup>Pós-Graduanda em Agronomia, Programa Ciência do Solo, UNESP, Jaboticabal – SP; <sup>3</sup>Instituto Florestal – IF do Estado de São Paulo; <sup>4</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife PE; <sup>5</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros - MG

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018**  
Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018.

**RESUMO:** A política de uso do solo no sistema de gestão das atividades agrícolas requer o uso da Agricultura de Precisão – AP, que auxilia no monitoramento do espaço e na implantação das lavouras. A mecanização das áreas ainda requer muitos estudos para a devida adequação das regiões potenciais. Neste trabalho, o principal objetivo foi mapear as áreas de declividade do terreno e classificá-la quanto à potencialidade à mecanização, na bacia hidrográfica do córrego Rico, no intuito de auxiliar os produtores rurais nas atividades de agricultura de precisão e na gestão do manejo integrado das lavouras de cana-de-açúcar. O mapa de declividade foi gerado a partir do modelo digital do terreno (*The Digital Elevation Model - DEM*), obtido para a bacia hidrográfica do programa da EMBRAPA, produzido pela NASA, NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), DOD (*United State' Department of Defense*) e Agências Espaciais da Alemanha e Itália, e depois refinada pelo Projeto Embrapa Relevo. As definições de cada classe seguiram os preceitos dos trabalhos realizados das classes de declividade do solo, as quais foram classificadas de acordo com a potencialidade à mecanização em extremamente apta (0 — 5 %), muito apta (5,1 — 10 %), apta (10,1 — 15 %), moderadamente apta (15,1 — 20 %), e não recomendada (> 20 %). Na orientação espacial foi considerada a bacia hidrográfica tendo em vista o recurso hídrico e o manejo da cultura. Na área da bacia foi determinado o potencial de 95% de mecanização agrícola, entretanto estas áreas estão dispersas na bacia sendo necessário adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e que melhorem a conservação do solo e da água.

**PALAVRAS-CHAVE:** política de uso do solo; processo erosivo; declividade; sistema de informação geográfica

### **LAND MECHANIZATION POTENTIALITY IN WATERSHEDS FOR MANAGEMENT OF THE SUGAR CANE PRODUCTION SYSTEM**

**ABSTRACT:** The land use policy in the agricultural management system requires the use of Precision Agriculture (AP), which assists in monitoring space in the implantation of crops and improving the quality of the natural resources. In this work, the main objective was to map the areas of slope of the land and to classify it as to the potential for mechanization in the river basin of the Rico stream, in order to assist the rural producers in the activities of precision agriculture and in the management of the integrated management of crops. The slope map was generated from the digital elevation model (DEM) obtained for the catchment area of the EMBRAPA program, produced by NASA, NIMA (National Imagery and Mapping Agency), DOD (United States' Department of Defense) and Space Agencies of Germany and Italy, and later refined by the Embrapa Relief Project. The definitions of each class followed the precepts of the studies of soil slope classes, which were classified according to the ability to mechanization in extremely fit (0 - 5%), very fit (5.1 - 10%), (10.1 - 15%), moderately fit (15.1 - 20%), and not recommended (> 20%). In the spatial orientation, the hydrographic basin was considered the water resource and crop management. In the basin area, a

potential of 95% of agricultural mechanization was determined, however, these areas are dispersed in the basin and it is necessary to adopt more sustainable agricultural practices that improve soil and water conservation.

**KEYWORDS:** land use policy; erosive process, slope, geographic information system.

**INTRODUÇÃO:** A interação entre a declividade do terreno e a mecanização é de extrema importância para o planejamento e definição das diretrizes de manejo no sistema de produção agrícola. Qual é o potencial entre as políticas de uso do solo e a pressão dos sistemas de produção no meio? Esta avaliação é baseada na simulação da dinâmica do manejo do solo e seus conflitos na demanda por alimento e matéria prima que utilizam os recursos naturais, que aumenta a cada dia com o crescimento populacional. No sistema de gestão das atividades agrícolas, a Agricultura de Precisão - AP auxilia no monitoramento dos fenômenos que ocorrem, na medida em que as informações localizadas melhoram a produtividade, a preservação do meio ambiente e a renda dos produtores rurais. Essa tecnologia oferece ferramentas para otimização do uso de insumos e inovação permanente no campo (Molin et al., 2015; Balastreire, 2001). Para o manejo do sistema de implantação das lavouras, a declividade é considerada uniforme em cada área de atuação. Com o advento da AP, passou-se a considerar a variabilidade deste fator para a implantação e desenvolvimento das culturas. Assim, a AP se aprimora a cada período em novas tecnologias para melhorar a qualidade do manejo (Corá et al., 2004; Coelho et al, 2004; Mantovani et al., 2005; Molin et al, 2015), e é um sistema de gestão que considera as lavouras em todos os seus aspectos (Tschiedel; Ferreira, 2002), como ferramenta de uso nas políticas de uso do solo (Ramalho Filho; Beek, 1995; Lepsch, et al., 1996). A mecanização agrícola desempenha um fator que necessita cada vez mais estudos. Este sistema reduz o trabalho árduo no que tange às atividades de manejo para o plantio, aplicação de insumos e colheita, aumenta a segurança e o conforto do ambiente de trabalho; aumenta a produtividade, e conseqüentemente, aumenta a renda dos produtores rurais. A declividade do terreno para o manejo adequado é uma das principais características geomorfológicas (Florenzano, 2008). Entretanto, de acordo com a classe predominante na região, este fator é limitante à utilização de máquinas agrícolas (Höfig; Araujo-Junior, 2015; Francisco et al. 2013; Lepsch et al., 1996). O conceito do sistema de informação geográfica agrega valor à agricultura de precisão na espacialização do conjunto de pontos na tradicional dicotomia campo-objetivo de interesse representando a situação de entidade e da localização. Assim, tem-se a informação localizada da declividade, o que traz a possibilidade de um manejo mais adequado da mecanização. As unidades territoriais de implantação dos sistemas de produção são as propriedades rurais. Entretanto, neste artigo destaca-se a importância de gestão do sistema de produção de cana-de-açúcar em bacias hidrográficas. Neste trabalho, o principal objetivo foi mapear as áreas de declividade do terreno e classificá-la quanto à potencialidade à mecanização na bacia hidrográfica do córrego Rico, no intuito de auxiliar os produtores rurais nas atividades de agricultura de precisão e na gestão do manejo integrado das lavouras de cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área de abrangência do estudo compreende a bacia hidrográfica do córrego Rico, localizada na região nordeste do Estado de São Paulo, nos municípios de Jaboticabal, Taquaritinga, Monte Alto, Guariba e Santa Ernestina (Figura 1), ocupando uma área de aproximadamente 563 km<sup>2</sup>, com posição geográfica definida entre as coordenadas UTM, longitudes 762.000 e 766.000m E, latitudes 7.664.000 e 7.945.000m N, MC 51oW Gr, com altitude variando entre 754 a 498m.

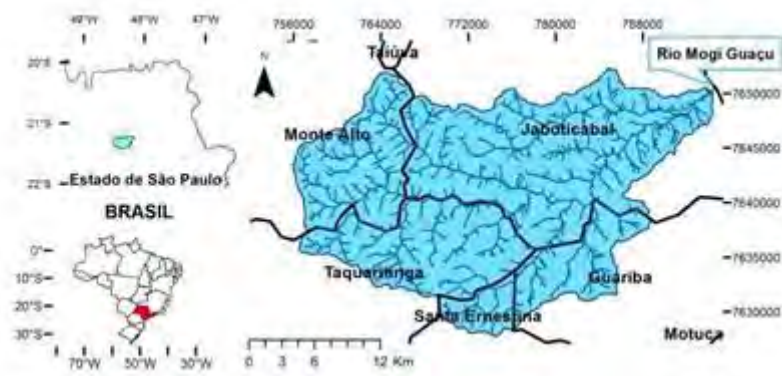


FIGURA 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, região nordeste do Estado de São Paulo.

O modelo hidrológico da bacia hidrográfica foi gerado na base do modelo de elevação digital - DEM (Miranda et al., 2011), com a interface em sistema de informação geográfica ArcGIS 10.1, versão ArcMap 10.1 (ESRI ArcGIS 10.1). A configuração da bacia hidrográfica foi realizada em subbacias, possuindo uma posição geográfica espacialmente relacionada aos pontos de confluência e vazão para outro curso do rio, convergindo a vazão da bacia para o exutório da bacia do córrego Rico no Rio Mogi-Guaçu. O delineamento foi realizado com base no mapa topográfico a partir de um gride de células gerada por um comando estrutural de acordo com os trabalhos de Williams e Hann (1973). Esse processo simula a fase hidrológica do meio e determina o canal principal e seus tributários, permitindo a configuração da rede de drenagem (Pissarra, 2002). Os procedimentos foram baseados no manual do usuário do ArcGIS 10.1 (ESRI ArcGIS 10.1). Toda a base de dados foi georreferenciada na base cartográfica do IBGE (1971), Datum horizontal Córrego Alegre, MG; e Datum vertical marégrafo Imbituba, MG. Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, com origem da quilometragem no Equador e Meridiano 51° W Gr., acrescidas as constantes 10.000km e 500 km, respectivamente. Equidistância das curvas de nível 20 metros. Escala 1:50.000. O mapa de declividade foi gerado a partir do modelo digital do terreno (*The Digital Elevation Model - DEM*) obtido para a bacia hidrográfica do programa da EMBRAPA, produzido pela NASA, NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), DOD (*United States' Department of Defense*) e Agências Espaciais da Alemanha e Itália, e depois refinada pelo Projeto Embrapa Relevo (Miranda et al., 2011). As definições de cada classe seguiram os preceitos dos trabalhos realizados das classes de declividade do solo, as quais foram classificadas de acordo com a potencialidade à mecanização em extremamente apta (0 — 5 %), muito apta (5,1 — 10 %), apta (10,1 — 15 %), moderadamente apta (15,1 — 20 %), e não recomendada (> 20 %).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os mapas temáticos são observados na Figura 1 e os resultados do espaço de cada classe constam na Tabela 1. A área de plantio do sistema de cana-de-açúcar tem uma expectativa de crescimento de 8,5 milhões de hectares em 2012, para cerca de 14 milhões de hectares em 2030, conforme dados do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2018). Sendo assim, o sistema de mecanização de preparo e manejo de solo deve ser considerado em ambientes como das bacias hidrográficas e os gestores deverão repensar as alterações significativas para pôr a atividade em níveis adequados de sustentabilidade. A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene cujo processo de produção prevê uma colheita por ano, ou ano e meio e produz em média 81 t/ha/ano. A mecanização tem sido intensa devido à baixa declividade dos terrenos e ao alto investimento tecnológico.

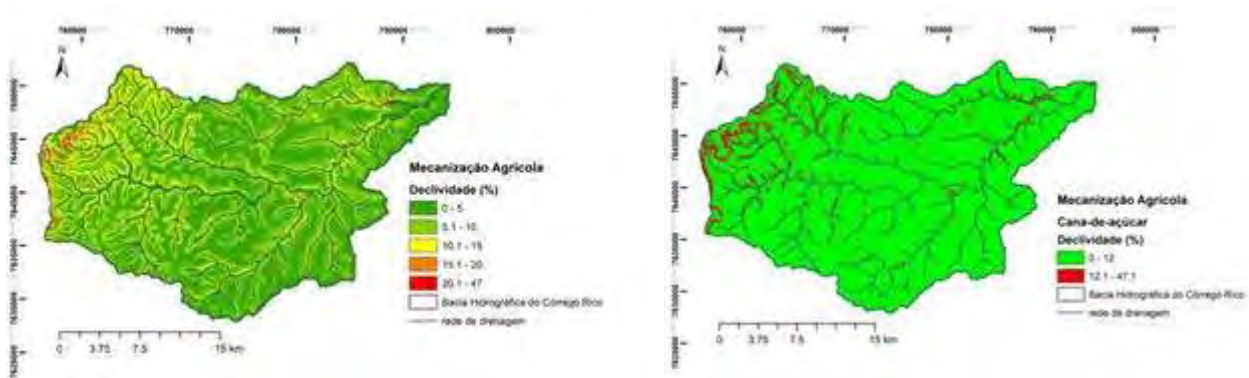


FIGURA 1. Mapa de declividade e do potencial de mecanização agrícola na bacia hidrográfica do córrego Rico-SP.

TABELA 1. Porcentagem de declividade e área (km<sup>2</sup>) do terreno limitante à mecanização.

Classes de Declividade (%)	Descrição	Area (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 - 5	mecanização extremamente apta	271,6	47,4
5,1 - 10	mecanização muito apta	246,4	43,1
10,1 - 15	mecanização apta	46,9	8,2
15,1 - 20	mecanização moderadamente apta	5,6	1
> 20	mecanização não recomendada	1,9	0,3
Classes de Declividade (%) – cana-de-açúcar		Area (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 - 12	mecanizável	548,3	95,8
> 12	não mecanizável	24,2	4,2

Na bacia hidrográfica do córrego Rico 90,5% dos terrenos não são limitantes à mecanização, pelo critério das classes de declividade. A área que apresenta maior potencial à mecanização agrícola está na classe de 0 - 5% e 5,1 - 10%, com base nas classes de declividade, o que representa uma área de 518 km<sup>2</sup>. No Mapa de Solos denota-se que a área da bacia hidrográfica do Córrego Rico apresenta duas associações de Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA3 e PVA4); duas associações de Latossolos Vermelhos (LV15 e LV45); e Neossolos. A “descrição” destas associações de solos apresentada segue a legenda expandida do mapa citado e são designadas segundo a classificação de Oliveira et al. (1999). Considerou-se o detalhamento do traçado dos limites do solo na escala de 1:50.000 (Figura 2).



FIGURA 2. Mapa de solos na bacia hidrográfica do córrego Rico-SP.

Considerando o mapa de solos e os dados observados da classificação da área da bacia de acordo com o seu grau de impedimento à mecanização para a cultura da cana-de-açúcar, denota-se que 9,5% da área apresenta restrição à mecanização. Desta porcentagem, verifica-se que a espacialização destas áreas, que são mais

suscetíveis à erosão, estão em áreas de argissolos, corroborando com os trabalhos de Pissarra (2002), (Figura 2). Com a tendência atual do uso de maquinário para a produção de cana-de-açúcar, recomenda-se na política de uso do solo refletir sobre o conflito de uso nesta região e adotar práticas mais sustentáveis, como adotar o plantio direto e/ou o mínimo, que reduzem as perdas por erosão, em comparação ao sistema convencional. O mapeamento das áreas das classes de declividade do terreno e a classificação quanto à potencialidade à mecanização em bacias hidrográficas irão auxiliar o gestor em determinar as áreas mais precisas em consonância com as atividades de proteção ao meio.

**CONCLUSÃO:** As áreas de declividade do terreno foram mapeadas e classificadas quanto à potencialidade à mecanização na bacia hidrográfica do córrego Rico. A bacia apresenta aproximadamente 90% da área apta para mecanização. Entretanto, as áreas estão espacializadas na bacia concluindo que é necessário adotar políticas de gestão do uso do solo para adequar o sistema de produção da cana-de-açúcar.

**AGRADECIMENTOS:** A UNESP, FAPESP e ao CNPq pelo auxílio financeiro para a realização deste projeto.

## REFERÊNCIAS

BALASTREIRE, L. A. Avaliação do Desempenho de um Sistema de Georreferenciamento portátil de baixo custo para Agricultura de Precisão. **In:** Avanços na Agricultura de Precisão Brasil no Período de 1999-2001, 2001, Piracicaba. Anais. Piracicaba: 2001. p. 282-4.

CTC CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). Disponível em: < <http://new.ctc.com.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

COELHO, J. C., SILVA, L. M., TRISTAN, M., NETO, M. D. C., PINTO, P. A. **Agricultura de precisão**. Prefácio, Lisboa, 2004.

CORÁ, J. E., ARAÚJO, A. V., PEREIRA, G. T., & BERVALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.28, n.6, 2004.

ESRI. ArcMap (version 10.1). New York St., Redlands, USA; 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v. 28, n. 1, p. 30-35, 2013.

FLORENZANO, T. G. **Introdução à Geomorfologia**. In: FLORENZANO, T. G. (org). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 195-203, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Topográfico do Estado de São Paulo. Mapa ao Milionésimo, escala 1:50.000, editado em 1971.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª Aprox. SBCS, Campinas-SP. 1996. 175p.



- MANTOVANI, E. C., COELHO, A. M., MATOSO, M. J. **Agricultura de precisão**. EMBRAPA. Artigos... Disponível em: <[http://www.embrapa.br/noticias/a rtigos/folder, 02-02. 2005](http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder,02-02.2005)>.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 mar. 2011.
- MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: EMBRAPA/IAC, 1999. 64p. mapa. Escala 1:500.000.
- PISSARRA, T. C. T. Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na subregião de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais. 2002. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.
- TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão**: conceitos e vantagens. **Ciência Rural** [online] 2002, 32 (janeiro-fevereiro). Disponível: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33132127>>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- WILLIAMS, J. R.; HANN, R.W. HYMO: problem oriented computer language for hydrologic modeling. USDA ARS-S-9. 76 pp. 1973.

## **PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE E TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR EM MILHO UTILIZANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

**WILLIAN M. PASCHOALETE<sup>1</sup>, MARCELA S. FLORES<sup>1</sup>, JOÃO V. P. F. FONTOURA<sup>1</sup>, FÁBIO H. R. BAIO<sup>2</sup>, PAULO E. TEODORO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Uma das formas da agricultura de precisão contribuir para o aumento da produtividade de milho é a utilização de índices de vegetação (IVs) para monitoramento das lavouras. Contudo, é necessário empregar técnicas estatísticas apropriadas para identificar quais índices devem ser utilizados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi empregar a análise de trilha para selecionar índices de vegetação que possam ser utilizados para predição do nitrogênio foliar e produtividade de grãos de milho. O experimento foi conduzido na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (Fundação Chapadão), localizada no município de Chapadão do Sul. Foram avaliadas dez variedades de polinização aberta de milho em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram mensurados o teor de nitrogênio (N) foliar, altura de plantas e os IVs (NDVI, NDRE e SAVI) e a produtividade de grãos (PROD). A análise de trilha foi empregada considerando o NF e a PROD como variáveis dependentes principais e as demais como explicativas. O coeficiente de determinação obtido em ambas as análises foi superior a 80%, o que indica alta capacidade de predição. Foram confeccionadas árvores de decisão para facilitar a predição destas variáveis em função dos IVs selecionados pela análise de trilha. Os índices SAVI e NDRE devem ser avaliados para prever o teor de nitrogênio foliar em milho, enquanto os índices NDVI e NDRE são aqueles que devem ser utilizados para prever a PROD.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise de trilha; árvore de decisão; NDRE.

### **PREDICTION AND FOLIAR NITROGEN CONTENT AND GRAIN YIELD IN MAIZE USING VEGETATION INDICES**

**ABSTRACT:** One of the ways of precision agriculture to contribute to the increase of maize productivity is the use of vegetation indices (VIs) to monitor crops. However, it is necessary to employ appropriate statistical techniques to identify which indices to use. Therefore, the objective of this work was to employ track analysis to select vegetation indices that can be used for leaf nitrogen prediction and corn grain yield. The experiment was conducted at the Chapadão Foundation for Agricultural Research Support (Chapadão Foundation), located in the municipality of Chapadão do Sul. Ten open pollinated maize varieties were evaluated in a randomized complete block design with four replicates. Nitrogen (N) leaf content, plant height and VIs (NDVI, NDRE and SAVI) and grain yield (YIE) were measured. The track analysis was used considering NF and PROD as the main dependent variables and the others as explanatory variables. The coefficient of determination obtained in both analyzes was higher than 80%, which indicates high predictability. Decision trees were made to facilitate the prediction of these variables in function of the IVs selected by track analysis. The SAVI and NDRE indices should be evaluated to predict the leaf nitrogen content in maize, while the NDVI and NDRE indices are those that should be used to predict YIE.

**KEYWORDS:** path analysis; decision tree; NDRE.

**INTRODUÇÃO:** O milho (*Zea mays* L.) é o principal cereal produzido no Brasil, sendo utilizado principalmente para alimentação animal e consumo alimentício de derivados. A produção nacional na safra 2016/2017 foi de 79,9 milhões de toneladas de grãos com produtividade média de 6,5 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Uma das técnicas que pode ser utilizada para incremento desta produtividade é a agricultura de precisão

(AP), que se caracteriza como um conjunto de técnicas que podem ser utilizadas para gerenciar os cultivos. É possível otimizar dos gastos da produção agrícola por meio do conhecimento da variabilidade dos diferentes fatores de produção, como fertilidade do solo, incidência de pragas e doenças e condição fisiológica da planta (MOLIN, 2015).

Uma de suas principais aplicações é o uso de índices de vegetação (IVs), como o NDVI, NDRE e SAVI para captar a resposta espectral do dossel da cultura, durante seu desenvolvimento, caracterizados pelo processo de reflectância de ondas eletromagnéticas incidentes, podem ser utilizados como indicadores indiretos do status nutricional da cultura, bem como do potencial produtivo (SERRANO et al., 2000). Com a utilização destes índices é possível monitorar o teor de nitrogênio foliar (NF) das plantas e estimar a produtividade. Para que isso possa ser adotado pelos produtores de milho é necessário estabelecer a correlação destes índices com as variáveis de interesse. Contudo, o coeficiente de correlação linear de Pearson entre duas variáveis pode se afetado por uma terceira variável ou um grupo de variáveis (CRUZ et al., 2012).

A análise de trilha proposta por Wright (1921) permite melhor compreensão da associação de diferentes variáveis, por meio do desdobramento dos coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável principal (Corrar et al., 2007). As estimativas destes efeitos são obtidas por equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas. Dessa forma, essa técnica caracteriza-se como uma opção para identificação de índices de vegetação que possuam relação de causa e efeito sobre variáveis como teor de nitrogênio foliar e produtividade de grãos (PROD). Outra técnica que pode auxiliar na tomada de decisão do produtor é a árvore de decisão, que consiste em um esquema hierárquico onde as variáveis avaliadas possibilitam prever uma variável principal, como as supracitadas.

O emprego dessas técnicas em conjunto para investigar a predição do NF e PROD a partir de IVs na cultura do milho ainda não foi investigado na literatura. Portanto, o objetivo deste trabalho foi empregar a análise de trilha para selecionar índices de vegetação que possam ser utilizados para predição do nitrogênio foliar e produtividade de grãos de milho.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (Fundação Chapadão), localizada no município de Chapadão do Sul (18°41'33''S, 52°40'45''W, com 810 m de altitude), Mato Grosso do Sul. O clima da região é caracterizado como Tropical de Savana (Aw) e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso. Foram avaliadas dez variedades de polinização aberta de milho em o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições.

O experimento foi implantado em novembro de 2017 utilizando espaçamento entre linhas de 0,45 m e uma densidade de 2,5 plantas m<sup>-1</sup>. Cada unidade experimental foi composta por cinco linhas com 5,5 m de comprimento cada. Na implantação do experimento foi utilizada dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> do NPK (04-20-20). Quando as plantas se encontravam em estágio V4, foi aplicado 80 kg ha<sup>-1</sup> de N de cobertura em área total, utilizando como fonte a uréia.

Quando as plantas se encontravam em florescimento pleno, foram mensurados o teor de N foliar, altura de plantas e índices de vegetação. Para análise de N foliar, foram coletados o terço médio de cinco folhas de acordo com recomendação e procedimentos descritos em Malavolta et al. (1989). Os índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI foram com a utilização do Aeronave Remotamente Pilotada de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm), possuindo um sensor de luminosidade permitindo a calibração dos valores adquiridos. O levantamento aéreo foi realizado com o uso da tecnologia RTK (*Real Time Kinematics*), possibilitando estimar a posição da câmera no instante de coleta da imagem com acurácia de 0,025 m. O sobrevoo sobre a área foi realizado à 100 m de altitude local, permitindo uma resolução espacial nas imagens de 0,120 m.

As imagens foram processadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A produtividade de grãos foi obtida pela colheita das fileiras centrais de cada parcela e extrapolada para kg ha<sup>-1</sup>, após correção da umidade dos grãos para 13%. Foram estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas e os resultados submetidos a análise de trilha considerando a produtividade de grãos e o teor de N foliar como variáveis dependentes principais no modelo. Após, foram construídas duas árvores de decisão com as variáveis selecionadas pela análise de trilha. Essas análises foram realizadas com software Rbio (BHERING, 2017). Os mapas de IV e mapas de prescrição foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 1 reporta os resultados da análise de trilha considerando as variáveis produtividade de grãos (PROD), NDVI, NDRE, altura de plantas (AP) e SAVI como explicativas para prever o teor de nitrogênio foliar (NF). É possível verificar que existe baixa associação da PROD sob esta variável, pois o efeito direto sob o NF foi de 0,07 e a correlação (r) 0,19. Esses resultados indicam que variedades mais produtivas não possuem necessariamente maior NF e, vice-versa. O efeito do NDVI sobre o NF foi negativo (efeito direto = -0,12 e r = -0,11) e pode ser explicado por esse índice estar mais associado a altura de plantas de milho, conforme relatado por Baio et al. (2018). Assim, como esperado, o efeito da AP sob o NF também foi negativo e reforça a associação desta variável com NDVI. Os índices com associação maior sobre o NF foram o NDRE e o SAVI. O NDRE apresentou efeito direto positivo (0,44) e r moderado (0,31) com NF, assim como o SAVI que apresentou efeito direto igual a 0,29. Esses resultados corroboram os obtidos por Raper e Varco (2015), que observaram que o NDVI está mais associado à altura de plantas, enquanto o NDRE está associado ao teor de N foliar. O coeficiente de determinação da modelo de trilha foi de 0,86 e o efeito residual 0,26. Esses resultados indicam que uma grande fração da variabilidade (86%) no teor de NF foi explicada pelas variáveis avaliadas.

TABELA 1. Análise de trilha sobre o teor de nitrogênio foliar (NF) de variedades de milho utilizando as variáveis produtividade de grãos (PROD), NDVI, NDRE, altura de plantas (AP) e SAVI como explicativas.

Efeito	NF	NDVI	NDRE	AP	SAVI
direto sobre PROD	0,07	-0,12	0,44	-0,42	0,29
indireto via NF	---	0,02	0,03	0,01	0,01
indireto via NDVI	-0,03	---	-0,04	-0,07	-0,04
indireto via NDRE	0,17	0,14	---	0,24	0,16
indireto via AP	0,04	-0,24	-0,22	---	-0,21
indireto via SAVI	-0,06	0,10	0,11	0,15	---
Total (correlação)	0,19	-0,11	0,31	-0,09	0,22

Coeficiente de determinação = 0,86  
Efeito residual = 0,26

Como os índices NDRE e SAVI foram aqueles com maior relação sobre o NF, conforme a análise de trilha, estes foram utilizados para confecção de uma árvore de decisão. O objetivo do emprego dessa técnica é facilitar a predição do NF a partir destes IVs. Observa-se que se o valor de SAVI for inferior ou igual a 0,33 no florescimento do milho, o teor NF médio será de 28,79%. Caso o valor seja superior a 0,33 é necessário avaliar o NDRE. Caso o valor de NDRE seja inferior ou igual a 0,82, o NF médio será de 30,01%; caso o NDRE seja superior a 0,82 o NF médio será de 31,82%. Esses resultados estão próximos aos observados em campo e possibilitaram os produtores obterem de forma prática informações sobre o estado nutricional das plantas de milho com relação ao N, principal nutriente exigido pela cultura, a partir da coleta de dados de índice de vegetação.



FIGURA 1. Árvore de decisão para o teor de N (%) em variedades de milho utilizando os índices de vegetação selecionados pela análise de trilha (NDVI e SAVI).

Os resultados da análise de trilha considerando as variáveis nitrogênio foliar (NF), NDVI, NDRE, altura de plantas (AP) e SAVI como explicativas para prever a produtividade de grãos (PROD) de variedades de milho estão contidos na Tabela 2. Já era esperado que o NF não influenciasse na PROD, com base nos resultados supra-relatados. É possível verificar que existe maior associação da PROD com os índices NDVI e NDRE. O NDVI exerceu efeito direto de 0,22 sobre a PROD, enquanto o NDRE de 0,39. A correlação linear entre a PROD e estes índices foi de magnitude moderada. Esses resultados corroboram os observador por Raper e Varco (2015), que constataram que o NDRE e o NDVI possuem, nesta ordem, maior relação com a produtividade de grãos. O coeficiente de determinação da modelo de trilha foi de 0,91 e o efeito residual 0,18. Esses resultados indicam que uma grande fração da variabilidade (91%) na PROD foi explicada pelas variáveis avaliadas.

TABELA 2. Análise de trilha sobre a produtividade de grãos (PROD) de variedades de milho utilizando as variáveis nitrogênio foliar (NF), NDVI, NDRE, altura de plantas (AP) e SAVI como explicativas.

Efeito	NF	NDVI	NDRE	AP	SAVI
direto sobre PROD	0,07	0,22	0,39	-0,01	-0,17
indireto via NF	---	0,00	0,02	0,01	-0,01
indireto via NDVI	-0,02	---	0,07	0,07	0,12
indireto via NDRE	0,12	0,12	---	0,14	0,21
indireto via AP	0,00	0,00	0,00	---	0,00
indireto via SAVI	0,02	-0,10	-0,09	-0,09	---
Total (correlação)	0,19	0,22	0,37	0,13	0,14

Coeficiente de determinação = 0,91  
Efeito residual = 0,18

Como os índices NDRE e NDVI foram aqueles com maior relação sobre o NF, conforme a análise de trilha, estes foram utilizados para confecção de uma árvore de decisão. O objetivo do emprego dessa técnica é facilitar a predição do PROD a partir destes IVs. Observa-se que se o valor de NDRE seja maior que 0,60 no florescimento do milho, a PROD média será de 11790 kg ha<sup>-1</sup>. Esse valor está muito próximo ao valor médio observado que foi de 11850 kg ha<sup>-1</sup>, demonstrando eficiência da árvore de decisão gerada. Caso o valor seja inferior ou igual a 0,60 é necessário avaliar o NDVI. Caso o valor de NDVI seja superior a 0,88, a PROD média será de 10080 kg ha<sup>-1</sup>; caso o NDVI seja inferior ou igual a 0,68 a PROD média será de 8630 kg ha<sup>-1</sup>. Como o NDRE foi o índice que apresentou relação direta com o NF e a PROD, a Figura 3 foi confeccionada para demonstrar a variabilidade espacial deste índice. Os resultados reportados nesse trabalho possibilitaram os produtores de milho prever com alto grau de confiabilidade a teor de N foliar a produtividade a partir da coleta de dados de índice de vegetação.

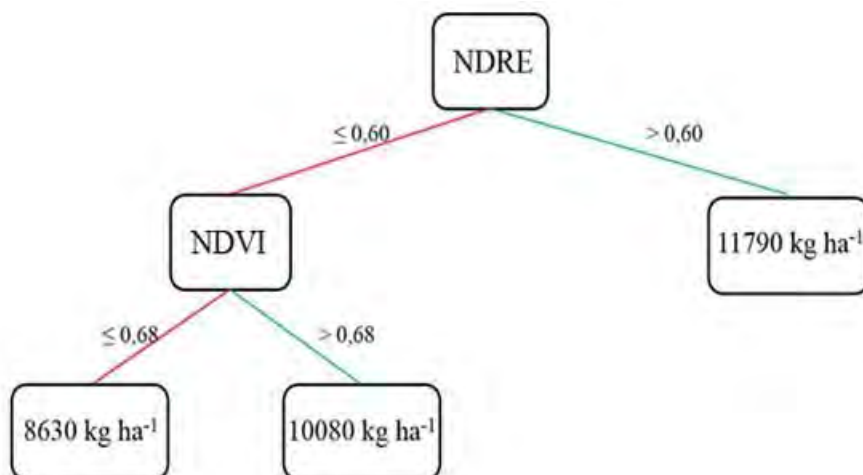


FIGURA 2. Árvore de decisão para a produtividade de grãos em milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em variedades de milho utilizando os índices de vegetação selecionados pela análise de trilha (NDRE e SAVI).

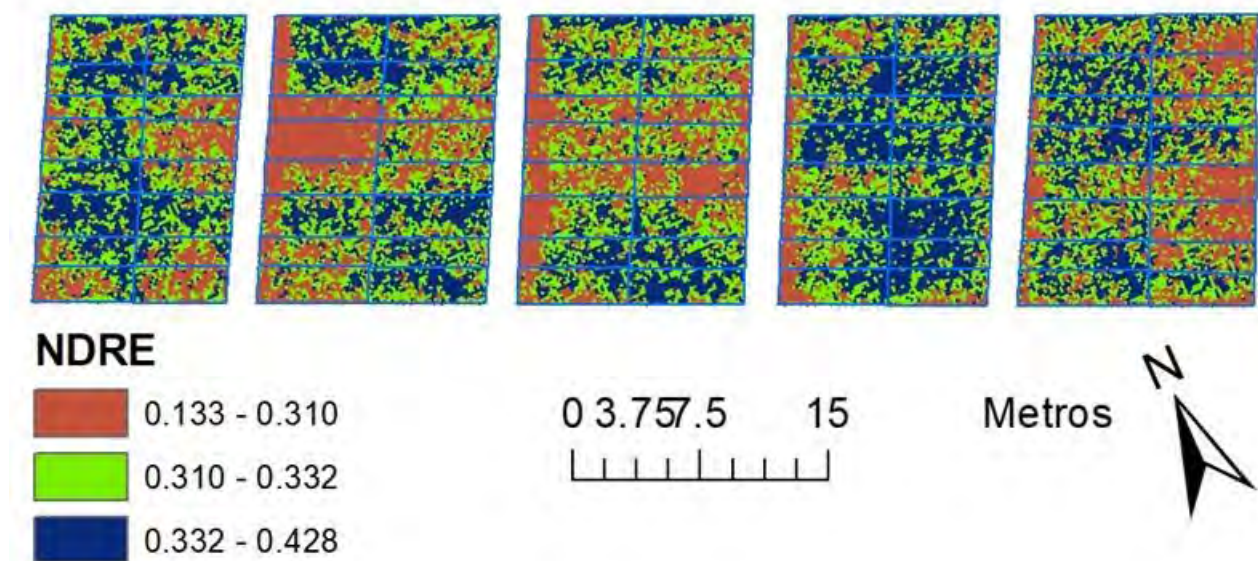


FIGURA 3. Mapa de variabilidade espacial do índice de vegetação NDRE avaliado em dez variedades de milho.

**CONCLUSÃO:** Os índices SAVI e NDRE devem ser avaliados para prever o teor de nitrogênio foliar em milho, enquanto os índices NDVI e NDRE são aqueles que devem ser utilizados para prever a produtividade de grãos.

## REFERÊNCIAS

- BAIO, F.H.R.; SILVA, E.E.; SOUZA, M.A.V.; ZANIN, A.R.A.; TEODORO, P.E. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1-15, 2018.
- BHERING, L. L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, fevereiro, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras>>. Acesso em 15 de abril de 2018.
- CORRAR, L.J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J.M. **Análise multivariada**. FIPECAFI: Atlas, 2007. 542p.
- CRUZ CD; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI AJ. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. 480 p. 2012.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.
- RAPER, T.B.; VARCO, J.J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v.56, p.345-353, 2015.
- SERRANO, L., FILELLA I., PEÑUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, v. 40, n. 7, p. 23-31, 2000.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

## PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DE NÍVEIS DE DANO POR *SPODOPTERA FRUGIPERDA* NA CULTURA DO MILHO

LÍGIA NEGRI CORRÊA<sup>1</sup>, ALINE SPAGGIARI ALCÂNTARA<sup>1</sup>, CARLOS EDUARDO ANGELI  
FURLANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônoma, mestranda, Depto. Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal – SP, [ligia.negri@hotmail.com](mailto:ligia.negri@hotmail.com)

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônoma, doutoranda, Depto. Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal – SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018

**RESUMO:** A *Spodoptera frugiperda*, principal praga da cultura do milho pode ser detectada observando alguns aspectos de suas folhas como as imperfeições e lesões; no entanto, apenas uma pessoa treinada pode detectar com facilidade o grau da doença, e ainda muitas vezes sujeito a cometer erros causados pela dificuldade de interpretação do estado da folha. Medidas de extensão, como área e quantidade de lesões, são importantes nas avaliações agronômicas utilizadas, principalmente na pesquisa; porém, mesmo existindo diversas técnicas para a determinação da área foliar, estas técnicas são caras, trabalhosas e demoradas, além de que são poucas as pesquisas sobre essa análise. Por esse motivo, objetivou-se comparar a escala de notas mais comumente utilizada para medir os danos da lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda*, denominada escala de Davis e Williams (1989) com a análise de danos realizada por meio de processamento digital de imagens no programa Pycharm Community Version: 2017.2.2. (Biblioteca OpenCV). O programa se mostrou útil no correto dimensionamento da área de ataque, porém mais estudos, bem como capturas de imagens em produções de grande escala devem ser feitas para possíveis validações de sistemas de processamento rápidos e eficientes, que permitam a sua utilização em algoritmos de sistemas de visão artificial.

**PALAVRAS-CHAVE:** OpenCV, lagarta-do-cartucho, visão artificial

### IMAGE PROCESSING FOR EVALUATION SCALE OF *SPODOPTERA FRUGIPERDA* AFFECT CORN PLANTS

**ABSTRACT:** *Spodoptera frugiperda*, maize's main pest, can be detected by observing some aspects of its leaves as imperfections and lesions. However, only a specialist can easily detect the degree of disease, and still often subject to making errors caused by the difficulty of interpreting the leaf state. Extension measures such as area and number of lesions are important in the agronomic evaluations used mainly in the research. However, although there are several techniques for the determination of leaf area, these techniques are expensive, laborious and time consuming. important and necessary. The aim of this study was to measure the reliability of the most common scales used to measure the damage of the *S. frugiperda* caterpillar through digital image processing in the Pycharm Community Version: 2017.2.2 program. (OpenCV Library). The program proved to be useful in the correct dimensioning of the attack area, however field sample surveys should be done to validate a system that identifies the damage level of the crop, assisting the producer in the decision making to control the pest

**KEYWORDS:** OpenCV, fall armyworm, machine vision

**INTRODUÇÃO:** O processamento digital de imagens (PDI), consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio de um computador, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de máquinas (PEDRINI e SCHWARTZ, 2008). É definido ainda como o processamento de imagens digitais por meio de um computador digital, onde tanto a entrada quanto a saída de um processo são imagens (GONZALEZ e WOODS, 2009). Os métodos de processamento

de imagens digitais permitem, então, melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais, fornecendo para o analista subsídios para interpretação, gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (CAMARA et al., 1996). Uma das diversas aplicações das técnicas de análise e processamento de imagens é a avaliação de danos causados por pragas em folhas de plantas. De modo que no presente trabalho são aplicadas técnicas de processamento e análise de imagens para determinação da área de dano nas folhas de milho causadas por *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho). A *S. frugiperda* é a principal praga do milho em todas as regiões do Brasil e uma das principais pragas desta cultura na América do Sul e América Central. Ocorre durante todos os estágios de desenvolvimento da cultura, atacando as folhas do cartucho, diminuindo a área fotossintética da planta, podendo destruí-las completamente e causar perda de 15 a 37% na produtividade (EMBRAPA, 1997). O milho, não diferente das demais culturas, têm os níveis de controle definidos para as principais pragas. Entretanto, esses níveis são na grande maioria avaliados empiricamente, de modo que, para a avaliação dos danos de *S. frugiperda* em milho são utilizadas escalas de notas visuais. A mais utilizada no Brasil é a escala de Davis e Williams (1989), que avalia as lesões das folhas da planta como um todo. Porém, não se sabe se a escala é o parâmetro que melhor representa a realidade, uma vez que, sabe-se que a interpretação humana é muito subjetiva e cada avaliador pode interpretar a situação de uma forma diferente. Além disso, tarefas de inspeção, classificação e monitoramento em geral são repetitivas e conseqüentemente cansativas e prejudiciais a visão humana. O Processamento Digital de Imagens (PDI) objetiva padronizar e facilitar tais procedimentos de forma automatizada. Neste sentido, objetiva-se com o trabalho testar a eficiência da aplicação de ferramentas de processamento de imagens para dimensionar a área total de dano causado pela praga em folhas de milho, visando facilitar o manejo das pragas nas lavouras.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As amostras de folhas de milho contendo injúrias causadas pela *S. frugiperda*, foram coletadas na fazenda experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, UNESP, no Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: Latitude: 21°15'22" S, Longitude: 48°18'58" W e altitude de 575 m. A etapa de aquisição de imagens em formato digital foi realizada em laboratório visando a obtenção de imagens, evitando problemas relacionados a luminosidade ambiente. Foram coletadas 10 amostras de folhas de milho, onde cada uma correspondia a uma nota contida na escala de Davis (**Figura 1**), sendo porém selecionadas duas imagens que apresentavam melhor qualidade, que após a limpeza, foram dispostas em uma superfície de coloração com fundo branco, sendo que entre as cores testadas (branco, preto, bege e cinza), esta foi a que mais favoreceu a identificação das lesões nas imagens. O processamento das imagens foi efetuado utilizando o software Pycharm Community Version: 2017.2.2. (Biblioteca OpenCV). Os sistemas de PDI foram aplicados por meio do programa em cinco etapas: Na primeira etapa, utilizou-se um dispositivo de captação para obtenção das imagens (câmera de celular). Melhorou-se a qualidade da imagem por meio do pré-processamento, que corresponde em aplicar técnicas de remoção de ruído, correção de contraste ou brilho e suavização da imagem. Após a correção, realizou-se a extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem (segmentação), permitindo a representação e descrição destes objetos, visando à extração de características ou propriedades que possam ser utilizadas na discriminação entre classes de objetos. A última etapa corresponde ao reconhecimento e interpretação dos componentes da imagem. Embora o processamento de imagens coloridas seja bastante utilizado, nos testes realizados, as imagens apresentaram melhores resultados, ou seja, os objetos de interesse (lesões) da imagem foram melhor identificados, quando o modelo de cor HSL (Hue, Saturation, Lightness) foi utilizado; de modo que as imagens foram distintas considerando cada um dos três canais, e dentre estes, o sistema apresentou melhores resultados e baixa incidência de ruído no reconhecimento das lesões no canal S (Saturation). Posteriormente, por meio da técnica de limiarização, as imagens obtidas foram binarizadas, fazendo com que os pixels de interesse (área foliar com dano) se mantivessem na cor branca e o restante da área foliar na cor preta, apresentando um contraste aparente. A aplicação da limiarização foi feita com valores entre 85 e 255. Na maioria das folhas, o limiar no valor de 85 proporcionou melhor resultado, uma vez que descartou a nervura das folhas. Para identificação dos contornos presentes na imagem, utilizou-se o "cvFindContours" e o "cvDrawContours" que delimita contornos identificados. Para calcular a área de um objeto, ou seja, a área interna de um contorno detectado em pixels, utilizou-se a função de contagem. O processo de interpretação das lesões nas imagens consistiu na contagem de clusters na folha e a porcentagem de pixels comprometidos, de modo que, a imagem é varrida, a princípio de cima para baixo até se encontrar um pixel de cor escura, ou seja, a folha de milho. Após isso é feita outra varredura de baixo para cima, onde com isso, o fundo branco é detectado (lesões na folha de milho).



Nota	Descrição
0	Planta sem injúria.
1	Planta com pontuações.
2	Planta com pontuações, 1 a 3 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm).
3	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (até 1,5 cm).
4	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (entre 1,5 e 3,0 cm); mais pequenos furos circulares (até 0,5 cm).
5	Planta com 1 a 3 lesões alongadas grandes (>3,0 cm) em 1 a 2 folhas; mais 1 a 5 furos ou lesões alongadas (até 1,5 cm).
6	Planta com 1 a 3 lesões alongadas grandes (>3,0 cm) em 2 ou mais folhas; mais 1 a 3 furos grandes (>1,5 cm) em 2 ou mais folhas.
7	Planta com 3 a 5 lesões alongadas grandes (>3,5 cm) em 2 ou mais folhas; mais 3 a 5 furos grandes (>1,5 cm) em 2 ou mais folhas.
8	Planta com muitas lesões alongadas (mais de 5) de todos os tamanhos na maioria das folhas. Muitos furos médios a grandes (mais de 5) maiores que 3,0 cm em muitas folhas.
9	Planta com folhas quase totalmente destruídas.

<sup>(1)</sup> Adaptada de Davis et al. (1992).

FIGURA 1. Escala de notas (0 a 9) para avaliação de danos por ataque de *Spodoptera frugiperda* no milho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Foram selecionadas para processamento digital duas imagens para comparação da área de dano com a escala de notas visuais de Davis e Williams. A primeira imagem (figura 2A), foi considerada equivalente a nota 4 da escala de notas visuais, ou seja, planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (entre 1,5 e 3,0 cm); mais pequenos furos circulares (até 0,5 cm). Já para a segunda imagem (figura 2B), foi atribuída a nota 6 da escala de notas visuais (planta com 1 a 3 lesões alongadas grandes (> 3,0 cm); mais 1 a 3 furos grandes (>1,5 cm).

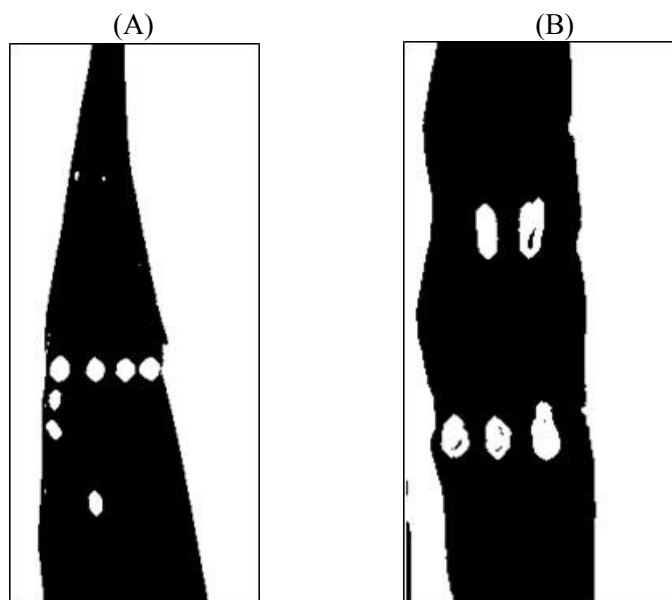


FIGURA 2. A) Folha de milho com nota 4 pela escala de Davis; B) Planta de milho com nota 6 pela escala de Davis.

Na imagem 2A, que representa a folha de milho com nota visual 4, o programa computacional contabilizou 9 elementos (lesões destacadas pelo fundo branco), identificando por varredura uma somatória de 243 pixels contidos nos elementos. Já pela segunda imagem (2B), atribuída com nota visual 6, foi identificada pelo programa a quantidade de 5 elementos (lesões), preenchidas com 145 pixels. Nota-se que a segunda figura analisada apresenta a menor área de injúria causada pela praga em comparação à primeira, em contrapartida, pela escala de Davis e Williams, a folha apresenta nota 6, recomendando maior urgência no controle da praga em relação à primeira folha que possui nível maior de dano. Deste modo, nota-se que o processamento de imagem digital no auxílio à análise de níveis de danos causados por pragas em uma cultura, é útil e possivelmente pode ser utilizada na correta tomada de decisão para eficiente controle com inseticidas, em substituição às escalas de notas visuais. Uma vez que os programas computacionais oferecem o valor exato do dano causado, e as notas de escalas visuais podem variar de acordo com a percepção do avaliador.

**CONCLUSÃO:** O programa se mostra útil para o exato dimensionamento da área de ataque pela praga nas folhas de milho.

## REFERÊNCIAS

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, UMM.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v20, n3.3, p. 395, 1996.

DAVIS, F.M.; WILLIAMS, W.P. Methods used to screen maize for resistance and to determine mechanisms of resistance to the Southwestern cornborer and fall armyworm. In: International Symposium on Methodologies for development host plant resistance to maize insects. Toward insect resistance maize for the third world. **CIMMYT**, México, p.101-104, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). **Recomendações Técnicas para o cultivo do milho**. 2 ed. Brasília: Embrapa – SPI, 1997. 204p.

GOMES, J. M.; PINTO, F. A. C.; LUCIA, R. M. D.; KHOURY JUNIOR, J. K. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo classificador de tábuas usando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, v.32, n.5, 2008.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (1994). **Digital Image Processing**. Addison-wesley.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de Imagens Digitais – Princípios, Algoritmos e Aplicações**. ed.: São Paulo: Thomson., 2008. 501 p.

## PROJETO DE INJETOR DE FERTILIZANTE LÍQUIDO PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA

MARCELO JOSÉ DA SILVA<sup>1</sup>, PAULO SÉRGIO GRAZIANO MAGALHÃES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Instituto de Ciências Agrárias. Engenharia Agrícola e Ambiental, UFMG, Montes Claros – MG, Fone: (38) 21017728, marcelojs@ica.ufmg.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof., Faculdade de Engenharia Agrícola FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Na adubação nitrogenada das soqueiras da cana-de-açúcar (cana-soca), a incorporação do fertilizante no solo pode aumentar a disponibilidade do N mineral para a absorção pelas raízes das plantas. Entretanto, a camada de resíduos vegetais deixada após a colheita mecanizada dificulta a incorporação do fertilizante por meio de sulcos. Além disso, a operação pode danificar as raízes das plantas. Considerando os benefícios da aplicação do fertilizante na camada subsuperficial do solo para o meio ambiente e plantas, uma máquina com mecanismo puncionador associado a um sistema hidráulico dosador-injetor de fluidos foi desenvolvida para disponibilizar adubo líquido próximo às raízes, com mínima mobilização de solo, raízes e camada de resíduos. O objetivo deste trabalho é apresentar os princípios do sistema dosador injetor para a aplicação localizada de fertilizante líquido. Os requisitos do projeto, foram: a variação de dosagem em função da recomendação agrônômica e a injeção sincronizada com o processo de puncionamento no solo. A unidade dosadora injetora desenvolvida controla o fluxo de aplicação em função do volume destinado ao retorno para o reservatório. A dosagem incrementada linearmente entre 5 a 18 ml ciclo<sup>-1</sup> demonstrou o potencial para aplicação com taxa variável em função da recomendação agrônômica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Máquinas agrícolas; taxa variável; cana-de-açúcar.

### DESIGN OF LIQUID FERTILIZER INJECTOR FOR SITE-SPECIFIC MANAGEMENT

**ABSTRACT:** In sugarcane, the nitrogen fertilizer incorporated in the soil subsurface can increase availability of the mineral nitrogen uptaken by the plants roots. However, the crop residue layer left after the mechanical harvesting, it makes more labored to incorporate fertilizers through furrows. In addition, the furrows can damage the roots of the plants. Taking into account the benefits of subsurface incorporation of fertilizer for environment and plants, a machine with a soil punching mechanism associated with a hydraulic injection dosing unit was developed to provide liquid fertilizer near the roots, with minimal mobilization of soil, roots and crop residue layer. The objective is present the principles designed to the injection dosing system for site-specific management of liquid fertilizer. The requirements of design were: variable fertilizer rate according to the agronomic recommendation and liquid injection synchronized with punching process in the soil. The developed injection dosing unit controls the application flow as a function of the liquid volume returned to the reservoir. The linear increase between 5 to 18 ml cycle<sup>-1</sup> demonstrated potential to achieve variable rate application according to the agronomic recommendation.

**KEYWORDS:** Agricultural machinery; variable rate; sugarcane.

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene, cultivada principalmente em climas tropicais e subtropicais. Após a colheita mecanizada anual, durante a fase de brotação, o fertilizante nitrogenado auxilia na conservação da fertilidade do solo e reposição do nutriente exportado junto aos colmos industrializáveis. Contudo a eficiência global da adubação nitrogenada em lavouras de cana-de-açúcar geralmente é baixa. O aumento na eficiência da adubação nitrogenada em áreas de cana-de-açúcar pode ser alcançado por boas práticas de manejo dos nutrientes (OTTO et al., 2016). Em instrução sobre o manejo dos fertilizantes, o Instituto Internacional para Nutrição de Plantas (*International Plant Nutritional Institute*)

recomenda a deposição do fertilizante em local favorável à absorção pelas raízes das plantas, para desse modo aumentar a disponibilidade do nutriente no solo e reduzir a exposição às perdas para o meio ambiente. As melhorias do processo de adubação também podem ser alcançadas por meio de práticas de cultivo conservacionista, que possui princípios fundamentados na mínima mobilização do solo e manutenção dos resíduos vegetais, os quais contribuem na reciclagem de nutrientes (mineralização do N, e.g.) e redução no impacto do processo de erosão do solo (DORDAS, 2015). No mercado não é disponível tecnologia para aplicação de fertilizante nitrogenado que contemple a mínima mobilização, mínimos danos ao sistema radicular das. Neste contexto, Silva et al. (2017ab) desenvolveram um processo mecanizado que realiza o puncionamento no solo e injeção de fertilizante líquido (MAGALHÃES e SILVA, 2013; patente BR 10 2013 01821-3). O processo foi fundamentado em princípios da agricultura de precisão, com a aplicação localizada de fertilizante e variação da taxa de adubação em função da variabilidade espacial. O objetivo deste trabalho é apresentar os princípios do projeto do sistema dosador injetor desenvolvido para a aplicação localizada de fertilizante líquido.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os requisitos básicos ao projeto do sistema injetor de fertilizante líquido, foram: a variação de dosagem em função da recomendação agrônômica e a injeção sincronizada com o processo de puncionamento no solo. O circuito hidráulico dosador injetor de fluidos proposto foi composto por um reservatório (a), um filtro (malha ou disco) para reter sólidos não dissolvidos (b), válvulas de retenção direcionais (c), bomba dosadora injetora (d), tubulações (rígidas ou flexíveis) nas vias de sucção, retorno e injetora (f). O fluido aplicado pelo sistema é direcionado ao injetor (e) confeccionado com um tubo de aço inoxidável. Próximo à base do injetor perfurado com orifícios de aplicação foi montada uma ponteira de retenção para evitar o vazamento durante a fase de sucção do fluido (Figura 1).

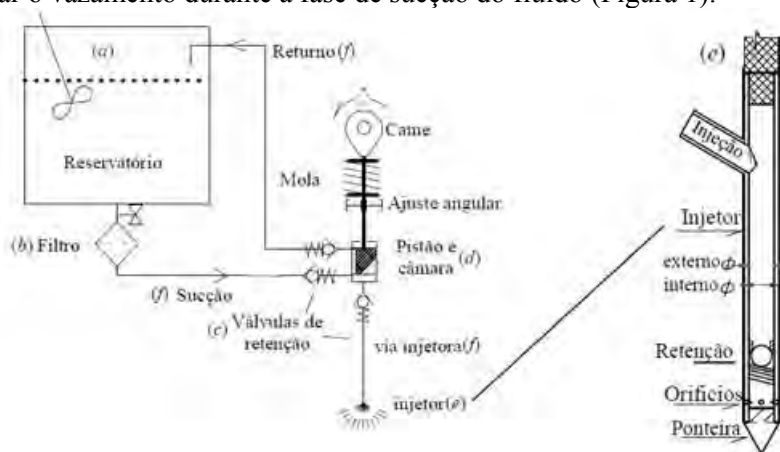


FIGURA 1. Sistema hidráulico dosador-injetor de fertilizante líquido.

O circuito hidráulico foi centrado em uma bomba dosadora injetora (d), associada aos elementos (Figura 2): chassi (1), came excêntrica (2), eixo acoplado ao acionamento motor (3), seguidor mecânico de esfera (4), guia auxiliar ao movimento linear alternativo do pistão (5, 6, 7), mola de compressão (8), luva vazada com seção quadrada empregada no ajuste de dosagem (9), elemento de fixação da posição angular radial da luva e pistão (10), eixo axial com seção quadrada guiado através da luva (11), vedação superior da câmara de aplicação (12), gaxeta (13), pistão projetado com sulco que permite comunicação com o retorno hidráulico (14), câmara suporte a bomba (15), válvulas direcionais de retenção montadas nas vias de retorno (16), sucção (17) e injetora (18). Na unidade dosadora injetora, o chassi (1) de configuração estrutural rígida foi constituído por placas metálicas retangulares, utilizadas para garantir rigidez suporte à câmara (15) e eixo motor (3), no qual o came excêntrico (2) transmite a potência ao êmbolo (14) por meio do seguidor mecânico esférico (4). Para auxiliar no movimento linear alternativo do êmbolo é empregada uma luva vazada com seção quadrada (9). Também, uma guia auxiliar (5, 6, 7) é utilizada para anulação do momento angular produzido pela transmissão do came excêntrico em relação ao seguidor. Em síntese, a bomba de pistão possibilita a variação de dosagem e injeção sincronizada em processo cíclico. As fases de sucção e injeção do fluido são controladas pela transmissão mecânica do came excêntrico (Figura 2a). No sistema, a rotação ( $\omega$ ) é transformada em movimento linear alternativo do pistão, através do deslocamento do seguidor tangente ao perfil do came. No ciclo de operação (0 a 360°), a injeção é realizada pela compressão do fluido, enquanto a sucção ocorre a partir da retração do pistão produzida pela descarga da energia armazenada na mola (8). No sistema dosador-injetor, o volume aplicado por ciclo é controlado pelo fluxo de retorno ao reservatório. Para

tanto, o pistão injetor possui um sulco que permite a comunicação fluídica com o retorno hidráulico em função da posição angular radial do pistão (Figura 2b). A variação do ângulo radial do êmbolo é realizada através de uma luva (9) que possui uma graduação angular ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ). Após o ajuste, a posição é mantida através de um elemento de fixação roscado (10). A invenção sobre o sistema dosador injetor de fertilizantes foi reconhecida em um pedido de patente por inovação tecnológica (Magalhães e Silva, 2016; tecnologia BR 10 2016 028809 6).

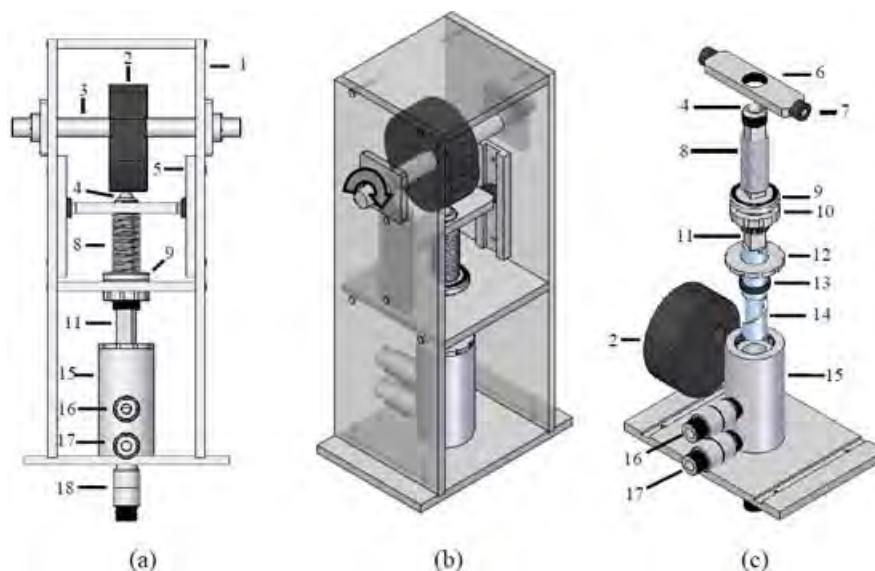


FIGURA 2. Unidade dosadora injetora (Silva e Magalhães, 2016; patente BR 10 2016 028809 6).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A demanda por fertilizantes nitrogenados em lavouras de cana-de-açúcar está contida em uma faixa de 60 a 150 kg de N ha<sup>-1</sup> (CANTARELLA e ROSSETTO, 2010). Em consideração deste cenário, no projeto do sistema hidráulico dosador-injetor determinou-se uma capacidade de dosagem entre 50 e 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. Os limites da faixa de aplicação foram definidos em função do fertilizante uran (32% de N), uma solução líquida composta por ureia e nitrato de amônio, a qual contém concentração de 0,416 kg de N L<sup>-1</sup> (BOARETTO et al. 1991). Em tais condições, a dosagem a cada 300 mm de puncionamento no solo foi determinada pela faixa de 5 a 18 ml de uran (Figura 3). A variação de dosagem foi garantida pelo sulco desenvolvido em torno da circunferência do pistão injetor. Em uma situação hipotética, o emprego da adubação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, uma taxa de aplicação comum nos canaviais do estado de São Paulo (PRADO e PANCELLI, 2006), se considerado a ureia líquida (concentração de 0,22 kg de N L<sup>-1</sup>), seria necessário uma dosagem próximo do máximo volume de ~20 ml por ciclo de puncionamento, aplicados com distância de 300 mm. A capacidade dimensionada é reduzida quando aplicado fertilizantes líquidos com menor concentração nitrogenada. Fundamentalmente, o dimensionamento pode ser melhor adequado às condições reais, se aplicado maior número de simulações. No projeto do pistão injetor, quando os ângulos radiais entre  $0^\circ$  e  $60^\circ$  são alinhados com a linha hidráulica de retorno, o sulco no pistão permite o fluxo somente na direção do reservatório durante o intervalo de compressão. Na condição, o fluxo se encaminha para o retorno devido a menor resistência hidráulica, alcançada pela pressão de abertura da válvula de retenção (0,022 bar), um valor aproximadamente setenta vezes menor que a pressão de abertura da válvula de retenção aplicada na linha injetora (1,72 bar). Entre os ângulos radiais de  $60^\circ$  e  $300^\circ$ , o incremento proporcional de dosagem aplicado na via injetora é uma função da posição angular radial do pistão. A máxima dosagem (~20 ml ciclo<sup>-1</sup>) é aplicada entre os ângulos de  $300^\circ$  e  $360^\circ$ . No intervalo, o fluido não se comunica com a linha hidráulica de retorno. A capacidade de aplicação é função das dimensões básicas do pistão e câmara de aplicação. Nas medições experimental, a dosagem entre 5 a 18 ml ciclo<sup>-1</sup> apresentou comportamento aproximadamente linear, sendo semelhante à condição ideal projetada. O resultado indica potencial para alcançar adequada aplicação com taxa variável em função da recomendação agrônômica. Na aplicação com taxa variável, os sistemas tradicionais geralmente utilizam uma servoválvula para controlar a vazão do fertilizante líquido; nestes, uma válvula de três vias é posicionada entre a bomba e a servoválvula. A válvula é conectada ao retorno para o reservatório. No sistema mecanismo proposto, o controle do fluxo foi simplificado pela unidade dosadora-injetora.

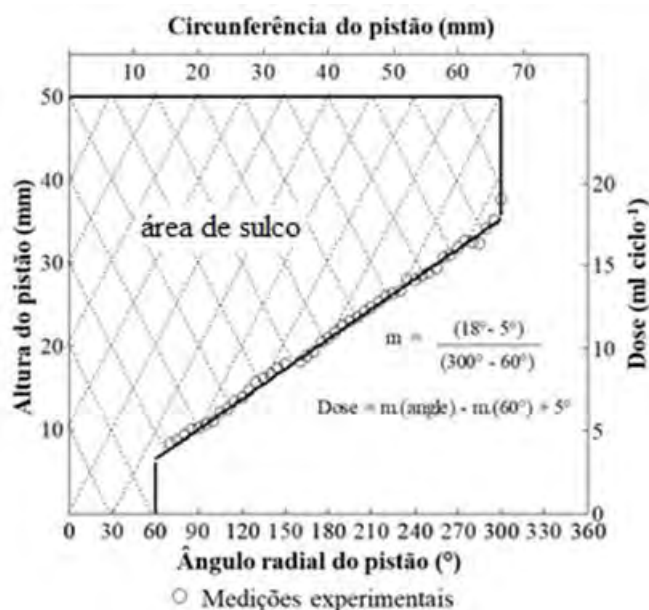


FIGURA 3. Diagrama do mecanismo de variação de taxa de aplicação de fertilizante líquido.

**CONCLUSÃO:** Um mecanismo de variação de dosagem foi desenvolvido para a operação mecanizada de aplicação de fertilizante líquido por meio de puncionamento no solo. O projeto foi fundamentado em uma bomba de pistão. O princípio de funcionamento conta com um pistão injetor que controla o fluxo injetado em função do ângulo radial. A dosagem incrementada linearmente entre 5 a 18 ml ciclo<sup>-1</sup> demonstrou o potencial para aplicação com taxa variável em função da recomendação agrônômica.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq pelo financiamento 475855/2011.

## REFERÊNCIAS

- BOARETTO, A.E.; CRUZ, A.P.; LUZ, P.H.C. Adubo líquido: produção e uso no Brasil (1st ed.). Campinas: **Fundação Cargil**. 1991.
- CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizers for sugarcane. In L. A. B. Cortez (Ed.), Sugarcane bioethanol R&D for productivity and Sustainability (First., pp. 405–422). São Paulo: **Blucher & Fapesp**. 2010
- DORDAS, C. Nutrien management perspectives in conservation agriculture, in: Farooq & Siddique - Conservation agriculture (book), 1st ed. **Springer**. 2015. doi:10.1007/978-3-319-11620-4
- MAGALHÃES, P.S.G.; SILVA, M.J. Sistema hidráulico dosador injetor de fluidos (Hydraulic dosing-injector system). **Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. Patente BR 10 2016 028809 6. 2016
- MAGALHÃES, P.S.G.; SILVA, M.J. Equipamento com princípio de puncionamento para aplicação localizada de adubo líquido em profundidade. **Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. Patente BR 1020130182133. 2013.
- OTTO, R.; CASTRO, S.A.Q.; MARIANO, E.; CASTRO, S.G.Q.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen Use Efficiency for Sugarcane-Biofuel Production: What Is Next? **BioEnergy Res.** v.1, 1–18. 2016. doi:10.1007/s12155-016-9763-x
- PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB**, v. 25(2), 60–63. 2006.
- SILVA, M.J.; FRANCO, H.C.J.; MAGALHÃES, P.S.G. Liquid fertilizer application to ratoon cane using a soil punching method. **Soil Tillage Res.** v.165, 279–285. 2017. doi:10.1016/j.still.2016.08.020
- SILVA, M.J.; MAGALHÃES, P.S.G. A liquid injection dosing system for site-specific fertiliser management. **Biosystems Engineering.** v.163, 150-158. 2017. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.005

## PROTÓTIPO ROBÓTICO PARA AUXÍLIO EM AGRICULTURA DE PEQUENAS ÁREAS

TIAGO HENRIQUE SANTA MARIA<sup>1</sup>, THIAGO DA SILVA CASTRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng° Mecatrônico, Aluno, Engenharia Mecatrônica, Campus Juiz de Fora, IF SudesteMG, Juiz de Fora - MG.

<sup>2</sup> Eng° Eletricista, Prof. Depto. Educação e Tecnologia, IF, Campus Juiz de Fora, IF SudesteMG, Juiz de Fora – MG, Fone: (19)34294165, thiago.castro@ifsudestemg.edu.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O Agrobot é um robô que possui eletrônica embarcada aliada a um sistema mecânico destinado ao trabalho agrícola. No Brasil a agricultura é uma área particularmente importante com enorme potencial para ampliação da produtividade. Através da agricultura de precisão, tem-se um gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, onde processos envolvidos são mapeados, aliando a tecnologia a um maior controle das atividades. O robô agricultor se apresenta como equipamento específico para auxiliar nesse trabalho, podendo atuar na colheita, capina, poda, plantio, irrigação, monitoramento, aragem dentre outros. Devido à especificidade do módulo robótico, há uma necessidade de controle de alto nível, tornando importante um sistema eletrônico capaz de interagir com sensores e atuadores específicos, criando uma camada de abstração entre hardware do módulo. Nesse trabalho será apresentado um protótipo para auxílio a agricultura de pequenas áreas, visando a flexibilização do trabalho e o monitoramento das características do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agrobot, ROS, Robótica móvel

### ROBOTIC PROTOTYPE TO SMALL AREA AGRICULTURE AID

**ABSTRACT:** The Agrobot is a robot with embedded electronics combined with a mechanical system for agricultural work. The agriculture in Brazil is an important economic area that have an enormous potential for increasing the productivity. A more detailed management of the agricultural production system can be obtained with precision agriculture aided methods. The farmer robot presents itself as a specific equipment to assist this work, being able to act in the harvesting, weeding, pruning, planting, irrigation, monitoring, plowing among others. Due to the specificity of the robotic module, there is a need for high-level control, making it important to have an electronic system capable of interacting with specific sensors and actuators, creating an abstraction layer between the module hardware. This work will have presented as prototype to assist the agriculture of small areas, aiming at making work flexible and monitoring soil characteristics.

**KEYWORDS:** robótica, agricultura de precisão, sensor

**INTRODUÇÃO:** A aplicação da robótica na agricultura tem se apresentado como uma consequência do avanço tecnológico e dos métodos de produção industrial. Atualmente há um potencial para que robôs venham a modificar o modelo de agricultura existente, e com impacto semelhante ao realizado pela mecanização, torná-lo mais flexível, eficiente e sustentável (KING, 2017). No Brasil, a agricultura é uma área particularmente importante, pois pode vir a apresentar novas oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias. O PIB do agronegócio brasileiro acumulou alta de 2,45% no primeiro semestre do ano de 2016 frente a igual período de 2015. Em 2017 o volume estimado foi de 7,2%, considerando as informações disponíveis até novembro/17. O desempenho excepcional desse ano foi devido a boa produtividade obtida através do investimento em tecnologia aplicada ao campo, e o clima favorável no período (BARROS, SILVA, *et al.*, 2018). Na FIGURA 1 está apresentado o gráfico do crescimento do PIB do agronegócio no Brasil para o período de 1994 a 2016. Esse panorama vem demonstrar que projetos podem contribuir de forma diferenciada para garantir índices positivos.

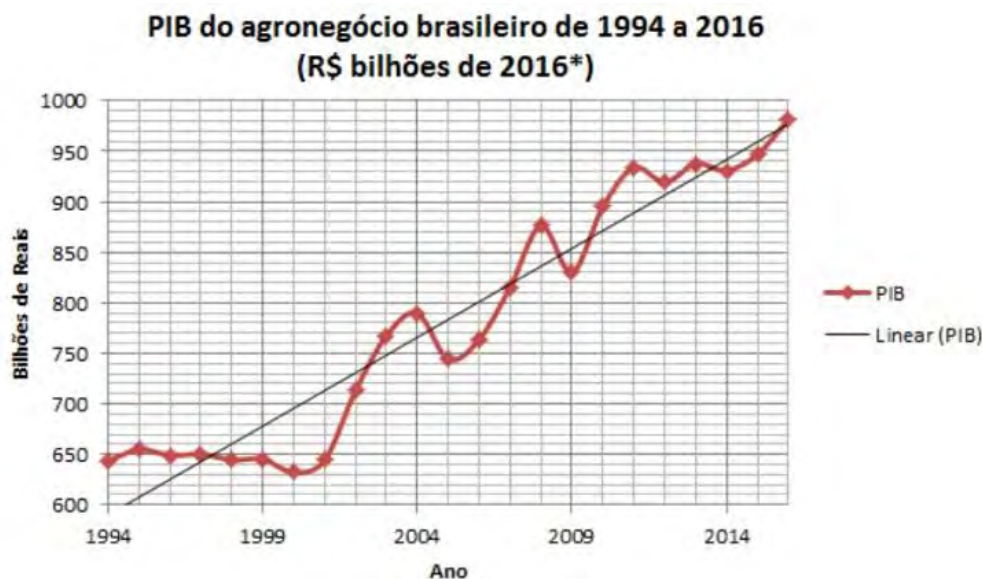


FIGURA 1. Desenvolvimento do PIB Agronegócio Brasileiro.

Segundo (MOUSAZADEH, 2013), a automatização da produção agrícola pode gerar grandes vantagens, dentre elas:

- Auxiliar à Agricultura de Precisão na elaboração de mapas de produtividade, através da geração de modelos digitais da área a ser cultivada feita pelos métodos de sensoriamento do robô;
- Aumentar o rendimento operacional, com a implementação da agricultura de precisão, a fim de que seja possível a máxima aproximação do melhor nível de produção de uma limitada área;
- Diminuição dos custos, aumento de produção, economia de mão de obra, proteção ambiental e bem-estar do homem.

O projeto Agrobot (*Agriculture + Robot*) surgiu com o objetivo de desenvolver de um protótipo robótico para auxílio a agricultura, possuindo eletrônica embarcada, sistemas mecânicos de movimento e atuação destinado ao trabalho no campo. Será dotado de mecanismos para realizar o sensoriamento das plantações, atuando na agricultura de precisão, e auxiliar o trabalhador nas tarefas de controle de doença e aplicação de defensivo de forma precisa. Na FIGURA 2 está mostrando o projeto em 3D do Agrobot utilizando ferramenta de CAD. A partir do projeto estrutural pôde-se desenvolver ferramentas para aplicação da agricultura de precisão a serem instaladas no robô.

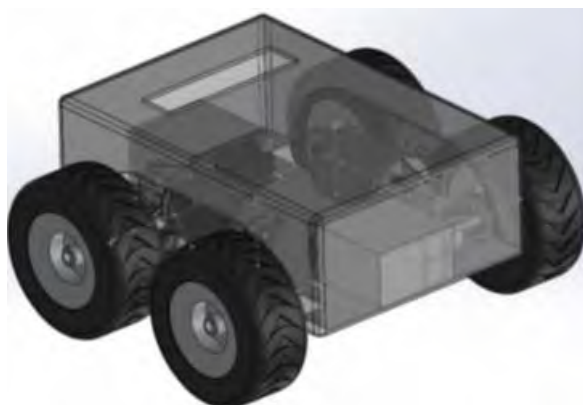


FIGURA 2. Projeto CAD do Agrobot

O objetivo deste trabalho é apresentar os passos realizados no desenvolvimento desse módulo robótico, bem como mostrar o estado seu atual, a forma utilizada para controle, e sensores que estarão integrados a plataforma.



**MATERIAL E MÉTODOS:** Robôs móveis são dispositivos de transporte automático, ou seja, plataformas mecânicas dotadas de um sistema de locomoção capazes de navegar através de um determinado ambiente de trabalho. Para cumprir essa tarefa, eles devem ser dotados de certo nível de autonomia para sua locomoção, interação com o ambiente de forma a desviar de obstáculos enquanto seguem uma rota pré-estabelecida (SECCHI, 2008). Suas aplicações podem variadas e estão em geral estão relacionadas a tarefas arriscadas ou nocivas para a saúde humana, no transporte de cargas perigosas ou em tarefas de exploração solitárias ou cooperativas, junto a outros veículos não tripulados. Para robôs móveis, o conceito de autônomo refere a capacidade de perceber, modelar, planejar e atuar para alcançar determinados objetivos, sem a intervenção (ou com uma intervenção muito pequena) do operador humano. O robô poderá ser capaz de se locomover em ambientes estruturados ou não estruturados, total ou parcialmente conhecidos, de forma que o próprio sistema de controle do veículo deve ser capaz de suprir com a inteligência necessária para fazê-lo mover corretamente. A denominação do robô móvel faz referência a essa capacidade para alcançar um ou vários objetivos com uma intervenção muito pequena de supervisores humanos. Por outro lado, a denominação de veículo autoguiado faz referência às estruturas móveis que vão se limitam a seguir caminhos pré-estabelecidos (SECCHI, 2008).



FIGURA 3. Robô móvel AURORA, dedicado ao serviço em estufas, particularmente em tarefas de fumigação. Desenvolvido na Universidade de Málaga (UMA) – extraído de (SECCHI, 2008).

Para atender esta definição, o Agrobot utilizará recursos de alta demanda de comunicação, principalmente entre sensores atuadores e um controle de alto nível para controlar a inteligência computacional. Dessa forma, se faz necessário um sistema operacional capaz de responder rapidamente a todas essas ferramentas de maneira eficiente. Optou-se pela utilização do ROS (*Robot operating system*) como o sistema operacional para controle das unidades do robô, operando em um microcomputador do tipo Raspberry Pi.

- O ROS é um *middleware*, ou seja, um conjunto de programas desenvolvidos para operações heterogêneas com abstrações de hardware, interligação de componentes em baixo nível, abstração de hardware, ligados a robótica.
- O Raspberry Pi é um microcomputador com *hardware* integrado em placa única, com processador de arquitetura ARM, memória RAM interna, baixo custo, que executa um sistema operacional baseado em Linux. O modelo B possui conectores USB que permitem sistema de entrada como teclado, mouse, entrada especial para câmera, saídas para áudio e vídeo, além de uma porta do tipo GPIO (*General Purpose Input/Output*) que permite a interligação direta com sensores em baixo nível (I2C, RS232, SPI).

Conforme pode ser observado na FIGURA 4, o robô será dividido em 4 subsistemas, cada qual responsável por uma função específica.

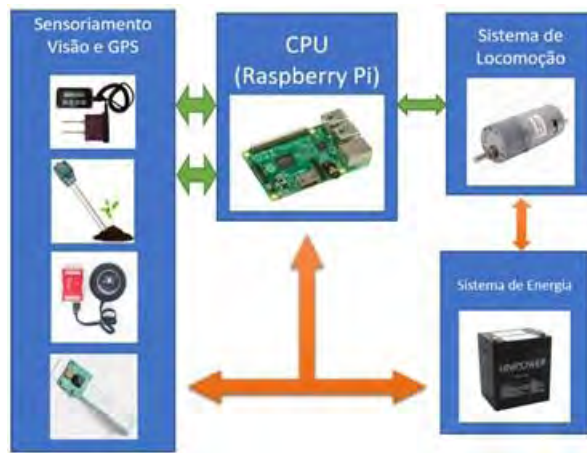


FIGURA 4. Diagrama do sistema eletrônico.

- CPU – realizará o controle em alto nível dos sistemas a ela interligada. Através das informações obtidas pelos sensores será responsável pela tomada de decisões do robô. Se comunicará com o operador através de um sinal de wi-fi.
- Sistema de Locomoção – responsável por receber os comandos de locomoção enviados pela CPU e realizar o deslocamento do robô. Este sistema também é responsável por realizar a odometria do robô, passando informações sobre a localização e orientação dentro obtidas através de encoders e unidades de medição inercial.
- Sistema de Energia – sistema eletrônico responsável por supervisionar a energia requisitada pelo robô, bem como garantir o controle da carga da bateria e consumo de corrente visando maximizar a vida útil da bateria. É responsável também pelo carregamento ótimo das baterias.
- Sensoriamento Visão e GPS – sistemas interligados a conexão GPIO da CPU, que podem comunicar diretamente com ela quando requisitada. Acoplado ao robô estão o sistema de GPU para a localização em áreas externas, e o sistema de visão computacional para a execução de tarefas relacionadas a processamento de imagens. Além disso, serão acoplados um sensor de umidade para atuar diretamente sobre os cultivares e um sistema de medição de condutividade elétrica do solo, ambos para auxílio na agricultura de precisão.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Até o momento já está desenvolvida a base do robô acoplada ao sistema de locomoção. Na FIGURA 5 está apresentado o protótipo em desenvolvimento. Optou-se pela utilização de um sistema diferencial com quatro rodas sem esterçamento. Dessa forma o robô pôde realizar movimentos com 2 graus de liberdade, podendo ir para frente/trás ou girar em torno do próprio eixo. Foi desenvolvido também o sistema eletrônico para controle do movimento das rodas, acoplada a um microcontrolador que realiza a interface entre o sistema de Locomoção e a CPU.

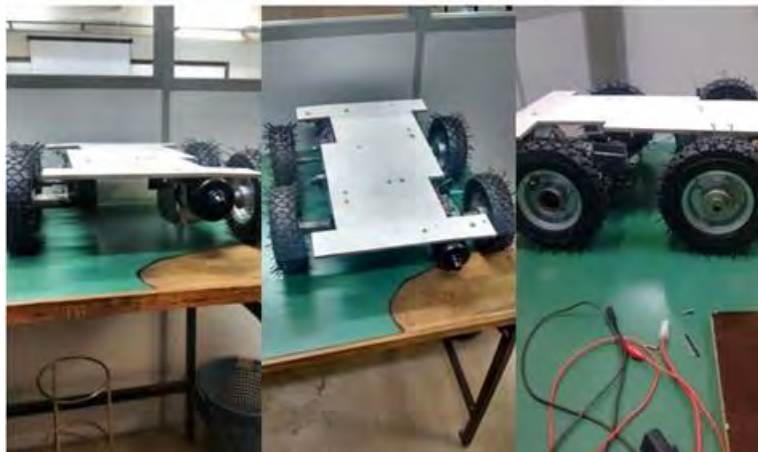


FIGURA 5. Base para o Agrobot.

Para a navegação, fora desenvolvido um algoritmo para detecção e desvio de obstáculos baseado em inteligência computacional. O sistema é capaz de planejar a trajetória a ser desenvolvida pelo robô e, através da leitura de sensores posicionados a frente do módulo robótico, desviar de obstáculos. Esse sistema já foi simulado em computador, e está sendo adaptado à CPU para realizar o comando do protótipo. A interligação dos sensores a CPU depende da montagem da placa. Já fora realizada a interligação em bancada a interligação do sensor de umidade, do módulo GPS e da câmera. Tais sistemas estão sendo transportados ao robô para experimentações. O módulo para leitura da condutividade elétrica está em desenvolvimento, e será acoplado a parte inferior do robô através de um atuador hidráulico. Tal sistema levará quatro eletrodos a terra para a medição do potencial elétrico para posterior medição da condutividade. Essa medida será relacionada a posição do robô para posterior criação de mapa de condutividade elétrica aparente do solo. Por fim, os protótipos para o sistema de controle das baterias já estão desenvolvidos, e serão adaptados ao Agrobot em momento oportuno (no momento ele opera através de cabos ligados diretamente a energia).

**CONCLUSÃO:** A robótica apresenta potencial para modificar de forma radical as técnicas de produção, auxiliando à agricultura de precisão buscando o aumento da produtividade no campo. Robôs podem trabalhar ininterruptamente, realizando o monitoramento da cultura de forma individual e localizada. Desse modo, pode-se obter uma economia com fertilizantes e defensivos, além da aplicação mais eficiente tratando apenas as plantas necessitadas. Robôs agrícolas podem também carregar sensores para medição de características dos solos em tempo real. Além de embarcar sensores de condutividade elétrica, câmeras multiespectrais, ou dispositivos para a realização de análise de solo. O robô pode realizar os experimentos e mapear as áreas conforme vai navegando. O Agrobot será um robô capaz de realizar as tarefas de agricultura de precisão, podendo ajudar o trabalhador nas tarefas de monitoramento de plantação, condição do solo e umidade. Ele terá capacidade de se locomover de forma autônoma dentro de uma rota pré-estabelecida, realizando a tarefa programada.

#### **AGRADECIMENTOS:**

Ao Instituto Federal do Sudeste MG – Campus Juiz de Fora, onde o projeto está registrado. Ao Laboratório de Sistemas Eletrônicos e Robótica pela infraestrutura disponibilizada.

#### **REFERÊNCIAS**

BARROS, G. S. D. C. et al. CEPEA. **CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**, 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 22 Abril 2018.

KING, A. The Future of Agriculture. **Nature**, v. 544, n. 7651, p. s21-s23, 2017.

MOUSAZADEH, H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. **Journal of Terramechanics**, v. 50, p. 211-232, 2013. ISSN 3.

SECCHI, H. A. **Una introducción a los robots móviles**. Facultad de ingeniería - UNLP. Buenos Aires, p. 78. 2008.

## **QUANTIFICAÇÃO DE ANTOCIANINAS EM UVAS DE VINHO COM USO DE IMAGENS DE REFLETÂNCIA VIS**

**ALISSON PEREIRA DOS SANTOS<sup>1</sup>, DANIELE SILVA REIS<sup>2</sup>, DANIEL DOS SANTOS COSTA<sup>3</sup>,  
RODRIGO PEREIRA RAMOS<sup>4</sup>, BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia da Computação, Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Juazeiro – BA, lissonpsantos2@gmail.com.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia da Computação, Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Juazeiro – BA, danielesreis@outlook.com.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Professor, Colegiado de Engenharia da Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro – BA, daniel.costa@univasf.edu.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Eletricista, Professor, Colegiado de Engenharia Elétrica, UNIVASF, Juazeiro – BA, rodrigo.ramos@univasf.edu.br.

<sup>5</sup> Engenheira Mecânica, Professora, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, barbara.teruel@feagri.unicamp.br.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A crescente demanda por produtos de alta qualidade, leva à necessidade de um monitoramento preciso dos produtos alimentícios. As tecnologias ópticas que utilizam a região do espectro visível (VIS) vêm se apresentando promissoras na análise não destrutiva de produtos alimentícios sendo ideais para as exigências da indústria vitivinícola. Portanto, objetivou-se com este trabalho analisar a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para quantificar as antocianinas em uvas de vinho. As bagas de uvas da variedade Aragonez foram colhidas em uma vinícola no município de Lagoa Grande-PE. A seguir, em laboratório, as imagens foram adquiridas e processadas para a extração de características colorimétricas por baga. O quantitativo de antocianinas por baga também foi obtido por meio de métodos tradicionais. Estes dados foram submetidos a dois métodos de regressão multivariada: (1) Método das componentes principais (PCR); (2) Método dos quadrados mínimos parciais (PLS). Como resultado, foram produzidos dois modelos PCR e PLS para a caracterização das antocianinas apresentando predições com assertividade de 97.44% e 95.41% respectivamente. Portanto, ficou evidente a viabilidade da utilização de imagens de refletância VIS na determinação do quantitativo de antocianinas em uvas viníferas de modo não destrutivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estatística Multivariada, Fruticultura de Precisão, Processamento de Imagens.

### **QUANTIFICATION OF ANTOCYANINS IN WINE GRAPES WITH VIS REFLECTING IMAGES**

**ABSTRACT:** The growing demand for high quality products leads to a need for more accurate monitoring of food products. Optical technologies using the Visible Spectrum Region (VIS) have been promising in the non-destructive analysis of food products being ideal for the requirements of the wine industry. Therefore, the objective of this work was to analyze the feasibility of using VIS reflectance images to quantify the anthocyanins in wine grapes. The grape berries of the Aragonez variety were harvested at a winery in the city of Lagoa Grande-PE. Then, in the laboratory, the images were acquired and processed to extract colorimetric characteristics for each grape berry. The quantity of anthocyanins per berry was also obtained by traditional methods. These data were submitted to two methods of multivariate regression methods: (1) Principal component regression (PCR); (2) Partial least squares (PLS). As a result, two PCR and PLS models were produced for the characterization of anthocyanins presenting predictions with assertiveness of 97.44% and 95.41%, respectively. Therefore, the viability of the use of VIS reflectance images in the determination of the anthocyanins quantitative in wine grapes in a non-destructive way was evident.

**KEYWORDS:** Image Processing, Multivariate Statistics, Precision Fruticulture.

**INTRODUÇÃO:** A região do Vale do São Francisco, localizada nos estados da Bahia e Pernambuco, participa em 15% da produção de vinho no Brasil (PEREIRA, 2013). O bom desempenho desta atividade na região . atribuído não só à alta disponibilidade de radiação solar, que possibilita obter frutos durante todo o ano, como também às técnicas aprimoradas para melhoria da qualidade do produto desde a produção até a p. s-colheita. Dentre as técnicas ainda pouco utilizadas nesta região, estão aquelas relacionadas às

propriedades de refletância na faixa do VIS (*Visible Spectrum*, aproximadamente 400-780nm). Essas fornecem informações de pigmentos dos frutos permitindo conhecer aspectos da qualidade dos frutos, como também a evolução da maturação até a deterioração (ABBOTT, 1999). Trabalhos anteriores com uvas indicam que para determinação dos atributos de qualidade interna, como SST (sólidos solúveis totais), açúcares totais e compostos fenólicos (antocianinas, flavonoides e carotenoides), os comprimentos de onda específicos estão dentro da faixa do VIS (KOLB et al., 2006; AGATI et al., 2007; AGATI et al., 2008). Ruiz-Altisent, et al. (2010) explicitaram a eficácia de tecnologias que utilizam sensores de imagem VIS na detecção de atributos de frutos, especialmente a maturação. Diante disto, objetivou-se com este trabalho analisar a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para quantificar as antocianinas totais em uvas viníferas, compostos conhecidos por suas características antioxidantes essenciais para a definição da cor e adstringência de vinhos (PREYS et al, 2016).

**MATERIAL E MÉTODOS: Amostragem das bagas e aquisição das imagens.** As amostras em vários estágios de maturação foram colhidas em uma vitivinícola na região do Vale do São Francisco e submetidas a posterior análise no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA, UNIVASF, Juazeiro-BA). Foram colhidas 120 bagas de uva (*Vitis vinifera* L.) da variedade Aragonez para aquisição das imagens e posterior aferição das antocianinas totais. O sistema de aquisição de imagens é composto por uma câmera fotográfica Canon T5i, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação ajustável e uma caixa de controle de acendimento dos LEDs apresentado na Figura 1A. O sistema de iluminação é composto por 15 LEDs CREE *Solderless* XPE2 de 3W de potência a uma distância angular de 24°, sendo três vermelhos com espectro entre 620 a 630nm, três verdes com espectro 525nm, três azuis com espectro entre 460 a 465nm, três brancos frio 5000K a 8300K e três brancos quente 3200K a 3500K (Figura 1B).

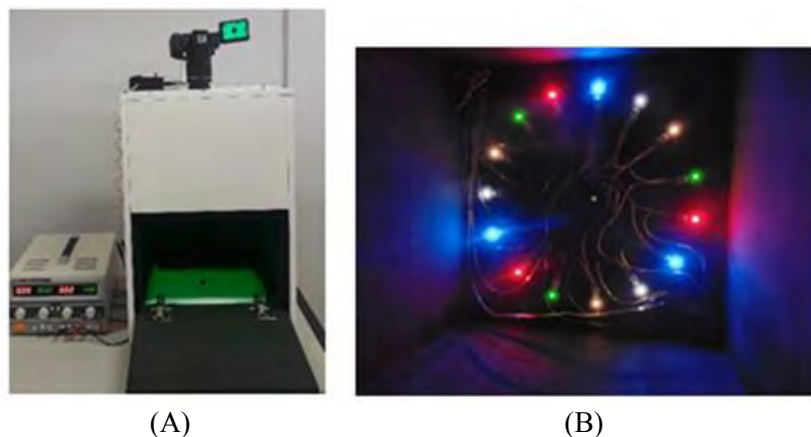


FIGURA 1. Sistema de aquisição de imagens. (A) – Câmera fotográfica, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação e controle de acendimento dos LEDs; (B) – 12 LEDs utilizados na aquisição de imagens.

O processo de obtenção das imagens consistiu da aquisição de cinco fotos por baga de uva, cada foto com uma fonte de iluminação de cor diferente seguindo a sequência: Vermelho; Verde; Azul; Branco frio; Branco quente. A câmera foi utilizada com os seguintes parâmetros: ISO-100; tempo de exposição 1/2s; F/5.6; distância focal de 48mm. No pré-processamento das imagens, etapa responsável pelo destaque da região de interesse, foi utilizado o método de Otsu (1979), que consiste na escolha de um ponto de corte no histograma de uma imagem permitindo separar imagem em duas áreas, como pode ser observado na Figura 2.

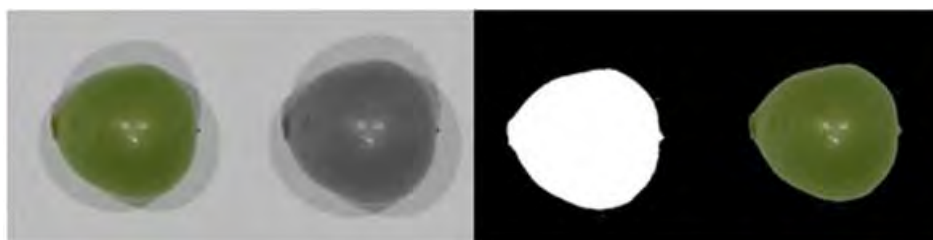


FIGURA 2. Etapas do pré-processamento das imagens.

Com a região de interesse já selecionada pelo pré-processamento das imagens, foram obtidos doze atributos diferentes relacionados aos diferentes espaços de cor. No espaço de cor RGB (*Red, Green, Blue*) foram obtidos seis atributos: R, G e B, correspondendo aos valores de intensidade médios de cada imagem, e r, g, b, que são os valores normalizados das variáveis definidas anteriormente. No espaço de cor CIE-Lab, foram obtidos três atributos, L, a e b, correspondendo aos valores de intensidades médios neste espaço de cor. As últimas três variáveis foram definidas de forma semelhante, H, S e V, representando os valores médios de intensidade da imagem no espaço de cor HSV.

### Obtenção dos valores de referência

Os teores de antocianinas totais foram determinados segundo Francis (1982). Pesou-se 0,5g de casca e polpa, em seguida, adicionou-se 25mL da solução extratora de etanol (95%) acidificada com HCl (1,5N), na proporção 85:15. As amostras foram maceradas por um minuto e, posteriormente, transferidas diretamente para um recipiente ao abrigo da luz ficando em repouso e armazenada na geladeira. Após 24 horas, o sobrenadante era recolhido e efetuado as leituras em espectrofotômetro a 535nm. Os resultados foram expressos em mg.100 g<sup>-1</sup>, por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Teor de antocianinas totais} = \text{abs} * \text{fator de diluição}/E1\% \quad (1)$$

Onde foram usados os valores do fator de diluição igual a 5000 e o coeficiente de extinção (E1%) igual a 98,2.

### Construção dos modelos de regressão

Os modelos de calibração foram obtidos por regressão multivariada através do método dos quadrados mínimos parciais (PLS) e do método das componentes principais (PCR). O conjunto de dados é constituído pelos atributos das imagens e o quantitativo de antocianinas totais, sendo este dividido na proporção 80-20, onde 80% das amostras foram utilizadas para a calibração dos modelos e 20% para a predição. Antes do processo de calibração foi aplicada a uniformização dos dados de entrada com a aplicação da seguinte fórmula:

$$A_s = A \frac{1}{SDev} \quad (2)$$

Onde  $A$  = Valor bruto,  $A_s$  = Valor uniformizado,  $SDev$  = Desvio padrão.

Após a calibração dos modelos, foi utilizada a validação cruzada total, para verificação da correlação entre o modelo e os parâmetros utilizados para a criação do modelo. Foram obtidos dois modelos PCR e PLS para cada cor de LED, com o intuito de avaliar a influência de cada comprimento de onda, totalizando assim, 10 modelos diferentes. Cada modelo foi criado considerando a quantidade de fatores ótimo, por meio da verificação da estabilidade de parâmetros como a raiz da média quadrática dos erros de calibração (RMSEC), a raiz da média quadrática dos erros de validação cruzada (RMSECV) e o erro padrão de calibração (SEC). Para cada método de regressão (PLS e PCR) e iluminante (Vermelho; Verde; Azul; Branco frio; Branco quente) foi selecionado os melhores modelos com base no coeficiente de determinação da validação cruzada, sendo estes modelos posteriormente validados com o teste de predição.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Com as configurações da câmera foram obtidas um total de 600 imagens com resolução de 3456 x 5184 pixels, totalizando 11.85GB. Para cada cor de LED foi obtido um modelo de calibração e seus respectivos parâmetros de validação cruzada para os métodos de regressão PCR e PLS.

TABELA 1. Parâmetros de qualidade do modelo de calibração e validação cruzada utilizando PCR.

Cor do LED	Calibração			Validação Cruzada		
	R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSECV	SECV
Vermelho	0.9350	18.1153	18.2104	0.92810	19.0607	19.1607
Verde	0.6075	44.5266	44.7603	0.57485	46.3835	46.6270
PCR Azul	0.6778	40.3436	40.5553	0.65112	42.0013	42.2218
Branco Quente	0.9567	14.7855	14.8631	0.95254	15.4854	15.5666
Branco Frio	0.9205	20.0346	20.1397	0.91095	21.2146	21.3259

TABELA 2. Parâmetros de qualidade do modelo de calibração e validação cruzada utilizando PLS.

Cor do LED	Calibração			Validação Cruzada		
	R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSECV	SECV
Vermelho	0.9273	19.1586	19.2592	0.9249	19.4780	19.5797
Verde	0.6731	40.6392	40.8525	0.6593	41.5070	41.7226
PLS Azul	0.6766	40.4187	40.6308	0.6470	42.2482	42.4699
Branco Quente	0.9489	16.0726	16.1570	0.9424	17.0651	17.1547
Branco Frio	0.9232	19.6948	19.7981	0.9134	20.9216	21.0317

Os melhores coeficientes de validação cruzada para os modelos PCR e PLS foram 0.9525 e 0.9424, respectivamente, para branco quente (Tabela 1 e 2). Com o auxílio dos melhores coeficientes de calibração, pôde-se observar uma unanimidade quanto ao melhor iluminante, aquele provido pelo LED branco quente. Na Tabela 3, são apresentados os resultados das predições para os modelos PCR e PLS. Como é possível observar em ambos os modelos, a raiz da média quadrática dos erros de predição (RMSEP) e o erro padrão de predição (SEP) foram menores que a RMSECV e SECV, e ainda, o R<sup>2</sup> da predição foi maior que o R<sup>2</sup> da validação cruzada, constituindo assim modelos robustos quanto a sua assertividade.

TABELA 3. Resultados da predição para os melhores modelos PCR e PLS.

Modelo	Predição		
	R <sup>2</sup>	RMSEP	SEP
PCR	0.9744	11.0005	10.6078
PLS	0.9541	14.4339	14.1499

Com uma metodologia mais simples que aquela apresentada por Chen, et al. (2014), que utilizou imagens hiperespectrais na região do infravermelho próximo, foi possível obter resultados superiores na predição dos modelos de regressão. Esses autores alcançaram um valor de R<sup>2</sup> de 0.8407, inferior ao obtido neste estudo. Portanto, o uso das imagens VIS para determinação de antocianinas totais proporciona a redução de insumos e reagentes, algo que ocorre com rotina nesse tipo de análise química, além do que essas imagens são menos onerosas comparadas as imagens multiespectrais ou hiperespectrais.

**CONCLUSÃO:** O grau de assertividade alcançado na predição com o uso dos melhores modelos PCR e PLS, 97.44% e 95.41%, respectivamente, mostraram a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para quantificar as antocianinas em uvas viníferas.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimento à UNIVASF pela bolsa concedida e estrutura disponibilizada

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest biology and technology**, v. 15, n. 3, p. 207-225, 1999.
- AGATI, G., MEYER, S., MATTEINI, P., & CEROVIC, Z. G. Assessment of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.) berries using a noninvasive chlorophyll fluorescence method. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 4, p. 1053-1061, 2007.
- AGATI, G., TRAVERSI, M. L., & CEROVIC, Z. G. Chlorophyll fluorescence imaging for the noninvasive assessment of anthocyanins in whole grape (*Vitis vinifera* L.) bunches. **Photochemistry and Photobiology**, v. 84, n. 6, p. 1431-1434, 2008.
- CHEN, S., ZHANG, F., NING, J., LIU, X., ZHANG, Z., & YANG, S. Predicting the anthocyanin content of wine grapes by NIR hyperspectral imaging. **Food chemistry**, v. 172, p. 788-793, 2015.
- FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. In: MARKAIS, P. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press. p. 181-207, 1982.
- KOLB, C. A., WIRTH, E., KAISER, W. M., MEISTER, A., RIEDERER, M., & PFÜNDEL, E. E. Noninvasive evaluation of the degree of ripeness in grape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Bacchus and Silvaner)

by chlorophyll fluorescence. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 54, n. 2, p. 299-305, 2006.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.

PEREIRA, G. E. Os vinhos tropicais em desenvolvimento no Nordeste do Brasil. **ComCiência**, n. 149, 2013.

PREYS, S., et al. Relationship between polyphenolic composition and some sensory properties in red wines using multiway analyses. **Analytica Chimica Acta** **563**.1-2 (2006): 126-136.

RUIZ-ALTISENT, M., RUIZ-GARCIA, L., MOREDA, G. P., LU, R., HERNANDEZ-SANCHEZ, N.,



## **QUANTIFICAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS EM UVAS DE VINHO COM USO DE IMAGENS DE REFLECTÂNCIA VIS**

**ALISSON PEREIRA DOS SANTOS<sup>1</sup>, DANIELE SILVA REIS<sup>2</sup>, DANIEL DOS SANTOS COSTA<sup>3</sup>, RODRIGO PEREIRA RAMOS<sup>4</sup>, BARBARA JANET TERUEL MEDEROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia da Computação, Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Juazeiro – BA, lissonpsantos2@gmail.com.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia da Computação, Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Juazeiro – BA, danielesreis@outlook.com.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Professor, Colegiado de Engenharia da Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro – BA, daniel.costa@univasf.edu.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Eletricista, Professor, Colegiado de Engenharia Elétrica, UNIVASF, Juazeiro – BA, rodrigo.ramos@univasf.edu.br.

<sup>5</sup> Engenheira Mecânica, Professora, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, barbara.teruel@feagri.unicamp.br.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A necessidade de um monitoramento preciso dos produtos alimentícios vem crescendo, isto se dá por conta da crescente demanda por produtos de alta qualidade pelos consumidores. Dentre as tecnologias que possibilitem tal monitoramento não destrutivo, vêm se destacando aquelas que utilizam as propriedades ópticas da região do espectro visível (VIS). Portanto, objetivou-se com este trabalho analisar a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para quantificar os sólidos solúveis totais em uvas de vinho. As bagas de uvas da variedade Aragonez foram colhidas em uma vinícola no município de Lagoa Grande-PE. A seguir, em laboratório, as imagens foram adquiridas e processadas para a extração de características colorimétricas por baga. O quantitativo de sólidos solúveis totais por baga também foi obtido por meio de métodos tradicionais. Estes dados foram submetidos a dois métodos de regressão multivariada: (1) Método das componentes principais (PCR); (2) Método dos quadrados mínimos parciais (PLS). Como resultado, foram produzidos dois modelos PCR e PLS para a caracterização dos SST apresentando predições com assertividade de 89.90% e 89.90% respectivamente. Portanto, ficou evidente a viabilidade da utilização de imagens de refletância VIS na determinação do quantitativo de sólidos solúveis totais em uvas viníferas de modo não destrutivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estatística multivariada, fruticultura de precisão, processamento de imagens.

## **QUANTIFICATION OF TOTAL SOLUBLE SOLIDS IN WINE GRAPES WITH VIS REFLECTING IMAGES**

**ABSTRACT:** The need for accurate monitoring of food products has increased, this is due to the growing demand for high quality products by consumers. Among the technologies that enable such non-destructive monitoring, those that use the optical properties of the visible-spectrum region (VIS) have been highlighted. Therefore, the objective of this work was to analyze the feasibility of using VIS reflectance images to quantify the total soluble solids in wine grapes. The grape berries of the Aragonez variety were harvested at a winery in the city of Lagoa Grande-PE. Then, in the laboratory, the images were acquired and processed to extract colorimetric characteristics for each grape berry. The SST quantity per berry was also obtained by traditional methods. These data were submitted to two methods of multivariate regression methods: (1) Principal component regression (PCR); (2) Partial least squares (PLS). As a result, two PCR and PLS models were produced for the characterization of anthocyanins presenting predictions with assertiveness of 89.90% and 89.90%, respectively. Therefore, the viability of the use of VIS reflectance images in the determination of the total soluble solids quantitative in wine grapes in a non-destructive way was evident.

**KEYWORDS:** Image processing, multivariate statistics, precision fructiculture.

**INTRODUÇÃO:** O método tradicional de quantificação de sólidos solúveis totais (SST) em uvas de vinho é um processo destrutivo, estando muito propenso a erros de execução. Quando observado no escopo da região do Vale do São Francisco, localizada nos estados da Bahia e Pernambuco, responsável por 15% da produção de vinho no Brasil (SOARES, 2009), pode-se perceber que a determinação precisa deste atributo de qualidade da uva é essencial para o grau alcoólico do vinho. Uma das técnicas alternativas à tradicional, em

destaque, são aquelas relacionadas às propriedades de refletância na região do VIS (*Visible Spectrum*, aproximadamente 400-780nm). Essas fornecem informações de pigmentos dos frutos permitindo conhecer aspectos da qualidade dos frutos, como também a evolução da maturação até a deterioração (ABBOTT, 1999). Trabalhos anteriores com uvas indicam que para determinação dos atributos de qualidade interna, como SST (sólidos solúveis totais), açúcares totais e compostos fenólicos (antocianinas, flavonoides e carotenoides), os comprimentos de onda específicos estão dentro da faixa do VIS (KOLB et al., 2006; AGATI et al., 2007; AGATI et al., 2008). Ruiz-Altisent et al. (2010) explicitaram a eficácia de tecnologias que utilizam sensores de imagem VIS na detecção de atributos de frutos, especialmente a maturação. Diante disto, objetivou-se com este trabalho analisar a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para quantificar os sólidos solúveis totais em uvas de vinho.

**MATERIAL E MÉTODOS: Amostragem das bagas e aquisição das imagens.** As amostras em vários estágios de maturação foram colhidas em uma vitivinícola na região do Vale do São Francisco e submetidas a posterior análise no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA, UNIVASF, Juazeiro-BA). Foram colhidas 240 bagas de uva (*Vitis vinifera* L.) da variedade Aragonez para aquisição das imagens e determinação dos sólidos solúveis totais (SST). O sistema de aquisição de imagens é composto por uma câmera fotográfica Canon T5i, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação ajustável e uma caixa de controle de acendimento dos LEDs apresentado na Figura 1A. O sistema de iluminação é composto por 15 LEDs CREE *Solderless* XPE2 de 3W de potência a uma distância angular de 24°, sendo três vermelhos com espectro entre 620 a 630nm, três verdes com espectro 525nm, três azuis com espectro entre 460 a 465nm, três brancos frio 5000K a 8300K e três brancos quente 3200K a 3500K (Figura 1B).

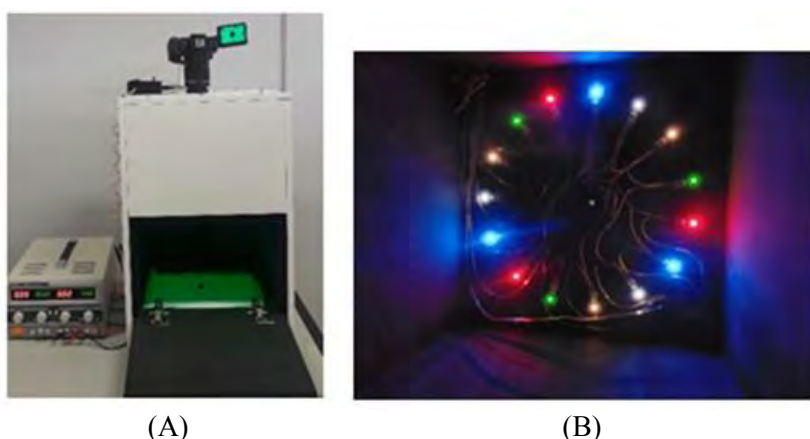


FIGURA 1. Sistema de aquisição de imagens. (A) – Câmera fotográfica, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação e controle de acendimento dos LEDs; (B) – 12 LEDs utilizados na aquisição de imagens.

O processo de obtenção das imagens consistiu da aquisição de cinco fotos por baga de uva, cada foto com uma fonte de iluminação de cor diferente seguindo a sequência: Vermelho; Verde; Azul; Branco frio; Branco quente. A câmera foi utilizada com os seguintes parâmetros: ISO-100; tempo de exposição 1/2s; F/5.6; distância focal de 48mm. No pré-processamento das imagens, etapa responsável pelo destaque da região de interesse, foi utilizado o método de Otsu (1979), que consiste na escolha de um ponto de corte no histograma de uma imagem permitindo separar imagem em duas áreas, como pode ser observado na Figura 2.

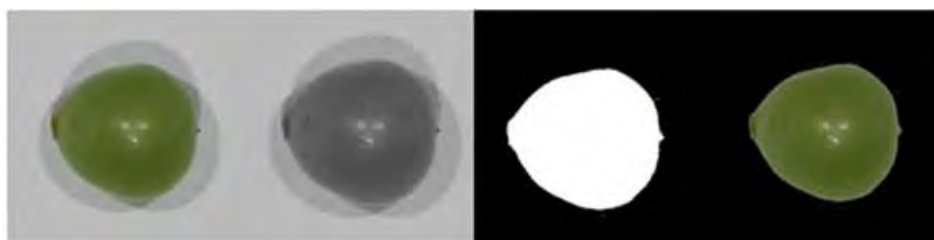


FIGURA 2. Etapas do pré-processamento das imagens.

Com a região de interesse já selecionada pelo pré-processamento das imagens, foram obtidos doze atributos diferentes relacionados aos diferentes espaços de cor. No espaço de cor RGB (*Red, Green, Blue*) foram

obtidos seis atributos: R, G e B, correspondendo aos valores de intensidade médios de cada imagem, e r, g, b, que são os valores normalizados das variáveis definidas anteriormente. No espaço de cor CIE-Lab, foram obtidos três atributos, L, a e b, correspondendo aos valores de intensidades médios neste espaço de cor. As últimas três variáveis foram definidas de forma semelhante, H, S e V, representando os valores médios de intensidade da imagem no espaço de cor HSV.

**Obtenção dos valores de referência.** A análise para a determinação dos sólidos solúveis totais (SST) de cada baga, foi feita com o auxílio do refratômetro digital (HI 96804, *Hanna Instruments*, USA), utilizando-se gotas de sumo de cada baga, com os resultados expressos em °Brix.

**Construção dos modelos de regressão.** Os modelos de calibração foram obtidos por regressão multivariada através do método dos quadrados mínimos parciais (PLS) e do método das componentes principais (PCR). O conjunto de dados é constituído pelos atributos das imagens e o quantitativo de antocianinas totais, sendo este dividido na proporção 80-20, onde 80% das amostras foram utilizadas para a calibração dos modelos e 20% para a predição. Antes do processo de calibração foi aplicada a uniformização dos dados de entrada com a aplicação da equação 1:

$$A_s = A \frac{1}{SDev} \quad (1)$$

Onde:

$A$  = Valor bruto,  $A_s$  = Valor uniformizado,  $SDev$  = Desvio padrão.

Após a calibração dos modelos, foi utilizada a validação cruzada total para verificação da correlação entre o modelo e os parâmetros utilizados para a criação do modelo. Foram obtidos dois modelos PCR e PLS para cada cor de LED, com o intuito de avaliar a influência de cada comprimento de onda, totalizando assim, 10 modelos diferentes. Cada modelo foi criado considerando a quantidade de fatores ótimo, por meio da verificação da estabilidade de parâmetros como a raiz da média quadrática dos erros de calibração (RMSEC), a raiz da média quadrática dos erros de validação cruzada (RMSECV) e o erro padrão de calibração (SEC). Para cada método de regressão (PLS e PCR) e iluminante (Vermelho; Verde; Azul; Branco frio; Branco quente), foi selecionado os melhores modelos com base no coeficiente de determinação da validação cruzada, sendo estes modelos posteriormente validados com o teste de predição.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Com as configurações da câmera foram obtidas um total de 1200 imagens com resolução de 3456 x 5184 pixels, totalizando 23,7 GB. Para cada cor de LED, foi obtido um modelo de calibração e seus respectivos parâmetros de validação cruzada para os métodos de regressão PCR e PLS. Os melhores coeficientes de validação cruzada para os modelos PCR e PLS foram 0,9144 e 0,9142 respectivamente, para branco quente (Tabela 1 e 2). Com o auxílio dos melhores coeficientes de calibração, pôde-se observar uma unanimidade quanto ao melhor iluminante, aquele provido pelo LED branco quente.

TABELA 1. Parâmetros de qualidade do modelo de calibração e validação cruzada utilizando PCR.

Cor do LED	Calibração			Validação Cruzada			
	R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSECV	SEC	
PCR	Vermelho	0,8527	1,7045	1,7089	0,8435	1,7570	1,7616
	Verde	0,7199	2,3502	2,3563	0,7144	2,3734	2,3796
	Azul	0,7074	2,4020	2,4083	0,7014	2,4266	2,4330
	Branco Quente	0,9191	1,2635	1,2668	0,9144	1,2995	1,3029
	Branco Frio	0,9031	1,3823	1,3859	0,8960	1,4326	1,4363

TABELA 2. Parâmetros de qualidade do modelo de calibração e validação cruzada utilizando PLS.

Cor do LED	Calibração			Validação Cruzada		
	R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSECV	SECV
Vermelho	0,8386	1,7843	1,7890	0,8269	1,8475	1,8524
Verde	0,8206	2,3473	2,3543	0,7147	2,3719	2,3781
PLS Azul	0,7109	2,3876	2,3938	0,7044	2,4147	2,4210
Branco Quente	0,9193	1,2615	1,2648	0,9142	1,3007	1,3041
Branco Frio	0,9072	1,3525	1,3560	0,8994	1,4086	1,4123

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das predições para a PCR e PLS. Apesar da predição apresentar um erro padrão (SEP) maior que o SECV e um R<sup>2</sup> menor que o R<sup>2</sup> da validação cruzada, quando comparado com o trabalho de Guidetti et al. (2010), é possível observar um resultado superior. Enquanto os mesmos autores alcançaram, para predição de sólidos solúveis totais, um R<sup>2</sup> de 0,82 para bagas frescas e um R<sup>2</sup> de 0,75 para frutos homogêneos, este trabalho alcançou índices de determinação de 0,8990 e 0,8988 para os modelos PCR e PLS, respectivamente.

TABELA 3. Resultados da predição para os melhores modelos PCR e PLS.

Modelo	Predição		
	R <sup>2</sup>	RMSEP	SEP
PCR	0,899	0,895	1,414
PLS	0,899	0,895	1,417

**CONCLUSÃO:** O grau de assertividade alcançado na predição com o uso dos melhores modelos PCR e PLS de 89,9% mostraram a viabilidade do uso de imagens de refletância VIS para estimar o quantitativo de sólidos solúveis totais (SST) de modo não destrutivo.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimento à UNIVASF pela bolsa concedida e estrutura disponibilizada

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest biology and technology**, v. 15, n. 3, p. 207-225, 1999.
- AGATI, G., MEYER, S., MATTEINI, P., & CEROVIC, Z. G. Assessment of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.) berries using a noninvasive chlorophyll fluorescence method. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 4, p. 1053-1061, 2007.
- AGATI, G., TRAVERSI, M. L., & CEROVIC, Z. G. Chlorophyll fluorescence imaging for the noninvasive assessment of anthocyanins in whole grape (*Vitis vinifera* L.) bunches. **Photochemistry and Photobiology**, v. 84, n. 6, p. 1431-1434, 2008.
- GUIDETTI, R., BEGHI, R., BODRIA, L. Evaluation of grape quality parameters by a simple Vis/NIR system. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 2, p. 477-484, 2010.
- KOLB, C. A., WIRTH, E., KAISER, W. M., MEISTER, A., RIEDERER, M., & PFÜNDEL, E. E. Noninvasive evaluation of the degree of ripeness in grape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Bacchus and Silvaner) by chlorophyll fluorescence. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 54, n. 2, p. 299-305, 2006.
- OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.
- RUIZ-ALTISENT, M., RUIZ-GARCIA, L., MOREDA, G. P., LU, R., HERNANDEZ-SANCHEZ, N., SOARES, J. M., LEÃO, P. S. A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. **Embrapa Informação Tecnológica**; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009.

## **QUANTIFICAÇÃO DO ACAMAMENTO DO MILHO ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS**

**MATHEUS GABRIEL ACORSI<sup>1</sup>, MAURÍCIO MARTELLO<sup>2</sup> GRACIELE ANGNES<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, 1matheusacorsi@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Ambiental, Doutora em Ciências, USP/ESALQ, Piracicaba- SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O monitoramento dos cultivos é uma necessidade constante na agricultura moderna em que a coleta e análise de informações são cada vez mais necessárias na gestão de uma lavoura. Uma das ferramentas de emprego crescente são as aeronaves remotamente pilotadas capazes de fornecer dados especializados com alto nível de detalhes e periodicidade flexível. Nesse contexto, o presente estudo propõe uma metodologia alternativa para a identificação de áreas acometidas por acamamento na cultura do milho através de imagens obtidas por RPA. A área avaliada foi cultivada com milho de segunda safra e encontrava-se no estágio reprodutivo quando acometida pela intempérie climática que culminou no acamamento de um grande número de plantas. Para a coleta das imagens foi elaborado um plano de voo através do software Drone Deploy, seguido do pós-processamento de imagens desenvolvido no software Agisoft Photoscan, resultando nos seguintes produtos: ortomosaico, modelo digital de terreno e de superfície. Posteriormente, através do uso de ferramentas analíticas em ambiente SIG foi possível identificar e classificar as áreas acamadas. Como resultado foram obtidos mapas ilustrando a severidade e a incidência do acamamento. A classificação identificou 44,74% da área apresentou grau de acamamento de severidade alto. Os resultados demonstraram a potencialidade do uso desta técnica para identificação de áreas acamadas em milho reduzindo a subjetividade deste tipo de inferência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Aeronave remotamente pilotada, Geoprocessamento.

**ABSTRACT:** Crop scouting is a constant necessity in modern agriculture in which the collection and analysis of information is increasingly necessary in the management of a crop. A powerful tool with growing use is the unmanned aerial vehicle capable of delivering specialized data with high detail and flexible periodicity. In this context, the present study proposes an alternative methodology for the identification of areas affected by lodging in the corn crop through images obtained by UAV. The evaluated area was cultivated with maize of the second harvest and was in the reproductive stage when affected by the climatic weather that culminated in the lodging of a large number of plants. For the collection of images, a flight plan was developed using Drone Deploy software, followed by the post-processing of images developed in the Agisoft Photoscan software, resulting in the following products: orthomosaic, digital terrain and surface model. Subsequently, through the use of analytical tools in GIS environment, it was possible to identify and classify the bedded areas. As a result, maps showing the severity and incidence of lodging were obtained. The classification identified 44.74% of the area presented degree of lodging of high severity. The results demonstrated the potential of the use of this technique to identify bedded areas in corn, reducing the subjectivity of this type of inference.

**KEYWORDS:** Remote sensing; Remotely piloted aircraft; Geoprocessing.

### **INTRODUÇÃO**

A identificação da variabilidade espacial e temporal dos fatores que limitam a produtividade de uma cultura são pontos de extrema importância para a Agricultura de Precisão (MOLIN et al., 2015), pois permitem a gestão de acordo com a identificação das demandas e características do solo e de plantas. Assim, as técnicas utilizando imagens obtidas por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) tem recebido grande destaque como alternativa prática e barata para o monitoramento de lavouras, principalmente devido à alta resolução espacial de seus sensores que permitem observar a variabilidade das áreas agrícolas (SANKARAN et al., 2015). Alguns trabalhos têm destacado a potencialidade da técnica para a cultura do milho. Lelong et

al. (2008) e Shi et al. (2016) utilizaram imagens áreas obtidas por RPA como ferramenta para identificar a variabilidade que o dossel da lavoura apresentava durante o seu desenvolvimento. Geipel et al (2015) identificaram parâmetros biométrico do milho através das imagens aéreas e conseguiram estimar a produtividade do milho através da modelagem digital da superfície obtida pelas imagens aéreas. No entanto, a modelagem da superfície também pode ser utilizada para outros usos nas áreas agrícolas. Modelando a superfície é possível quantificar as perdas de produtividade devido a intempéries climáticas, que muitas vezes são difíceis de serem quantificadas em campo e filtradas de mapas de produtividade. Um exemplo dessas intempéries são ventos fortes que, devido à sua força, ocasionam o acamamento da cultura do milho. Tamanha a importância deste fenômeno, estima-se que pelo menos 5% da produção mundial de milho seja comprometida em decorrência de problemas com o acamamento (KANG et al., 1999). Tendo em vista a carência de metodologias voltadas a avaliação deste fenômeno na literatura, que em sua maioria baseiam-se na contagem manual de plantas acamadas (CASTOLDI et al., 2011; FLARESSO et al., 2000; GOMES et al., 2010), o presente trabalho busca apresentar uma alternativa para monitorar e quantificar as áreas que sofreram acamamento devido a incidência de fortes ventos através de imagens áreas obtidas por RPA e modelagem da superfície.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos-PR, com a seguinte localização geográfica: 25°41'27"S, 53°5'52"O e altitude de aproximadamente 510 metros. O solo predominante na região é classificado como Nitossolo vermelho distroférico (BHERING et al., 2008). No desenvolvimento do trabalho a área de 3.830 m<sup>2</sup> estava sendo cultivada com milho safrinha destinado a produção de forragem variedade Pionner P3431VYH. A mesma estava sendo conduzida de forma homogênea, sem a presença de parcelas ou tratamentos experimentais. A coleta das imagens foi realizada no dia 12 de maio de 2017, quando a cultura estava no estágio de espigamento e alguns dias após fortes ventos. Para a coleta das imagens, utilizou-se uma aeronave remotamente pilotada (RPA) multirotor equipada com quatro motores e diversos sensores embarcados, dentre eles, o sensor imageador CMOS RGB de 12 megapixels, que possibilitou a obtenção de imagens com GSD (*ground sample distance*) de 0,023 m pixel<sup>-1</sup> a uma altura de 60 metros. A aeronave apresentava um sistema de navegação orientado por GNSS (*global navigation satellite system*) permitindo a execução de um plano de voo prévio. O plano de voo foi elaborado através do software Drone Deploy. Para o presente trabalho foi utilizado um recobrimento lateral e longitudinal de 80% entre as imagens, garantindo a cobertura total da área de estudo e possibilitando a reconstrução do modelo digital da superfície.

Posteriormente ao voo, as imagens coletadas foram processadas em ambiente computacional todos os passos estão descritos na Figura 1.

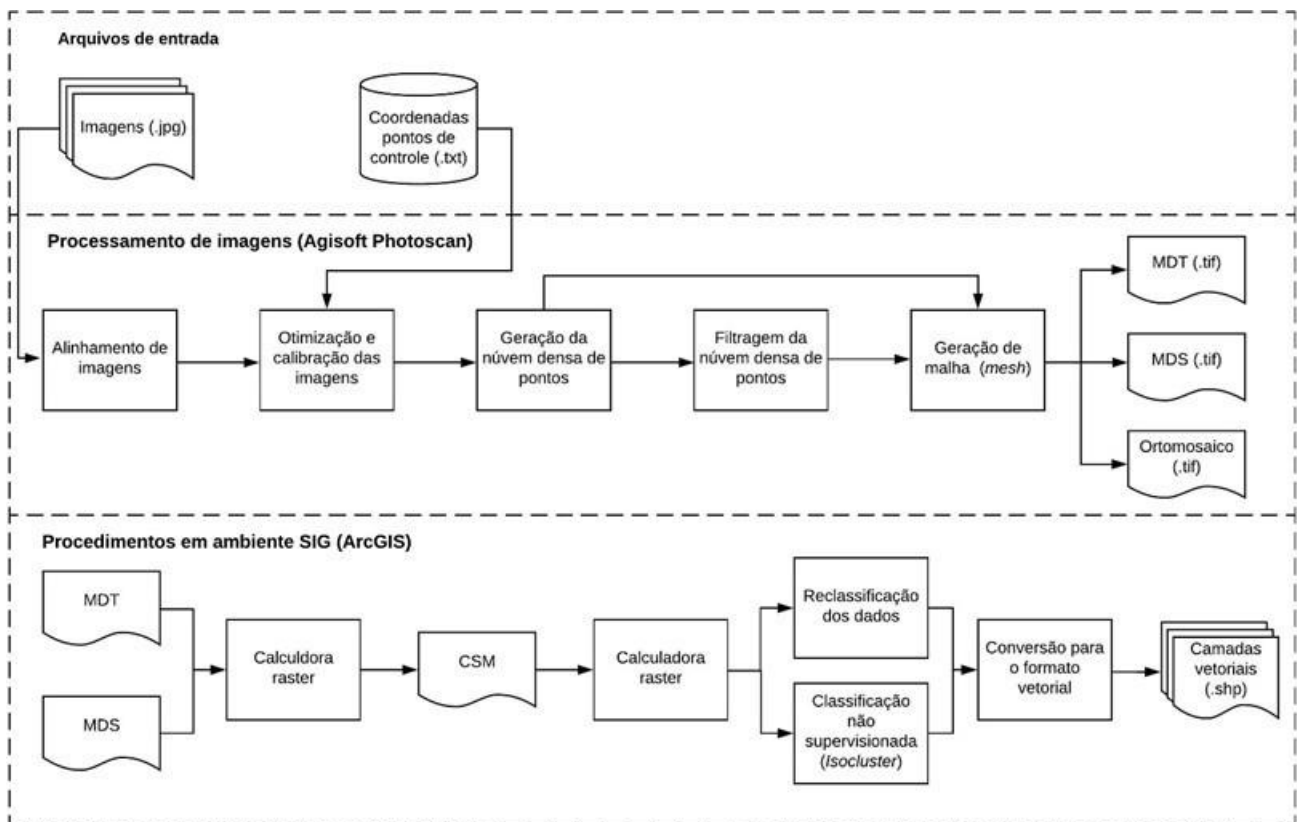


FIGURA 1. Fluxograma do processamento das imagens em ambiente computacional.

O software Agisoft Photoscan Professional, foi responsável pelo processamento fotogramétrico. Tal software é baseado no algoritmo de visão computacional denominado *Structure from Motion* (SfM), que possibilita obter uma nuvem densa de pontos tridimensionais, a partir dessa nuvem densa de ponto foram gerados os modelos digitais de terreno e superfície (MDT e MDS). Para a geração do MDT é necessário realizar uma filtragem da nuvem densa de pontos selecionando apenas os pontos que fazem parte do terreno sem a influência da cultura. Além dos modelos digitais (MDT e MDS) foi possível obter o ortomosaico georreferenciado da área sobrevoada. Após serem obtidas, as camadas foram manipuladas em ambiente SIG (sistema de informação geográfica). Fazendo uso da calculadora raster, foi realizada a álgebra de mapas entre o modelo digital de superfície, o qual representa o dossel vegetal, juntamente com o modelo digital de terreno, que representa o nível do solo, permitindo, a obtenção de um terceiro modelo denominado *Crop Surface Model* (CSM) o qual equivale à altura das plantas (BENDIG et al., 2012). Afim de quantificar a severidade do acamamento da cultura, foi executada uma nova álgebra de mapas com a camada CSM aplicada à Equação 1, gerando assim um mapa da severidade do acamamento que possibilita verificar, de forma espacializada, a redução percentual na altura de plantas em virtude do acamamento.

$$\text{Severidade do acamamento (\%)} = 100 - \frac{h \cdot 100}{H} \quad (1)$$

em que:  $h$  = altura observada;  $H$  = altura máxima.

Após a geração do mapa da severidade do acamamento, o mesmo foi reclassificado para facilitar a interpretação dos resultados, utilizando-se categorias propostas de acordo com a Tabela 1.

TABELA 1. Classes de severidade propostas para reclassificação do mapa de severidade.

Classes de Severidade	Severidade do acamamento (%)
Baixa	0 – 20%
Moderada	20 – 40%
Média	40 – 60%
Alta	> 60%

De forma complementar, utilizou-se um segundo método para reclassificação dos dados, denominado *isocluster*. Por se tratar de um método de classificação não supervisionada, sua implementação é facilitada, cabendo ao usuário especificar apenas o número de classes desejadas, e a mesma é executada de maneira automatizada. Como forma de identificar áreas acamadas, a classificação foi desempenhada pressupondo duas classes, a de áreas com e sem a incidência de acamamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos após o processamento das imagens aéreas são apresentados na Figura 1. O ortomosaico (Figura 2a) apresenta a potencialidade em determinar as regiões que sofreram acamamento, sendo possível observar também os locais de solo exposto. Com as camadas dos modelos digitais do terreno e superfície (Figura 2bc) foi possível extrair a altura da cultura CSM (Figura 2d) a qual foi submetida ao processo de determinação da severidade do acamamento, uma vez que este fenômeno pode ser avaliado com base na alteração de padrões da altura das plantas.

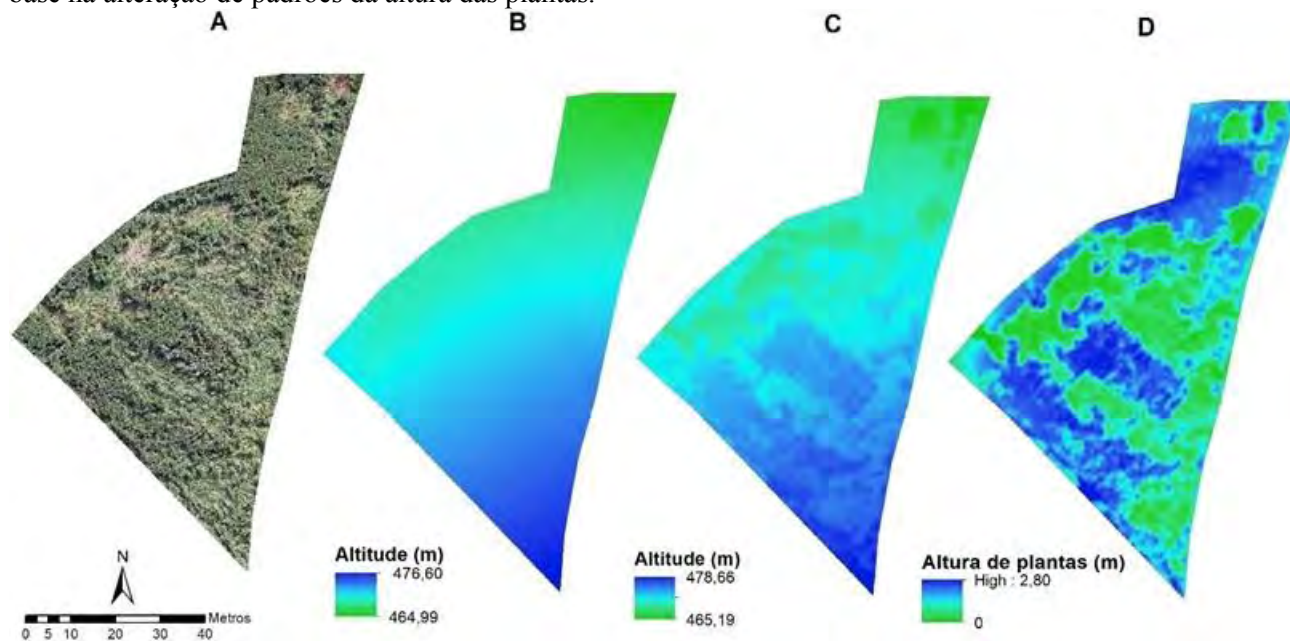


FIGURA 2. (a) Ortomosaico obtido através das imagens aéreas; (b) Modelo digital do terreno obtido através de imagens aéreas após filtragem; (c) Modelo digital da superfície obtido através das imagens aéreas; (d) *Crop Surface Model* obtido através da subtração entre modelo digital de superfície e modelo digital de terreno.

Através da Equação 1, foi possível estabelecer uma relação entre o maior valor de altura das plantas observado dentro do CSM, e as demais observações. Essa relação permitiu avaliar a severidade do processo de acamamento, haja vista que valores muito elevados caracterizam áreas de intenso acamamento (Figura 3a). Como forma de facilitar a interpretação desta informação, os resultados foram categorizados (Figura 3b) e suas áreas quantificadas (Tabela 2).



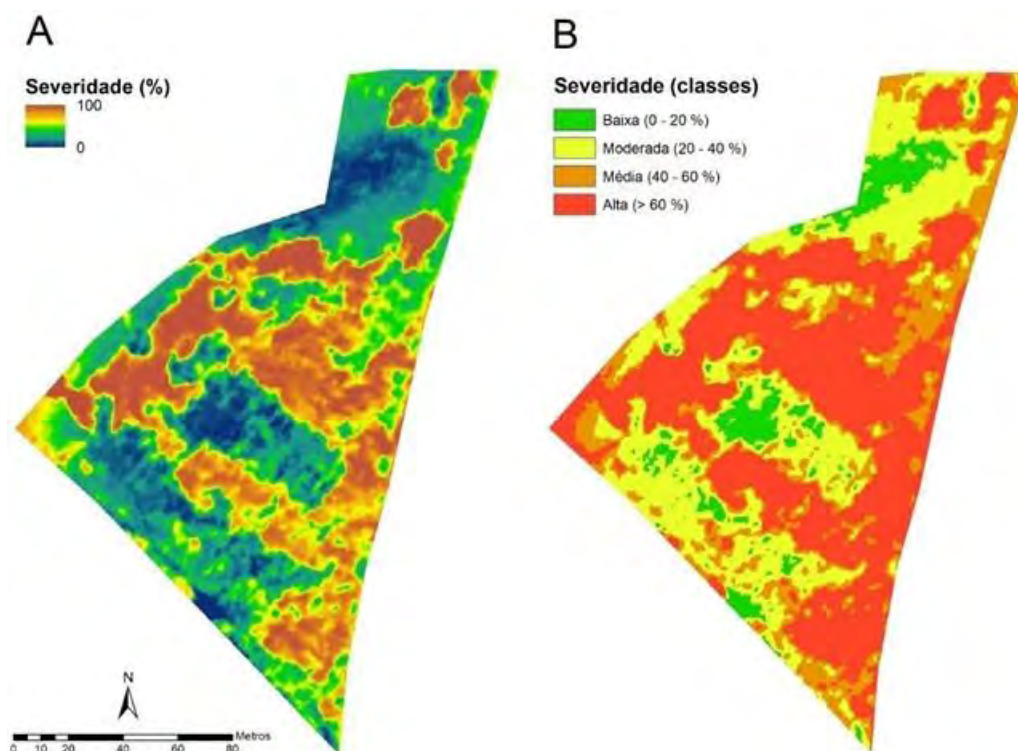


FIGURA 3. (a) Mapa ilustrando a severidade percentual do acamamento resultante da equação 1; (b) Mapa de classes da severidade do acamamento obtido através da reclassificação de dados.

Com base na Tabela 2, é possível identificar que grande parte da área (44,74%) apresenta alta severidade de acamamento, e que as plantas contidas nestas zonas apresentam uma redução igual ou superior a 60% de sua altura. Tal fato pode caracterizar um significativo prejuízo econômico ou até mesmo um sinistro em lavouras asseguradas, pois compromete a eficiência das operações de colheita mecânica dada a incapacidade dos implementos em processar esse tipo de situação (BRACHTVOGEL et al. 2012).

TABELA 2. Classes de severidade utilizadas para reclassificação do mapa de severidade. **Severity classes used to reclassify the gravity map.**

Classes de Severidade	Severidade (%)	Área absoluta (m <sup>2</sup> )	Área relativa (%)
Baixa	0-20	255,15	6,66
Moderada	20-40	1097,80	28,67
Média	40-60	763,08	19,93
Alta	>60	1713,02	44,74
<b>Total</b>	-	<b>3829,05</b>	<b>100</b>

De forma semelhante, a classificação não supervisionada resultou em uma imagem binária, segmentando o índice de severidade de acamamento em duas classes: área acamada (45,78%) e não acamada (54,22%), como mostra a Figura 4. Por se tratar de uma forma simplificada e que fornece um resultado mais objetivo, a classificação não supervisionada pode ser empregada quando se deseja mapear as áreas acometidas pelo acamamento sem a segmentação por classes. No entanto, esse método oferece um resultado menos detalhado, e tende a classificar como acamada, apenas áreas com severidade média e alta de acamamento.

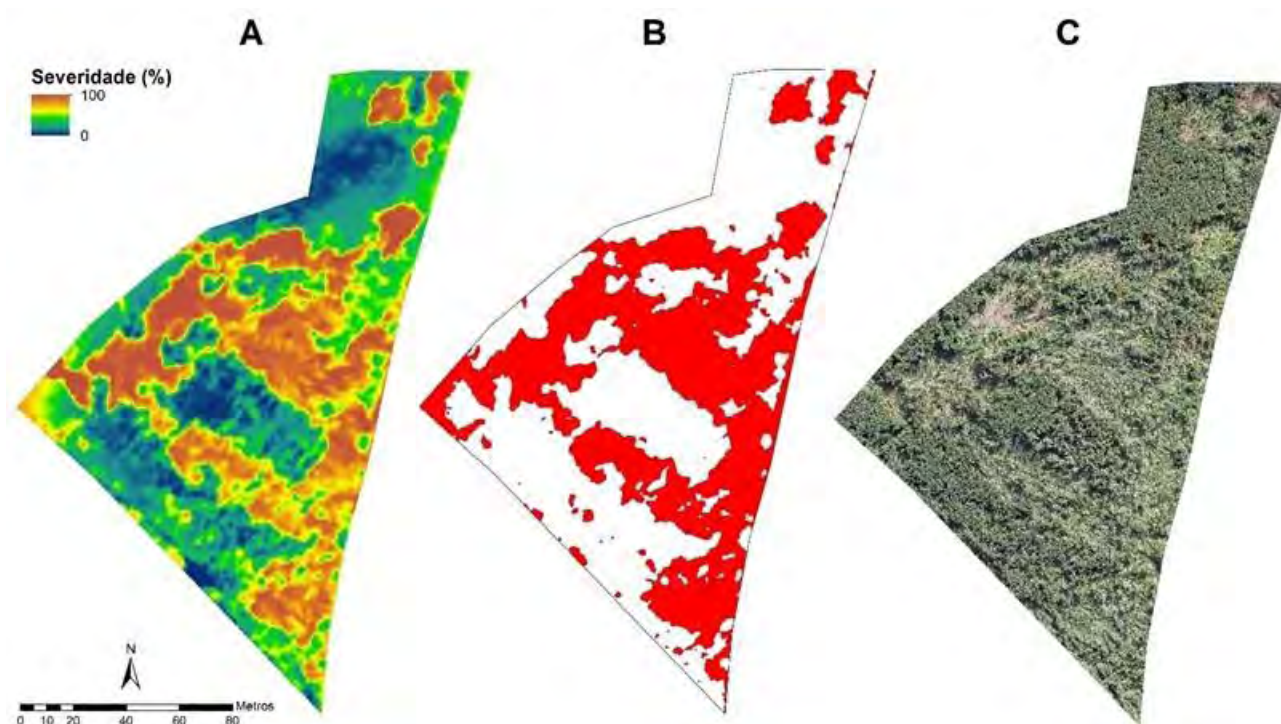


FIGURA 4. (a) Mapa ilustrando a severidade percentual do acamamento resultante da equação 1; (b) Mapa ilustrando áreas acamadas classificadas da através do método *isocluster*; (c) Ortomosaico obtido através das imagens aéreas.

## CONCLUSÃO

A facilidade em obter as imagens aéreas com a utilização de RPA e a metodologia empregada permitiu, através do processamento das imagens, a caracterização e quantificação das áreas que apresentaram acamamento devido a intempéries climáticas. O presente trabalho amplia a possibilidade para novas abordagem e estudos futuros com enfoque em estimar com maior assertividade as perdas causadas pelo acamamento e fornecer informações relevantes ao tomador de decisões com relação ao desenvolvimento da cultura e sua produtividade final.

## REFERÊNCIAS

- BENDIG, J.; BOLTEN, A.; BARETH, G. UAV-based Imaging for Multi-Temporal, very high Resolution Crop Surface Models to monitor Crop Growth Variability. **Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation**, n. 6, p. 551–562, 2013.
- BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; ABREU, M.L.; BICUDO, S.J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica**, v.6, n.1, p.75-83, 2012.
- CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; PIVETTA, L.A.; STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.139-146, 2011.
- FLARESSO, J.A.; GROSS, C.D.; ALMEIDA, E.X. Cultivares de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1608-1615, 2000.
- GEIPEL, J.; LINK, J.; CLAUPEIN, W. Combined Spectral and Spatial Modeling of Corn Yield Based on Aerial Images and Crop Surface Models Acquired with an Unmanned Aircraft System. **Remote Sensing**, v. 6, n. 11, p. 10335–10355, 2014.
- GOMES, L.S.; BRANDÃO, A.M.; BRITO C.H; MORAES, D.F. e LOPES, M.T.G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento de colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n. 2: p.140-145, 2010.

KANG, M. S.; DIN, A. K.; ZHANG, Y. Combining Ability for Rind Puncture Resistance in Maize. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p.368-371, 1999.

MOLIN, J. P.; COLAÇO, A. F.; AMARAL, L. R. do. **Agricultura de Precisão**. 1 ed. Piracicaba: Oficina de Textos, 224 p., 2015.

SANKARAN, S.; KHOT, L. R.; ESPINOZA, C. Z.; JAROLMASJED, S.; SATHUVALLI, V. R.; VANDEMARK, G. J.; MIKLAS, P. N.; CARTER, A. H.; PUMPHREY, M. O.; KNOWLES, R. R. N.; PAVEK, M. J. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. **European Journal of Agronomy**, v. 70, p. 112–123, 2015.

SHI, Y.; THOMASSON, J. A.; MURRAY, S. C.; PUGH, N. A.; ROONEY, W. L.; SHAFIAN, S.; RAJAN, N.; ROUZE, G.; MORGAN, C. L. S.; NEELY, H. L.; RANA, A.; BAGAVATHIANNAN, M. V.; HENRICKSON, J.; BOWDEN, E.; VALASEK, J.; OLSENHOLLER, J.; BISHOP, M. P.; SHERIDAN, R.; PUTMAN, E. B.; POPESCU, S.; BURKS, T.; COPE, D.; IBRAHIM, A.; MCCUTCHEN, B. F.; BALTENSBERGER, D. D.; AVANT, R. V.; VIDRINE, M.; YANG, C.; YANG, C. Unmanned Aerial Vehicles for High-Throughput Phenotyping and Agronomic Research. **PloS one**, v. 11, n. 7, p. e0159781, 2016.

## **RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE VARIEDADES DE MILHO SOB ALTO E BAIXO NITROGÊNIO**

**MARCELA S. FLORES<sup>1</sup>, WILLIAN M. PASCHOALETE<sup>1</sup>, ALEX R. ZANIN<sup>1</sup>, FÁBIO H. R. BAIO<sup>2</sup>,  
PAULO E. TEODORO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A agricultura de precisão é um conjunto de técnicas que podem auxiliar no monitoramento do desempenho agronômico do milho por meio da obtenção de índices de vegetação. O objetivo desse trabalho foi estudar a relação entre índices de vegetação, altura de plantas, teor de nitrogênio (N) foliar e produtividade de grãos de três variedades de milho, cultivadas sob alto e baixo N em cobertura. O experimento foi conduzido na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (Fundação Chapadão), localizada no município de Chapadão do Sul, durante a safra 2017/2018. Foi adotado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, disposto no esquema de parcelas subdivididas 3x2. O primeiro fator (disposto nas parcelas) correspondeu a três variedades de polinização aberta de milho (BRS 4103, BRS Gorotuba e SCS 154), enquanto o segundo fator (subparcelas) compreendeu a duas doses de N aplicadas em cobertura (80 e 160 kg<sup>-1</sup>). Houve interação entre variedades x N para todas as variáveis avaliadas. Os índices de vegetação nas variedades de milho foram influenciados pela dose de N aplicada em cobertura. Os índices NDVI e SAVI apresentam maior correlação com a altura de plantas de milho, enquanto o NDRE apresenta maior associação com o teor de N foliar.

**PALAVRAS-CHAVE:** NDVI, sensoriamento reomoto, *Zea mays*.

### **RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION INDEXES AND AGRONOMIC PERFORMANCE OF HIGH AND LOW NITROGEN MAIZE VARIETIES**

**ABSTRACT:** Precision agriculture is a set of techniques that can aid in monitoring the agronomic performance of maize by obtaining vegetation indices. The objective of this work was to study the relationship between vegetation indices, plant height, leaf nitrogen content (N) and grain yield of three maize varieties, cultivated under high and low N under cover. The experiment was conducted at the Chapadão Foundation for Agricultural Research in Chapadão, located in the municipality of Chapadão do Sul, during the 2017/2018 crop season. A randomized complete block design with four replications was used, arranged in the 3x2 split-plot scheme. The first factor (arranged in the plots) corresponded to three open pollinated maize varieties (BRS 4103, BRS Gorotuba and SCS 154), while the second factor (subplots) comprised two N rates applied in cover (80 and 160 kg<sup>-1</sup>). There was interaction among varieties x N for all evaluated variables. The vegetation indices in the maize varieties were influenced by the dose of N applied in cover. The NDVI and SAVI indices present a higher correlation with the height of maize plants, while the NDRE has a higher association with the N content

**KEYWORDS:** NDVI, reomoto sensing, *Zea mays*.

**INTRODUÇÃO:** O milho (*Zea mays* L.) é o principal cereal produzido no mundo, com uma produção de 981 milhões de toneladas de grãos em 2014. A produção brasileira de milho na safra 2016/17 atingiu um volume de 79,9 milhões de toneladas, das quais cerca de 48 milhões de toneladas foram produzidas na segunda safra, com uma produtividade média de 5.255 kg ha<sup>-1</sup>. A área total sob o milho no país é de 17,6 milhões de hectares. Para o Estado do Mato Grosso do Sul, a produção na safra 2016/17 foi de cerca de 9,8

milhões de toneladas com uma área plantada de aproximadamente 1,81 milhão de hectares, o que a caracterizou como o terceiro maior produtor nacional (CONAB, 2018). Atualmente, a fonte de germoplasma disponível para utilização dos produtores de milho engloba híbridos simples, duplos, triplos e variedades de polinização aberta. A utilização desses materiais depende do nível tecnológico de produção e dos riscos climáticos da região de cultivo. Na região dos Chapadões, situada no cerrado do Centro-Oeste brasileiro, o milho é cultivado predominantemente na segunda safra, após a colheita da soja ou algodão. A instabilidade climática dessa região faz com que o uso de variedades de milho seja alternativa interessante para os produtores da região, uma vez que estes materiais possuem alta rusticidade e o custo para aquisição das sementes é menor quando comparado aos dos híbridos. Atualmente, uma forma de monitorar a lavoura de forma contínua ao longo do cultivo é empregar a agricultura de precisão (AP). A AP é o conjunto de técnicas que possibilita o gerenciamento específico dos cultivos e possibilita a otimização dos gastos da produção agrícola por meio do conhecimento da variabilidade dos diferentes fatores de produção, como fertilidade do solo, incidência de pragas e doenças e condição fisiológica da planta (MOLIN, 2015). Nesse aspecto, uma das principais técnicas utilizadas pela AP é o sensoriamento remoto (SR), que se caracteriza pela obtenção de informações sobre um tratamento sem o contato direto com o objeto, área ou fenômeno em questão. Para essa caracterização são utilizados índices de vegetação (IVs) que são obtidos pela relação entre diferentes comprimentos de ondas captados por um sensor. Alguns IVs que apresentam alta correlação com a altura de plantas e teor de nitrogênio (N) foliar podem ser obtidos a partir dos dados coletados por sensores ópticos ativos. Por exemplo, o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) está altamente correlacionado à altura da planta quando comparado com os índices de vegetação de borda vermelha (IV Red Edge), enquanto a Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) está correlacionada com o conteúdo (RAPER; VARCO, 2015). Baio et al. (2018) utilizaram diferentes índices de vegetação para estimar a taxa de aplicação e a deposição foliar em milho e, os resultados obtidos permitirão melhor planejamento de diversas operações agrícolas. Apesar de existirem diversos trabalhos na literatura relacionando índices de vegetação e a produtividade. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a relação entre índices de vegetação, altura de plantas, teor de N foliar e produtividade de grãos de três variedades de milho, cultivadas sob alto e baixo N.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (Fundação Chapadão), localizada no município de Chapadão do Sul (18°41'33''S, 52°40'45''W, com 810 m de altitude), Mato Grosso do Sul. O clima da região é caracterizado como Tropical de Savana (Aw) e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso. Foi adotado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, disposto no esquema de parcelas subdividas 3x2. O primeiro fator (disposto nas parcelas) correspondeu a três variedades de polinização aberta de milho (BRS 4103, BRS Gorotuba e SCS 154), enquanto o segundo fator (subparcelas) compreendeu a duas doses de N aplicadas em cobertura (80 e 160 kg<sup>-1</sup>). O experimento foi implantado em novembro de 2017 utilizando espaçamento entre linhas de 0,45 m e uma densidade de 2,5 plantas m<sup>-1</sup>. Cada unidade experimental (subparcela) foi composta por cinco linhas com 5,5 m de comprimento cada. Na implantação do experimento foi utilizada dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> do NPK (04-20-20). Quando as plantas se encontravam em estágio V4, foi aplicado 80 kg ha<sup>-1</sup> de N de cobertura em área total, utilizando como fonte a uréia. Nos demais tratamentos que receberam a alta dose de N (160 kg ha<sup>-1</sup>) foi realizada outra adubação de cobertura com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N no estágio V6. Quando as plantas se encontravam em florescimento pleno, foram mensurados o teor de N foliar, altura de plantas e índices de vegetação. Para análise de N foliar, foram coletados o terço médio de cinco folhas de acordo com recomendação e procedimentos descritos em Malavolta et al. (1989). Os índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI foram com a utilização do Vant (veículo aéreo não tripulado) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Sensefly Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm), possuindo um sensor de luminosidade permitindo a calibração dos valores adquiridos. O levantamento aéreo foi realizado com o uso da tecnologia RTK (*Real Time Kinematics*), possibilitando estimar a posição da câmera no instante de coleta da imagem com acurácia de 0,025 m. O sobrevoo sobre a área foi realizado à 100 m de altitude local, permitindo uma resolução espacial nas imagens de 0,120 m. As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A produtividade de grãos foi obtida pela colheita das fileiras centrais de cada parcela e extrapolada para kg ha<sup>-1</sup>, após correção da umidade dos grãos para 13%. Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F) para verificar a presença de interação entre variedades x doses de N e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Posteriormente, foi realizada análise multivariada de variáveis canônicas para

verificar a inter-relação entre os tratamentos utilizados e as variáveis avaliadas. Essas análises foram realizadas com software Rbio (BHERING, 2017). Os mapas de IV e mapas de prescrição foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 1 demonstra os valores de F calculado para as variáveis nitrogênio foliar (NF), altura de plantas (AP), índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI e produtividade de grãos (PROD). O efeito de variedades (V), nitrogênio em cobertura (N) e a interação VxN foi significativa ( $p < 0,05$ ) para todas as variáveis avaliadas. As estimativas dos coeficientes de variação (CV) obtidas foram inferiores a 10% para todas as variáveis avaliadas e denotam alta precisão experimental de acordo com os critérios estabelecidos por Pimentel-Gomes (2009). É importante destacar a elevada precisão experimental obtida pelos índices de vegetação, cujas estimativas de CV foram inferiores a 2%, sendo inferiores aos resultados relatados por Baio et al. (2018), que ao avaliarem os índices de vegetação NDVI e NDRE em milho obtiveram estimativas entre 8 e 12%. Esses resultados demonstram que a utilização de índices de vegetação para quantificar o desempenho agrônomo do milho pode ser uma alternativa interessante, pois a precisão é alta.

TABELA 1. Valores de F calculado para as variáveis nitrogênio foliar (NF), altura de plantas (AP), índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI e produtividade de grãos (PROD) avaliados em três variedades de polinização aberta de milho cultivadas sob alta ( $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e baixa ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dose de nitrogênio em cobertura.

Fonte de variação	NF	AP	NDVI	NDRE	SAVI	PROD
Variedades (V)	7,05*	15,05*	67,15*	87,30*	233,49*	7,09*
Nitrogênio em cobertura (N)	14,35*	6,07*	5,82*	138,79*	6,25*	44,54*
VxN	6,44*	7,01*	8,79*	23,95*	13,59*	10,46
Coeficiente de variação parcela (%)	5,46	7,50	0,39	1,00	0,93	9,26
Coeficiente de variação (%) subparcela (%)	3,42	9,90	0,40	1,05	1,35	8,62

\*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 2 demonstra o desdobramento da interação significativa entre variedades de polinização aberta em milho e doses de N em cobertura para as variáveis avaliadas. É possível verificar que o aumento da dose de N em cobertura promoveu aumento da concentração de N foliar e da produtividade de grãos, independente da variedade de milho avaliada. Resultados similares foram encontrados por Majerowicz et al. (2002) Machado et al. (2003) e Borges et al. (2006), que observaram resposta de variedades de milho a alta dose de N aplicada em cobertura.

TABELA 2. Desdobramento da interação significativa entre doses de nitrogênio em cobertura e variedades de polinização aberta de milho para as variáveis nitrogênio foliar (NF), altura de plantas (AP), índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI e produtividade de grãos (PROD).

N em cobertura	BRS 4103	BRS Gorotuba	SCS 154
N foliar (%)			
Alto	27,63 aB	30,83 aA	28,49 aB
Baixo	25,65 bB	28,31 bA	28,12 aA
Altura de plantas (m)			
Alto	2,12 aA	1,90 aB	2,15 aA
Baixo	1,75 bC	1,85 aB	1,90 bA
NDVI			
Alto	0,81aB	0,80 aC	0,82 aA
Baixo	0,80 bB	0,80 aB	0,81 bA
NDRE			
Alto	0,33 aA	0,31 aB	0,33 aA
Baixo	0,30 bB	0,28 bB	0,32 aA
SAVI			
Alto	0,63 aB	0,59 aC	0,66 aA
Baixo	0,61 bB	0,60 aB	0,65 aA
Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )			
Alto	11095,53 aB	13207,12 aA	11136,43 aB
Baixo	8605,07 bB	9829,30 bA	8314,57 b

letras iguais minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas variedades BRS 4103 e SCS 154, a altura de plantas foi maior quando aplicou-se a maior dose de N em cobertura (Tabela 2). Fato similar ocorreu com o índice NDVI, onde essas variáveis responderam com incremento desta variável em relação a maior dose de N. Contudo, para a variedade BRS Gorotuba não houve diferença no teor de N foliar e NDVI em relação as doses de N aplicadas em cobertura. Esses resultados sugerem uma associação linear positiva entre altura de plantas e NDVI e corroboram os obtidos por Baio et al. (2018) que verificaram alta correlação linear entre NDVI e altura de plantas em milho. Com relação ao NDRE, as doses de N aplicadas resultaram em diferenças nas variedades BRS 4103 e BRS Gorotuba, demonstrando uma forte associação com os resultados obtidos para o teor de N. É importante destacar que houve diferenças entre as variedades para todos os índices de vegetação avaliados. Esses resultados reforçam a possibilidade do emprego da agricultura de precisão em programas de melhoramento de milho, pois os índices de vegetação avaliados foram capazes de distinguir o comportamento espectral de cada variedade avaliada.

Para investigar a associação simultânea entre os tratamentos e as variáveis avaliadas foi utilizada a análise de variáveis canônicas. Essa técnica é análoga à análise de componentes principais, mas deve ser preferida quando o estudo usa um delineamento experimental (repetições). Cada variável canônica é uma combinação linear das variáveis usadas. Para representar os escores em um gráfico bidimensional, a porcentagem de variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas deve ser maior que 80,0% (MINGOTI, 2005). Neste trabalho, a variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas foi de 88,0%, permitindo sua interpretação precisa.

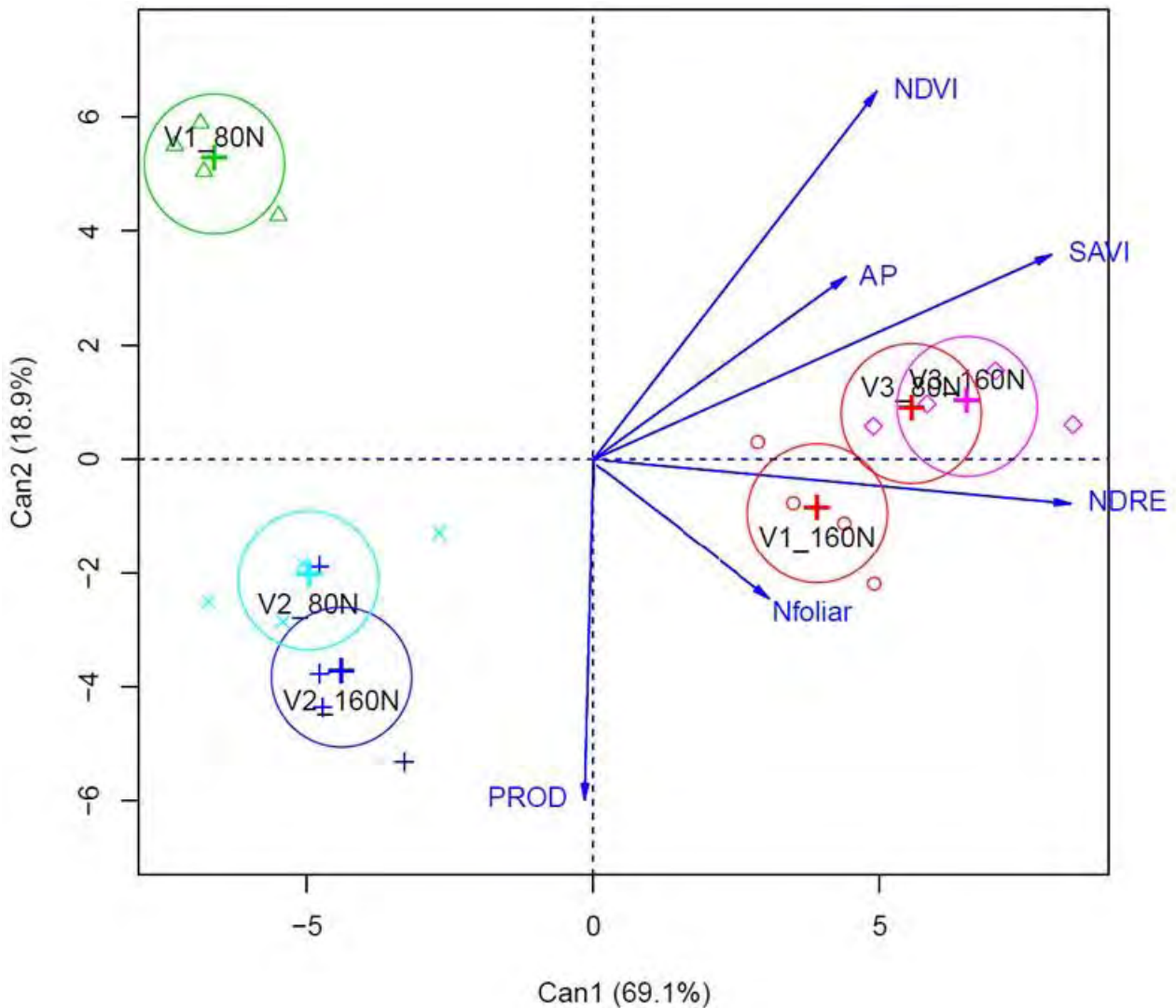


FIGURA 1. Análise de variáveis canônicas para demonstrar a associação entre os tratamentos e as variáveis avaliadas. V1: BRS 4103; V2: BRS Gorotuba; V3: SCS 154; AP: altura de plantas; PROD: produtividade de grãos.

A análise de variáveis canônicas demonstra, que a variedade BRS Gorotuba foi a mais produtiva e com maior teor de N foliar, independente da dose de N. Houve uma elevada associação linear entre a altura de plantas e os índices de vegetação usados nesse trabalho, pois o ângulo entre os vetores destas variáveis foi inferior a 90°. Por outro lado, o teor de N foliar está altamente correlacionado com a produtividade de grãos, devido a proximidade entre seus vetores e o índice de vegetação que mais se correlaciona com essas variáveis foi o NDRE, devido o ângulo entre seus vetores ser menor que 90°. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Raper e Varco (2015), que observaram que o NDVI está mais associado à altura de plantas, enquanto o NDRE está associado ao teor de N foliar, sendo o índice dentre os avaliados que possui maior relação com a produtividade de grãos. Dessa forma, a variabilidade espacial desse índice foi demonstrada na Figura 2. É possível verificar que a aplicação de N resultou em maiores valores do índice, independente da variedade avaliada.



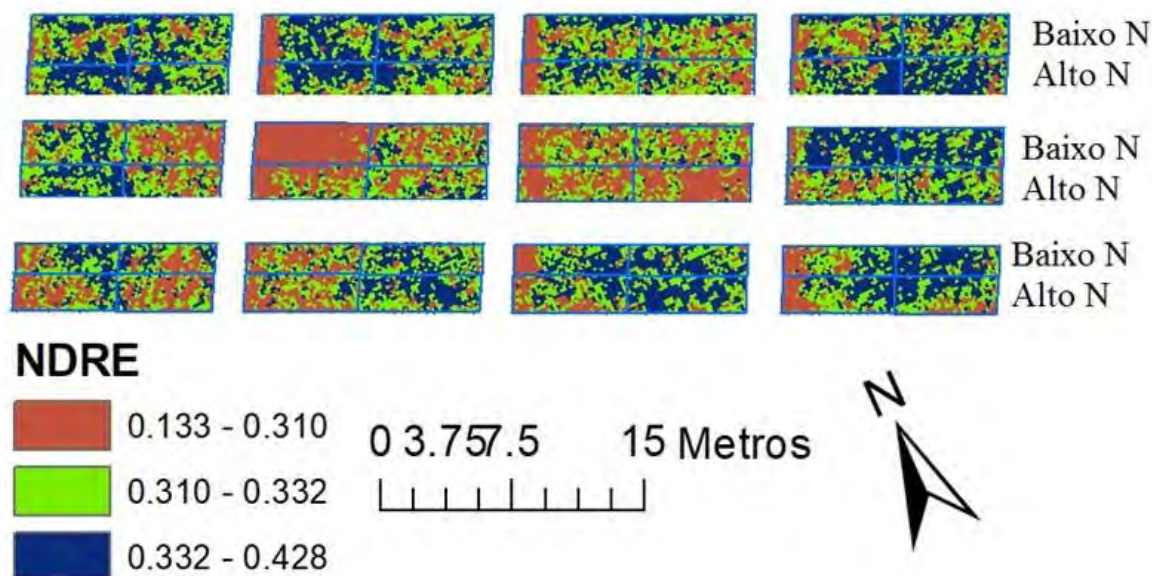


FIGURA 2. Variabilidade espacial do NDRE avaliado em três variedades de milho cultivadas sobre alto e baixa dose de N aplicadas em cobertura.

**CONCLUSÃO:** Os índices de vegetação nas diferentes variedades de milho foram influenciados pela dose de N aplicada em cobertura. Os índices NDVI e SAVI apresentam maior correlação com a altura de plantas de milho, enquanto o NDRE apresenta maior associação com o teor de N foliar.

## REFERÊNCIAS

- BHERING, L.L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.187-190, 2017.
- BAIO, F.H.R.; SILVA, E.E.; SOUZA, M.A.V.; ZANIN, A.R.A.; TEODORO, P.E. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1-15, 2018.
- BORGES, E.A.; FERNADES, M.S.; LOSS, A.; SILVA, E.V.; SOUZA, S.R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Caatinga**, v.19, n.3, p.278-286, 2006.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, fevereiro, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra>>. Acesso em 15 de abril de 2018.
- MACHADO, A.T.; MACHADO, C.T.T.; MIRANDA, G.V.; COELHO, C.H.M.; GUIMARÃES, L.J.M. **Resposta de variedades de milho a níveis e fontes de nitrogênio**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Cerrados, 2003. 27p.
- MAJEROWICZ, n.; PEREIRA, J.M.S.; MEDICI, L.O.; BISON, O.; PEREIRA, M.B.; SANTOS JUNIOR, U.M.. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira Botânica**, V.25, n.2, p.129-136, 2002.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201p.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.
- RAPER, T.B.; VARCO, J.J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v.56, p.345-353, 2015.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

## RELAÇÕES ENTRE NUTRIENTES, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E REFLECTÂNCIA DO SOLO NAS FAIXAS DO VERMELHO E INFRAVERMELHO

TÚLIO H.D. MARTINS<sup>1</sup>, LUIZ R.T. FRANÇA<sup>2</sup>, FERNANDO H.Q. SOUZA<sup>3</sup>, SUZANY S. DE MOURA<sup>3</sup>, FÁBIO H.R. BAIO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 35626300 - tulio\_dresch@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., CPCS, UFMS, Chapadão do Sul – MS

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Para uma possível agilidade nas análises de solo, a espectroscopia de reflectância, usada no estudo dos atributos do solo, pode facilitar os trabalhos de levantamento e mapeamento de solos em grandes áreas. O objetivo do presente trabalho foi utilizar informações de Condutividade Elétrica aparente (CEa), e da reflectância o solo nas faixas do Infravermelho e Vermelho, para analisar suas relações com os nutrientes do solo e a produtividade na cultura da soja. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2016/2017, na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, onde o solo é classificado como Latossolo Vermelho (textura média). No local foram definidos 33 pontos amostrais, nos quais foram coletadas amostras de solo para análise da fertilidade, valores de condutividade elétrica do solo, reflectância no infravermelho e vermelho. As correlações analisadas foram, condutividade elétrica aparente do solo versus CTC; Infravermelho versus K; Infravermelho versus P resina; vermelho versus B. Apesar de se obterem correlações positivas entre as variáveis, as interações foram insatisfatórias ( $r$  abaixo de 60%), para se definir uma resposta segura, sobre as concentrações no solo dos elementos estudados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de Solo, Nutrientes, Veris P4000.

### RELATIONS BETWEEN SOIL NUTRIENTS, ELECTRICAL CONDUCTIVITY, AND REFLECTANCE OF THE RED AND INFRARED THE WAVELENGTHS

**ABSTRACT:** For possible agility in chemical analyzes of soil, the reflectance spectroscopy, used in the study of soil attributes, can facilitate the work of survey and mapping of soils in large areas. The objective of this work was to use information of electrical conductivity (EC), and of the wavelengths of infrared and red, to analyze their relations with soil nutrients and yield in the soybean crop. The experiment was conducted in the agricultural year 2016/2017, in the experimental area of the Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, where the soil is classified as Oxisol (medium texture). There were defined 33 sampling points. Soil samples were collected for analysis of fertility. There were measured values of electrical conductivity of the soil, red and infrared reflectance. The following correlations were analyzed: the apparent electrical conductivity of the soil versus CTC; Infrared versus K; Infrared versus P; and RED versus B. Despite obtaining positive correlations among the variables, the interactions were unsatisfactory ( $r$  below 60%), to set up a secure response, on the concentrations in the soil of the elements studied.

**KEYWORDS:** Soil Analysis, Nutrients, Veris P4000.

**INTRODUÇÃO:** No Brasil, desde a década de 80, pesquisadores vem estudando o comportamento espectral de solos, sendo considerada uma linha de pesquisa recente. Pesquisas adicionais são necessárias para se alcançar um melhor entendimento da interação entre os diferentes componentes do solo e a energia eletromagnética (DALMOLIN et al., 2005). Estima-se que no ano de 2015 no Brasil foram realizadas 1,2 milhão de análises básicas de solo, 358 mil análises de micronutrientes e 310 mil de granulometria (APTA, 2016). Estas são análises, que demoram alguns dias para obter os resultados, porém, o manejo das culturas e do solo na agricultura moderna requer meios rápidos e de baixo custo, para aumentar a rentabilidade das culturas (BRONSON et al., 2005; SERRANO et al., 2010). Com isso, as análises espectrais podem fornecer solução às futuras análises de solo, na avaliação de número elevado de amostras como necessário nas grandes áreas, utilizando maior densidade de amostras, de maneira rápida, econômica e sem impactar o meio ambiente (NANNI e DEMATTÊ, 2006). Para uma possível agilidade nas análises de solo, a espectroscopia de reflectância, usada no estudo dos atributos do solo, é uma ferramenta da agricultura de precisão, que pode facilitar os trabalhos de levantamento e mapeamento de solos em grandes áreas, predições de erosão e práticas de adubações culturais para um manejo mais preciso (STEMBERG et al., 2010), podendo atingir grandes e pequenos produtores agrícolas (DEMATTÊ et al., 2004). Os resultados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) comparando as variações nos teores de argila e umidade em Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa para arenosa/média, não obtiveram resultados satisfatórios, com isso indica que o sistema ainda deve evoluir (MOLIN & RABELO, 2011). Valente et al. (2012) atribuíram a ocorrência de baixas relações entre a CEa e a textura como uma função da baixa variabilidade espacial do teor de argila da área investigada. O objetivo do presente trabalho foi utilizar informações de (CEa), e da reflectância nos comprimentos de onda do Infravermelho (NIR) e Vermelho (RED), para analisar suas relações com os nutrientes do solo e a produtividade na cultura da soja. As análises estatísticas foram realizadas pelos programas SigmaPlot e Rbio.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Este trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2016/2017, na área experimental de 1,33 ha da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, situada nas coordenadas geográficas 18°48'46" de latitude sul e 52°36'03" de longitude oeste e com altitude média de 820 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho (textura média). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 33 repetições. Alocaram-se trinta e três pontos amostrais aleatoriamente no talhão, e com distâncias amostrais variadas. A coleta das variáveis CEa, RED e NIR foi realizada com o equipamento Veris modelo P4000®. A navegação até os pontos amostrais foi possível com a utilização do GNSS Trimble Nomad®, utilizando o programa de amostragem a campo Farm Works Mobile® da mesma empresa. A coleta das amostras de solo a 0-0,20 m foi realizada contendo dez sub-amostras aleatórias, em um raio de 1 m ao redor de cada ponto da malha amostral descrita anteriormente. A semeadura da soja foi realizada em 16 de novembro de 2016 com a cultivar Desafio 8473, a qual possui hábito de crescimento indeterminado e ciclo médio de 110 dias, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e com uma população aproximada de 360.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os mapas de condutividade elétrica aparente do solo, infravermelho e vermelho, foram elaborados com o auxílio do programa SStoolbox®. Foram analisados todos os elementos, macro e micronutrientes presentes na análise dos 33 pontos amostrais de solo. A relação entre as variáveis foi analisada através da análise de correlação e do ajuste de regressão utilizando-se o programa Sigmaplot. Foram elaboradas as relações entre as variáveis condutividade elétrica aparente do solo e CTC; Infravermelho e K; Infravermelho e P resina; RED e B. A produtividade média foi determinada manualmente em cada ponto amostral, colhendo-se uma área ao redor do ponto de 4,05 m<sup>2</sup>. A produtividade foi corrigida considerando a umidade de 14%. Também foi determinado o peso médio da massa de 100 grãos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observou-se relação positiva entre a produtividade da cultura da soja (Prod) e a banda vermelha (RED) estudada (Figura 1). A banda NIR apresentou maior relação negativa com o teor de argila do solo do que a CEa. A CEa apresentou relação negativa com o teor de K, P, do solo, e positiva com o teor de argila e CTC. Todavia, a banda do infravermelho (NIR) apresentou relação positiva maior com o teor de B no solo do que a Red. A condutividade elétrica aparente do solo e o infravermelho (NIR) tiveram correlações negativas com a produtividade da cultura da soja. De acordo com os resultados de Peralta et al. (2013), o teor de K presente na análise de solo, não obteve correlação entre os dados da condutividade elétrica em nenhuma das áreas experimentais, o que pode ser explicado pela baixa participação do elemento na CTC do solo. Terra (2011) estudando a espectroscopia de reflectância do vermelho visível ao infravermelho médio, aplicado aos estudos quantitativos e qualitativos do solo, concluiu que os micronutrientes Fe, B e Zn obtiveram erros de predição menor, obtendo assim uma relação positiva

com os dados espectrais de vermelho visível (Vis) e infravermelho próximo (Nir). Os teores de CTC encontrados no solo nos 33 pontos variaram de 8,8 a 10,0 cmolc dm<sup>-3</sup>. As correlações mais significativas entre as variáveis do solo, CEa e NIR estão apresentadas na Figura 2. O resultado da correlação entre CTC e CE, obteve coeficientes de correlação r=0,41, sendo possível o ajuste de equação linear (CTC = 7,9510 + 0,2689.CEa).

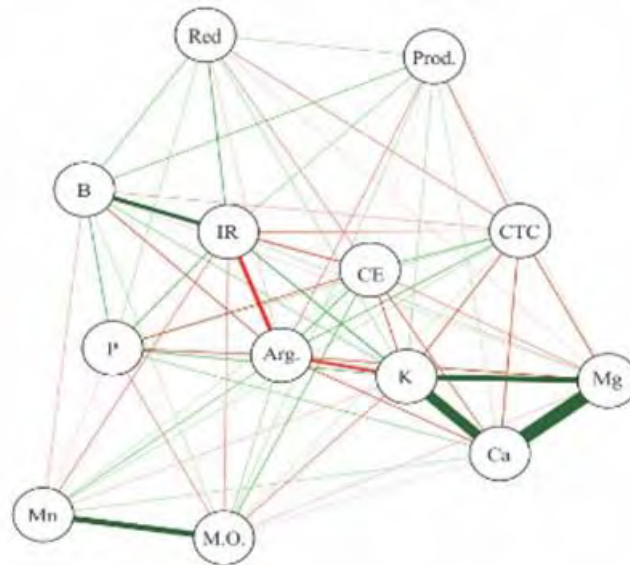


FIGURA 1. Rede de correlações entre as variáveis do solo e produtividade da cultura da soja.

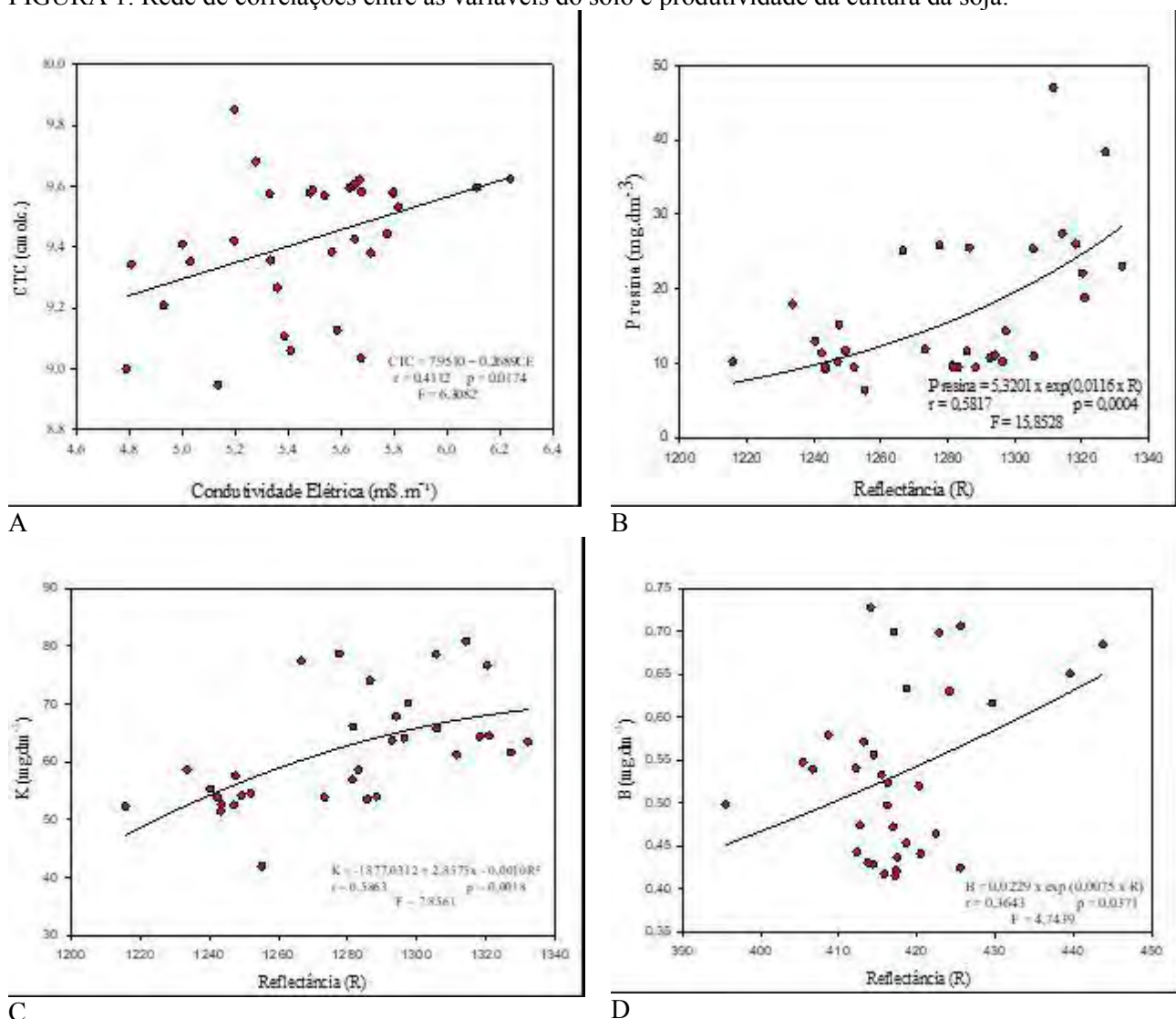


FIGURA 2. Correlações entre a CTC e CEa(A), P e NIR (B), K e NIR (C), e B e NIR (D).

Os resultados das análises de P resina, oscilaram entre 0 a 50 mg.dm<sup>-3</sup>. Quando correlacionada com refletância NIR, obteve coeficientes  $r = 0,5817$ , sendo ajustado um modelo exponencial ( $P \text{ resina} = 5,3201 \times \exp(0,0116 \times R)$ ) (Figura 2 B). Os teores de Potássio (K) obtidos na análise química de solo nos 33 pontos, variaram entre 30 e 90 mg.dm<sup>-3</sup> a qual foi correlacionada com a refletância NIR, obteve coeficiente  $r=0,5863$ , sendo ajustada uma equação equação de segundo grau ( $K = -1877,0312 + 2,8575x - 0,0010R^2$ ), conforme apresentado na Figura 2 C. Os teores de Boro (B) obtidos na análise química do solo, variaram entre 0,35 e 0,75 mg dm<sup>-3</sup>, a ocorrendo correlação com a reflectância RED, obtendo coeficiente  $r = 0,3643$ , com ajuste de modelo exponencial ( $B = 0,0229 \times \exp(0,0075 \times R)$ ), Figura 2 D. A Figura 3 apresenta uma representação da variabilidade espacial das variáveis com maior correlação. Há uma similaridade da variabilidade espacial entre os pontos em que houve maior CEa, e os pontos com maior CTC. A Figura 3 apresenta a tendência de correlações negativas entre a condutividade elétrica aparente do solo e CTC, com a produtividade da soja. Assim, possivelmente a produtividade da soja não foi comprometida pelos teores mais baixos das variáveis do solo em função desses elementos apresentarem teores mínimos adequados à produtividade da cultura.

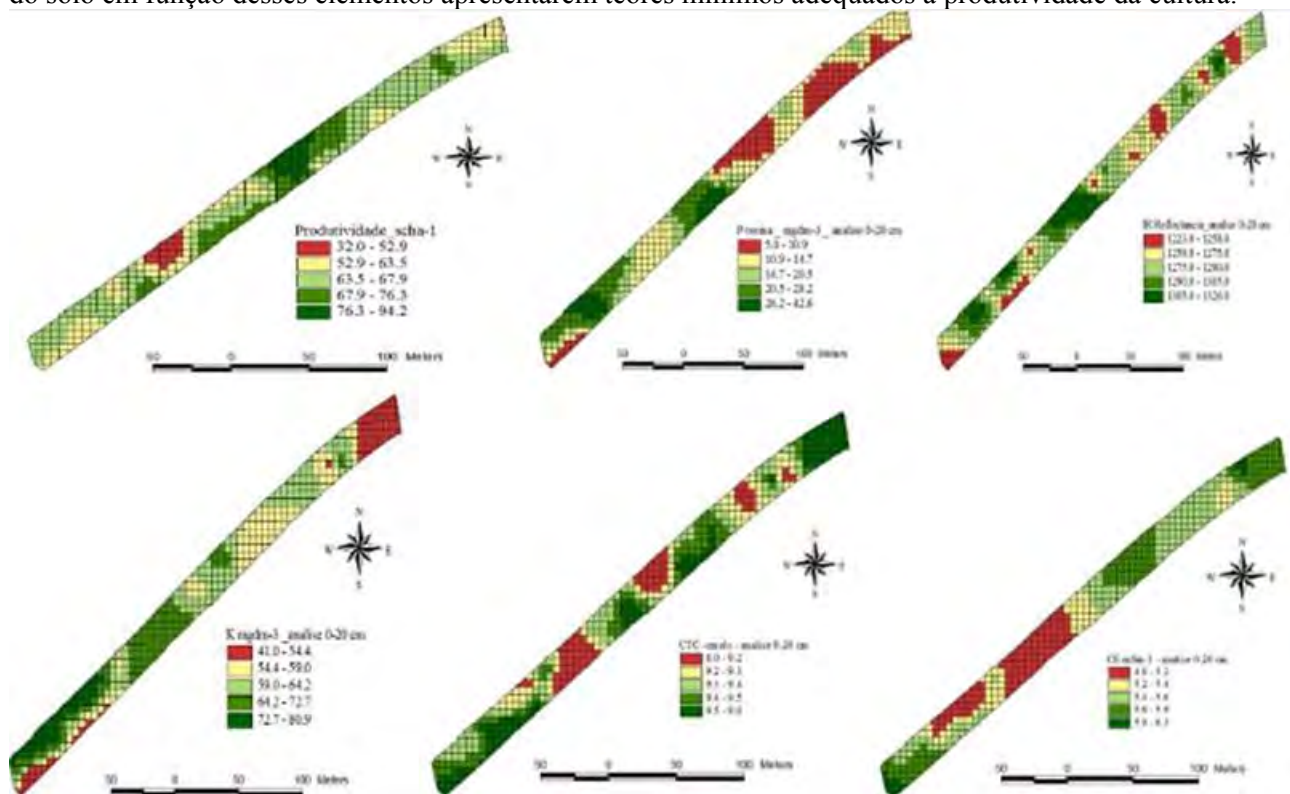


FIGURA 3. Mapas da representação da variabilidade espacial da Produtividade, P, NIR, K, CTC e CEa.

**CONCLUSÃO:** Os coeficientes de correlação entre reflectância do solo nas faixas do vermelho e infravermelho, não foram suficientes para permitir a substituição das análises químicas convencionais do solo, para as condições do solo estudado. A variabilidade da CEa do solo apresentou relação com a variabilidade da CTC, argila e MO.

## REFERÊNCIAS

- AGENCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA AO AGRONEGOCIO. Disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/noticias.php?id=4842>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.
- BRONSON, K.; BOOKER, J.; OFFICER, S.; LASCANO, R.; MAAS, S.; SEARCY, S., BOOKER, J. - Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U.S. Southern High Plains. **Precision Agriculture**, v.6, p.297–311, 2005.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E. & DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.
- DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C.; FIORIO, P.R. & NANNI, M.R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, v.121, n.1-2, p. 95-112, 2004.

- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v.31,n.1, p. 90-10, 2011.
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Spectral reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 393-407, 2006.
- PERALTA, N.R.; COSTA, J.L.; BALZARINI, M.; ANGELINI, H. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 93, p.205–218, 2013.
- SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; SILVA, J. R.; SHAHIDIAN, S. Medição e mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo em pastagens. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n.2, p. 5-14, 2010.
- STENBERG, B. Effects of soil sample pretreatments and standardized rewetting as interacte wuth sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. **Geoderma**, v.158, n.15, p. 15-22, 2010.
- TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – região central do Brasil 2012 e 2013. - Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176- 2902; n.15).
- TERRA, F. S. **Espectroscopia de reflectancia do visível ao infravermelho médio aplicada aos estudos qualitativos e quantitativos de solos**. 2011. 374 p. Tese Doutorado em Agronomia – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011.
- VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M. de; CARVALHO PINTO, F. de A. de; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. Relação entre condutividade elétrica aparente e propriedades do solo. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.4, p.683-690, 2012.

## **RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES UMIDADES EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA FLORESTA**

**ALBERTO C. DE CAMPOS BERNARDI<sup>1</sup>; GIULIA GUILLEN MAZZUCO<sup>2</sup>; CRISTIAM BOSI<sup>3</sup>; JOSÉ RICARDO MACEDO PEZZOPANE<sup>1</sup>; GIOVANA MARANHÃO BETTIOL<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Embrapa Pecuária Sudeste Cx.P.339, CEP: 13560-970 São Carlos – SP. e-mail: alberto.bernardi@embrapa.br

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, UFSCar. São Carlos – SP

<sup>3</sup>Pós-doutorado em Ciência Animal e Pastagens, ESALQ/USP, Piracicaba - SP

<sup>4</sup>Embrapa Cerrados, Planaltina – DF

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para subsidiar estratégias de tomada de decisão no manejo das culturas. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da resistividade elétrica do solo em diferentes umidades do solo em sistemas integrados. O estudo foi conduzido em área de 9,7 ha de sistemas integrados em São Carlos (SP). A resistividade elétrica do solo (RE) foi medida com sensor de contato em duas datas com diferentes umidades do solo. A umidade do solo nos sistemas foi monitorada com uma sonda Diviner. Os mapas foram obtidos por interpolação pelo quadrado do inverso da distância. Os resultados indicaram que a RE permitiu delimitar as regiões dentro da área de estudo e indicar diferenças do movimento e acumulação de água nos horizontes do solo. Houve uma tendência de redução dos valores de RE com o aumento da umidade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensor de solo, teor de água no solo, sistema ARP®.

### **SOIL ELECTRIC RESISTIVITY IN DIFFERENT WATER LEVELS IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM**

**ABSTRACT:** Characterizing the spatial variability of soil properties can be very useful in decision-make crop management strategies. The aim of this study was to characterize the spatial variability of soil electric resistivity in different soil moisture in integrated systems. The study was conducted in 9.7 ha of integrated systems in San Carlos (SP). The electrical soil resistivity (SR) was measured with contact sensor at 2 dates with different soil moisture values. Soil moisture was monitored with a Diviner probe. The maps were obtained by the inverse distance squared. The results indicated that SR allowed to delimit the regions within the study area, indicate differences of the movement and accumulation of water in the soil horizons. There was a trend of reduction in RE values with increasing soil moisture.

**KEYWORDS:** soil sensor, soil water content, ARP® system.

**INTRODUÇÃO:** A agricultura de precisão (AP) é ferramenta de gestão que considera a variabilidade espacial para subsidiar estratégias de tomada de decisão e obter melhor retorno econômico e ambiental do sistema de produção (INAMASU et al. 2014). O potencial produtivo das culturas é determinado pelos fatores edafo-climáticos e também pela espécie e/ou cultivar. O solo pode influenciar o crescimento vegetal pelo fornecimento de água, nutrientes e oxigênio. Por isso, entre os fatores necessários para se alcançar altas produtividades estão os atributos físicos do solo. Para isso, os solos devem apresentar resistência favorável ao crescimento radicular e também à movimentação de água e gases. De acordo com Cambardella e Karlen (1999), as propriedades do solo podem variar espacialmente dentro de um mesmo talhão até em escala regional, em função de fatores intrínsecos (teor de argila, capacidade de retenção de água, pedregosidade, material de origem), e extrínsecos (estrutura, temperatura, teor de água, práticas de manejo, adubação e rotação de culturas). Estas variações das propriedades do solo devem ser monitoradas para se compreender os efeitos do uso da terra e dos sistemas de gestão dos solos. Sob o ponto de vista agrônomo, os principais indicadores físicos de qualidade do solo são a textura, estrutura, resistência à penetração, enraizamento e

armazenamento de água. A resistividade elétrica (RE) do solo, expressa em ohms  $m^{-1}$  ( $\Omega m^{-1}$ ), é uma medida da resistência de um solo à uma corrente elétrica (MICHOT et al., 2003; SAMOUËLIAN, et al., 2005). A RE é uma função da textura e estrutura do solo, sendo particularmente sensível ao seu teor em água (SHEETS & HENDRICKX, 1995). Os solos são um meio poroso, constituído de partículas sólidas não condutoras (MICHOT et al., 2003). No entanto, estes poros contêm soluções de eletrólitos, que podem conduzir a corrente eléctrica pelo movimento dos íons livres na solução do solo ou adsorvidos na superfície da matriz (SHEETS & HENDRICKX, 1995; SAMOUËLIAN, et al., 2005). A precipitação pluvial e as variações sazonais da temperatura e teor de água do solo podem causar mudanças significativas na resistividade elétrica (BENDERITTER & SCHOTT, 1999). Sensores de RE do solo podem ser uma alternativa rápida e de baixo custo para a caracterização física do solo com alto nível de detalhamento espacial. Na maior parte dos estudos de campo, a RE foi utilizada para monitorizar a dinâmica da água no solo em experimentos com condições controladas (VERECKEN et al., 2014), com a vantagem de que as alterações da RE podem facilmente serem atribuídas às alterações da umidade solo ou da condutividade elétrica da solução do solo. Poucos estudos foram realizados para monitorar variações da RE em função da umidade do solo em escala de campo (MICHOT et al., 2003). Por isso o teor de água no solo deve ser considerado nos estudos da resistividade elétrica. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da RE do solo em diferentes umidades do solo em sistemas integrados.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido em uma área de 9,7 ha (Figura 1A) do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos, SP (21°57'S, 47°50'W, 860 m alt.), em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente. O sistema ILPF totaliza 30 ha e inclui diferentes combinações, sendo elas: i) pastagem intensiva (INT) de capim-Piatã (*Urochloa brizantha*); ii) sistema integração lavoura-pecuária (ILP), no qual anualmente 1/3 da área é renovada com milho semeado em consórcio com o capim-Piatã; iii) sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), plantado com *Eucalyptus urograndis* (GG100) em ruas simples com 15 m de espaçamento e 2 m de distância entre as árvores; iv) sistema pastagem-floresta e; v) sistema extensivo de capim-braquiária (*Urochloa decumbens*).



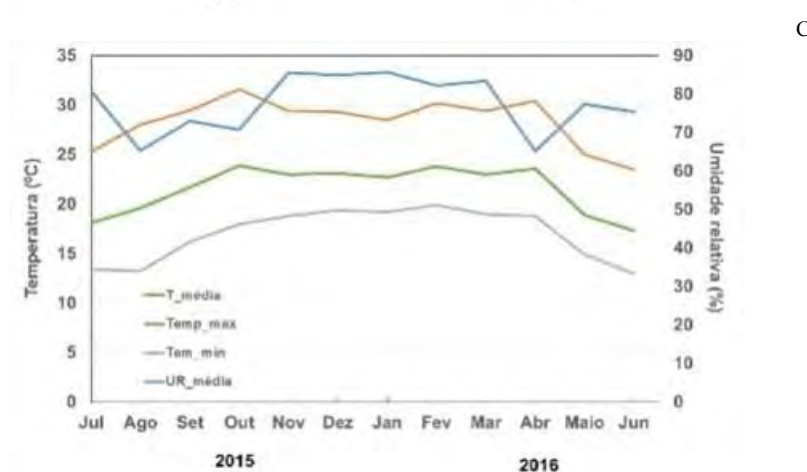


FIGURA 1. Localização do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (A) e dados climatológicos: chuva e evapotranspiração (B) e temperatura e umidade relativa (C). Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

As medidas de RE foram obtidas com o sensor comercial ARP system® (Geocarta, Paris, França) em duas datas: 04/maio/16 e 01/jun/16, nos sistemas INT, ILP e ILPF. Neste período registrou-se na área de estudo chuvas de 216 mm e evapotranspiração ( $ET_0$ ) de 73 mm, indicando acúmulo de água no solo. Os dados climatológicos da área de estudo estão nas Figuras 1B e 1C. Em ambas datas o teor de umidade do solo (até 1 m de profundidade) foi monitorizado com a sonda DIVINER 2000 (Sentek Environmental Technologies, Kent Town, Austrália), registrando-se a umidade ( $\theta$ ) média de 0,208 e 0,283  $cm^3 cm^{-3}$ , respectivamente. O sensor de RE possui 8 eletrodos no formato de discos com pontas na periferia, dos quais 2 são emissores e 6 são receptores de corrente. Dessa forma, a RE do solo foi obtida em 3 profundidades: 0-0,5 m, 0-1,0 m e 0-2,0 m. A coleta dos dados foi realizada a cada 0,1 m, (distância controlada por um radar), registrando dados

de RE ( $\Omega$  m) nas 3 camadas e as coordenadas geográficas de cada ponto. A distância entre passadas foi de aproximadamente 6,0 m. Foi utilizado o método do inverso do quadrado da distância (IDW) para interpolação dos dados, e os mapas de contorno foram gerados com o software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os parâmetros da estatística descritiva dos dados de resistividade do solo nas profundidades de 0-0,5, 0-1,0 e 0-2,0 m coletados em ambas datas (04/maio e 01/junho) são apresentados na Tabela 1. A amplitude de valores foi modificada em função das diferentes umidades do solo especialmente nas duas primeiras camadas (0-0,5 e 0-1,0 m), pois na umidade mais baixa ( $\theta = 0,208 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) foi cerca de 65% maior que umidade mais alta ( $\theta = 0,283 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Já na camada de 0-2,0 m os valores obtidos com solo mais úmido foram cerca de 30% inferiores. Considerando os valores médios das leituras, houve uma redução em cerca de 40%. Os parâmetros analisados apresentaram coeficiente de variação entre 34 e 40% na primeira avaliação e entre 25 e 28% na segunda. Os resultados apresentam valores de assimetria e curtose compatíveis com a normalidade, uma vez que, de acordo com Carvalho et al. (2002), os valores teóricos de assimetria e curtose entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados. Como o equipamento ARP system® coleta os pontos por intervalos de distância padronizados, permite uma grande vantagem na sua utilização no campo, uma vez que a variação de velocidade não representa variação na densidade de pontos coletados. Dessa forma, o conjunto de dados levantados é muito grande, tendo sido levantados em torno de 81.000 pontos na primeira leitura e cerca de 55.000 na segunda, para a área de 9,7 ha.

TABELA 1. Parâmetros estatísticos da resistividade do solo nas profundidades de 0-0,5, 0-1,0 e 0-2,0 m em 04/maio e 01/junho de 2016

Parâmetros	04/maio ( $\theta = 0,208 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )			01/junho ( $\theta = 0,283 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )		
	0-0,5 m	0-1,0 m	0-2,0 m	0-0,5 m	0-1,0 m	0-2,0 m
Mínimo ( $\Omega$ m)	95,2	243,9	298,0	124,5	146,6	258,6
Máximo ( $\Omega$ m)	1322,0	1885,0	2481,0	472,9	621,9	1796,2
Média ( $\Omega$ m)	689,8	1059,8	1348,1	290,9	376,3	630,8
DP* ( $\Omega$ m)	279,7	364,9	465,1	75,2	102,9	177,2
CV**	40,55	34,43	34,50	25,86	27,34	28,08
Mediana	692,6	1065,0	1339,0	290,6	378,0	623,6
Curtose	-0,696	-0,630	-0,511	-0,506	-0,461	1,558
Assimetria	0,022	-0,020	0,094	0,047	-0,030	0,647
Amostras	82002	80977	81707	54751	54473	55865

\*DP = desvio padrão; e \*\*CV% = coeficiente de variação.

Após interpolação dos dados obteve-se os mapas de RE para as 3 profundidades, e a partir deles a delimitação e diferenciação em 4 classes de RE do sistema de ILPF avaliado (Figura 2). As leituras nas camadas de 0-0,5 m e 0-1,0 m variaram pouco entre a primeira e a segunda leituras. As tendências foram as mesmas, com aumento médio da área na classe 1 de RE de 4 para 12% da área total. Em ambas camadas as leituras encontravam-se na classe 2 e 3 (entre 40 e 50% da área) de RE. As maiores variações foram observadas nas leituras na profundidade de 0-2,0 m, cujas leituras estavam majoritariamente nas classes 2 e 3 (48 e 43% da área) e, com o acúmulo de água após as chuvas (Figura 1B), as leituras estavam predominantemente nas classes 1 e 2 (36 e 62% da área, respectivamente). Isso provavelmente ocorreu devido às altas taxas de infiltração de água pelo Latossolo vermelho-amarelo em que o experimento está implantado. Apesar da área estudada ser muito homogênea com relação ao relevo e classe de solo, houve algumas diferenças com relação aos sistemas de cultivo adotados. Há uma tendência de haver uma menor resistividade no sistema ILPF, no qual há o plantio de árvores, como pode ser observado na região N e NE dos mapas. O sistema de pastagem de pastagem intensiva (INT), na região S e SE do mapa, também apresentou baixa RE, especialmente na maior umidade do solo ( $\theta = 0,283 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Também houve diferenças especialmente na área de ILP, no centro do mapa, na qual há uma tendência de apresentar maior resistividade, especialmente na umidade mais baixa do solo ( $\theta = 0,208 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).

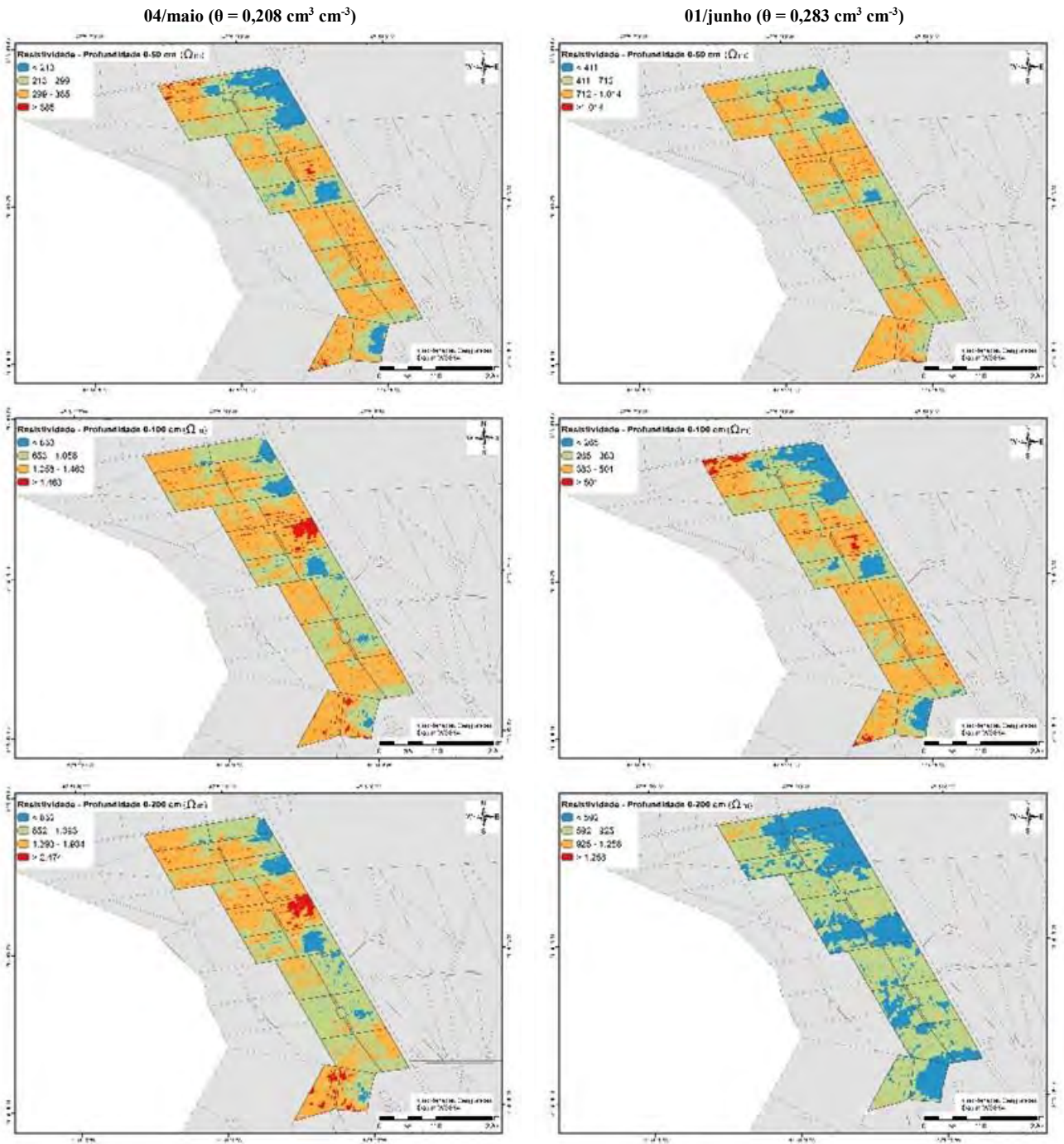


FIGURA 2. Mapas interpolados para a resistividade do solo nas profundidades de 0-0,5, 0-1,0 e 0-2,0 m em 04/maio e 01/junho de 2016

Os resultados indicaram que com a RE foi possível estabelecer as relações entre resistividade elétrica e teor de umidade do solo. Dessa forma, esta variabilidade espacial representa as diferenças das propriedades do solo, que podem alterar a RE, tais como porosidade, estrutura, temperatura e composição química da solução (SAMOUËLIAN, et al., 2005; VERECKEN et al., 2014). Kalinski & Kelly (1993) estudaram um solo com 20% de argila e mostraram que com as medidas de RE foi possível prever o conteúdo volumétrico de água com um erro padrão de 0,009 para os teores de água variando de 0,20 a 0,50 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) no solo. Os resultados confirmam o potencial de uso das medidas de resistividade elétrica (RE) como ferramenta auxiliar de estudos da ciência do solo e agrônômicos.

**CONCLUSÃO:** A RE permitiu delimitar as regiões dentro da área de estudo, indicar diferenças do movimento e acumulação de água nos horizontes do solo. Nas três profundidades analisadas, houve uma tendência de redução dos valores de RE com o aumento da umidade do solo.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Dr. Ladislau Marcelino Rabello, da Embrapa Instrumentação, e Thomas Pitrat, da Geocarta, pelo mapeamento da área.

### REFERÊNCIAS:

- BENDERITTER, Y., SCHOTT, J. J. Short time variation of the resistivity in an unsaturated soil: The relationship with rainfall, **European Journal of Environmental and Engineering Geophysics**, v.4, p.37-49, 1999.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 95 p. (EMBRAPA-CNPQ. Boletim de Pesquisa, 7).
- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v.1, p.5-14, 1999.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1151-1159, 2002.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) Inc., **ArcGIS® 10.1: getting started with ArcGIS**. Redlands, ESRI. 2009.
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. de F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. **Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro**. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.
- KALINSKI, R.J., KELLY, W.E. Estimating water content of soils from electrical resistivity. **Geotechnical Testing Journal**, v.16, p.323-329, 1993.
- MICHOT, Y. BENDERITTER, A. DORIGNY, B. NICOUILLAUD, D. KING, TABBAGH, A. Spatial and temporal monitoring of soil water content with an irrigated corn crop cover using electrical resistivity tomography. **Water Resource Research**, v.39, p.1138, 2003.
- SAMOUËLIAN, A., COUSIN, I., TABBAGH, A., BRUAND, A., RICHARD, G. Electrical resistivity survey in soil science: a review. **Soil and Tillage Research**, v.83, p.173-193, 2005.
- SHEETS, K. R., HENDRICKX, J. M. H. Non-invasive soil water content measurement using electromagnetic induction. **Water Resource Research**, v.31, p.2401-2409, 1995.
- VERECKEN, H.; HUISMAN, J.A.; PACHEPSKY, Y.; MONTZKA, C.; VAN DER KRUK, J.; BOGENA, H.; WEIHERMÜLLER, L.; HERBST, M.; MARTINEZ, G.; VANDERBORGHT, J. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. **Journal of Hydrology**, v.516, p 76-96, 2014.

## **RESPOSTA DE HÍBRIDOS DE MILHO A SEMEADURA EM TAXA VARIÁVEL**

**ROBISOM J. DA SILVA<sup>1</sup>, DAVI GABRIEL BESSON<sup>2</sup>, RODRIGO GONÇALVES TREVISAN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Agrônoma e Técnico Agrícola no Grupo Terra Santa Agro S.A, Nova Mutum – MT, Fone: (65) 3308-5078, robisom.silva@tsagro.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo Trainee em Agricultura de Precisão no Grupo Terra Santa Agro S.A, Nova Mutum – MT, Fone: (65) 3308-5064, davi.besson@tsagro.com.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo Msc. Engenharia de Sistemas Agrícolas. Consultor e Pesquisador na SmartAgri, Piracicaba – SP, Fone: (66) 99604-9676, rodrigo@smart.agr.br.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** É crescente o uso de tecnologias que permitem a condução das culturas levando em conta a variabilidade espacial. A investigação da variabilidade tem sido realizada através do mapeamento de produtividade, amostragem de solo, condutividade elétrica e pelo uso de séries históricas de imagens de satélites. Entre as tecnologias para tirar proveito da variabilidade espacial, destacam-se a aplicação em taxa variável de fertilizantes e, mais recentemente, o uso de taxas variáveis na semeadura. Através do gerenciamento da variabilidade espacial das lavouras a agricultura de precisão possibilita o aumento na produtividade e, otimização de insumos com aplicação localizada. O objetivo deste trabalho é avaliar a resposta de híbridos de milho quando submetidos a semeadura em taxa variável em comparação a semeadura em taxa fixa. Os talhões utilizados apresentaram ampla variação textural, com teores de argila entre 50 e 150 g dm<sup>-3</sup>. Utilizou-se dois híbridos de milho com diferentes características agrônomicas, SYN Impacto VIP3 e P30F35 YH, com taxas de semeadura variando de 50 a 70 mil plantas por hectare. Observou-se efeito significativo da semeadura em taxa variável apenas no híbrido P30F35 YH, com ganho médio de produtividade de 460 kg ha<sup>-1</sup>. Os maiores ganhos de produtividade foram promovidos pela redução da densidade de semeadura nas áreas de textura mais arenosa e baixo potencial produtivo. Observa-se ainda que existe grande potencial para utilização de semeadura localizada de diferentes híbridos em um mesmo talhão. No caso dos híbridos testados os resultados sugerem a utilização do híbrido SYN Impacto VIP3 nos locais com até 11% de argila e do híbrido P30F35 YH no restante da área.

**PALAVRAS-CHAVE:** variabilidade espacial, potencial produtivo, sensoriamento remoto.

## **CORN HYBRID RESPONSE TO VARIABLE RATE SEEDING**

**ABSTRACT:** There is increasing use of technologies that allow crop cultivation taking into account the spatial variability. The investigation of variability has been carried out through yield mapping, soil sampling, electrical conductivity surveying and the use of historical series of satellite images. Among the technologies commonly used to take advantage of spatial variability are the variable rate application of fertilizers and, more recently, the use of variable rate seeding. Through the management of the spatial variability of crops, precision agriculture allows the increase in productivity and optimization of inputs with localized application. The objective of this work is to evaluate the response of corn hybrids when submitted to variable rate sowing in comparison to fixed rate sowing. The fields used presented a textural variation range, with clay contents between 50 and 150 g dm<sup>-3</sup>. Two maize hybrids with different agronomic characteristics, SYN Impacto VIP3 and P30F35 YH were used, with sowing rates varying from 50 to 70 thousand plants per hectare. There was a significant effect of variable rate seeding only on the hybrid P30F35 YH, with an average yield gain of 460 kg ha<sup>-1</sup>. The greatest gains in yield were promoted by the reduction of seed density in the areas with more sandy texture and low yield potential. It is also observed that there is great potential

for the use of localized sowing of different hybrids in the same field. With the hybrids evaluated in this work, the results suggest the use of SYN Impacto VIP3 hybrid in the sites with up to 11% of clay and the hybrid P30F35 YH in the rest of the area.

**KEYWORDS:** spatial variability, yield potential, remote sensing.

**INTRODUÇÃO:** A agricultura de precisão é a tecnologia que tem como objetivo aumentar a eficiência no manejo diferenciado de áreas na agricultura. A tecnologia se encontra em constante desenvolvimento incorporando novas técnicas fornecendo ferramentas aos especialistas para o manejo na agricultura. Agricultura de precisão não consiste simplesmente em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada como a habilidade em monitorar e acessar as atividades agrícolas, precisamente em um nível local, (MANTOVANI, E.C. et al, 1998). Para Molin et. al. (2006), a agricultura de precisão ainda deve ser vista como uma abordagem, que tem como objetivo utilizar estratégias para resolver os problemas causados pela variabilidade espacial das lavouras tentando tirar proveito dessas desuniformidades. As taxas de semeadura podem ser reduzidas para corresponder mais de perto ao potencial de produção na área e aumentar a rentabilidade em toda a propriedade, (PHILLIPS, S. 2014). A população é definida como o número de plantas, tendo um papel importante no rendimento de uma lavoura de milho, pequenas variações na densidade têm grande influência no rendimento final da cultura. O milho é a gramínea mais sensível à variação na densidade de plantas. Para cada sistema de produção, existe uma população que aumenta o rendimento de grãos. (ALVARENGA, R. C. et al, 2010). Com as tecnologias em agricultura de precisão, é possível manejar a variabilidade das áreas de produção a níveis de escala menor que a empregada no passado. As semeadoras podem ser equipadas com equipamentos para variar a quantidade de sementes, podendo ser alterada no campo a população de plantas, de acordo com a necessidade, como tipo de solo, cultivares, dentre outras, (COELHO, A. M. et. al. 2004). Os principais componentes da produtividade do milho, número de espigas, número de grãos por espiga e peso médio dos grãos são afetados de maneira distinta quando a população de plantas é alterada. Em geral a produtividade de grãos aumenta com a população de plantas até um ponto ótimo. Acima dessa população a redução da produção de cada planta devido a competição entre plantas é igual ou maior que o ganho proporcionado pelo maior número de plantas na área. A determinação da população ideal depende de características do híbrido, solo, clima, histórico de produtividade e de fatores econômicos. Uma vez que algum desses fatores são espacialmente variáveis, é de se esperar que a população que proporciona a máxima produção por unidade de área também apresente variação dentro de um talhão, gerando uma oportunidade para aplicação dos conceitos e ferramentas da Agricultura de Precisão (MOLIN, J.P. et al, 2006). A população ideal também depende da interação entre as características dos híbridos e do ambiente. Alguns híbridos apresentam potencial produtivo muito elevado, mas que só é expresso em condições ambientais amplamente favoráveis, enquanto que outros apresentam menor teto produtivo, mas são estáveis e capazes de manter o nível de produtividade mesmo em condições adversas. Existem ainda híbridos muito responsivos ao ajuste de população, enquanto que outros possuem mecanismos de compensação, de modo que a planta autorregula os fatores de produção como número de fileiras e grãos na espiga de acordo com a oferta ambiental. Afim de utilizar-se os conceitos de agricultura de precisão para tirar proveito da variabilidade espacial da textura do solo com o uso de semeadura em taxa variável na cultura do milho todos esses fatores devem ser levados em consideração. Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar a resposta de híbridos de milho quando submetidos a semeadura em taxa variável em comparação a semeadura em taxa fixa.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Utilizou – se dois talhões distintos para realização dos trabalhos sendo o talhão A e B. A semeadura no talhão A foi realizado entre os dias 12 e 16/12/2016, utilizando sementes de milho híbrido SYN Impacto VIP3 e no talhão B, entre os dias 20 e 23/12/2016, com o híbrido P30F35 YH. Ambos em sistema de plantio direto e profundidade de deposição da semente de 03 (três) cm. Foram utilizados duas semeadoras John Deere modelo 2130 CCS, com espaçamento entre linha de 0,45cm e uso de disco de corte. Equipadas com o controlador de taxa variável VCON 7.2, possibilitando a variação da população de sementes, pela alteração da rotação dos motores hidráulicos, acionadores dos mecanismos dosadores da semeadora, sendo as mudanças de doses realizadas através da leitura de mapas de TV importados no monitor. A semeadura em taxa variável obteve uma população variando entre 50 a 70 mil sementes por hectare, de acordo com o teor de argila que variou de 5 a 15%. Através do equipamento Veris foi realizada a medição da condutividade elétrica aparente do solo (CE), sob solo em condição de umidade para as leituras e espaçamento entre passadas de 15 m. Os dados de CE foram interpolados pelo método de

Krigagem. Nas áreas com semeadura em taxa fixa a população foi de 60 mil sementes/ha. A adubação de base na semeadura foi de 120 kg/ha de MAP, e a adubação em cobertura parcelada em três aplicações, sendo a primeira aplicação em taxa fixa e aos 10 dias após emergência (DAE) com sulfato de amônio na dose de 110 kg/ha, a segunda com 15DAE de cloreto de potássio na dose de 100 kg/há e aos 20 DAE realizou se a última aplicação em taxa variável de ureia, com variação das doses baseado na textura do solo, sendo menores doses de N para locais com maior teor de argila e, a dose média de N foi 180 kg/ha.

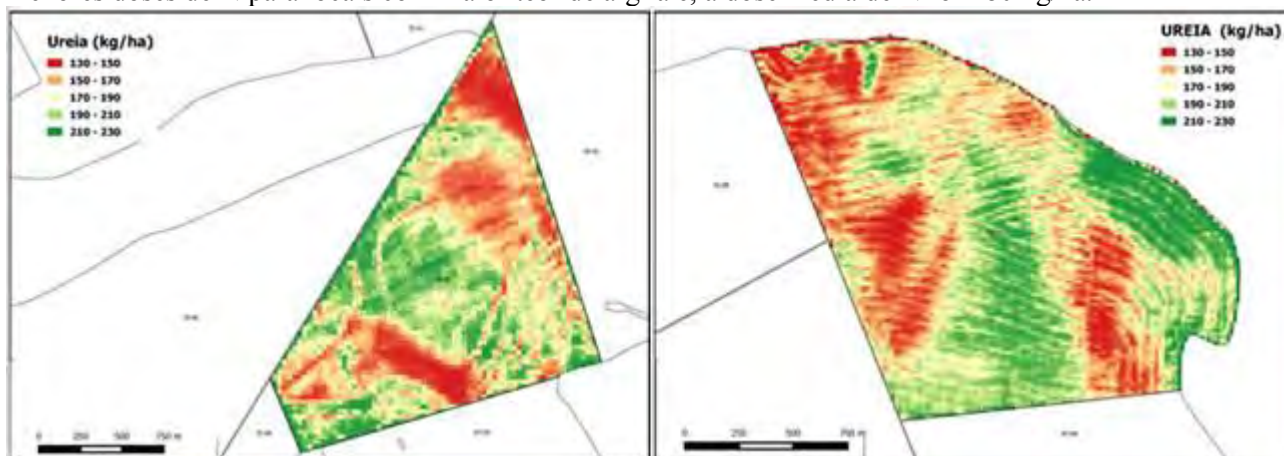


FIGURA 1. Mapas de recomendação de aplicação de ureia em taxa variável baseado na variação de textura do solo.

As condições de precipitação foram adequadas sendo acumulados 1852 mm até o período de enchimento de grãos. O desenvolvimento vegetativo das plantas foi mais relacionado com a fertilidade do solo do que com o nitrogênio aplicado em cobertura. Realizou-se a colheita no talhão A entre os dias 03 e 11/05/2017 e no talhão B entre os dias 15 e 24/05/2017. A colheita foi realizada por uma colhedora Case 8120 equipada com sistema de monitoramento de produtividade AFS e uma colhedora S680 equipada com sistema de monitoramento de produtividade Greenstar, onde após a colheita os dados foram filtrados, corrigidos através dos programas R e Qgis, sendo calibrados de acordo com a produtividade média do talhão.

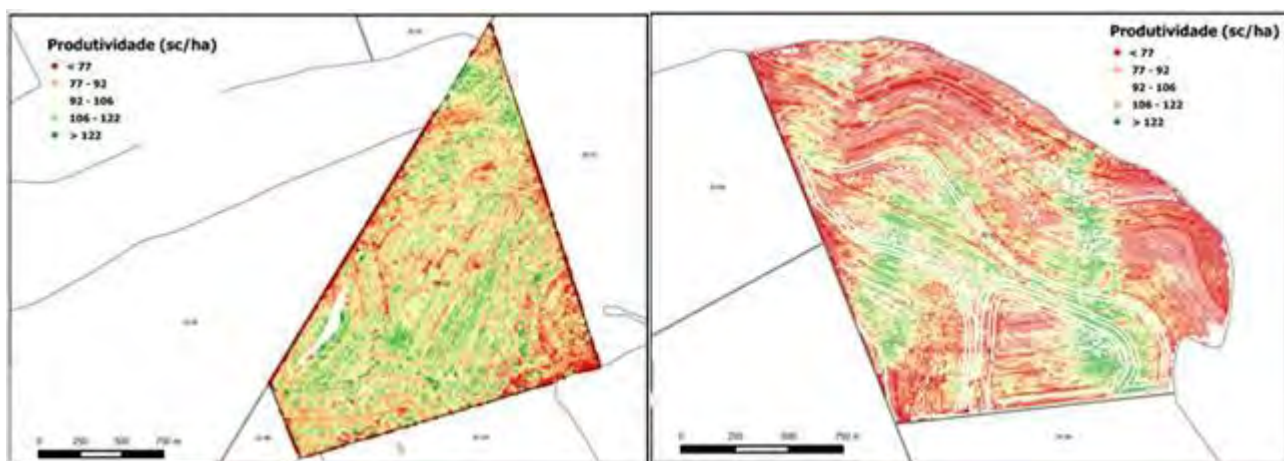


FIGURA 2. Mapas de produtividade do híbrido SYN Impacto VIP3 (Talhão A - esquerda) e P30F35 YH (Talhão B - direita).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No talhão A, o híbrido SYN Impacto VIP3, apresentou – se pouca variação em relação à fertilidade do solo e a população de plantas, não tendo diferenças significativas entre a taxa variável e a taxa fixa, mantendo a produção próxima a 6.000 kg ha<sup>-1</sup>, mesmo nas áreas mais arenosas do talhão, conforme se observa na Figura 3.

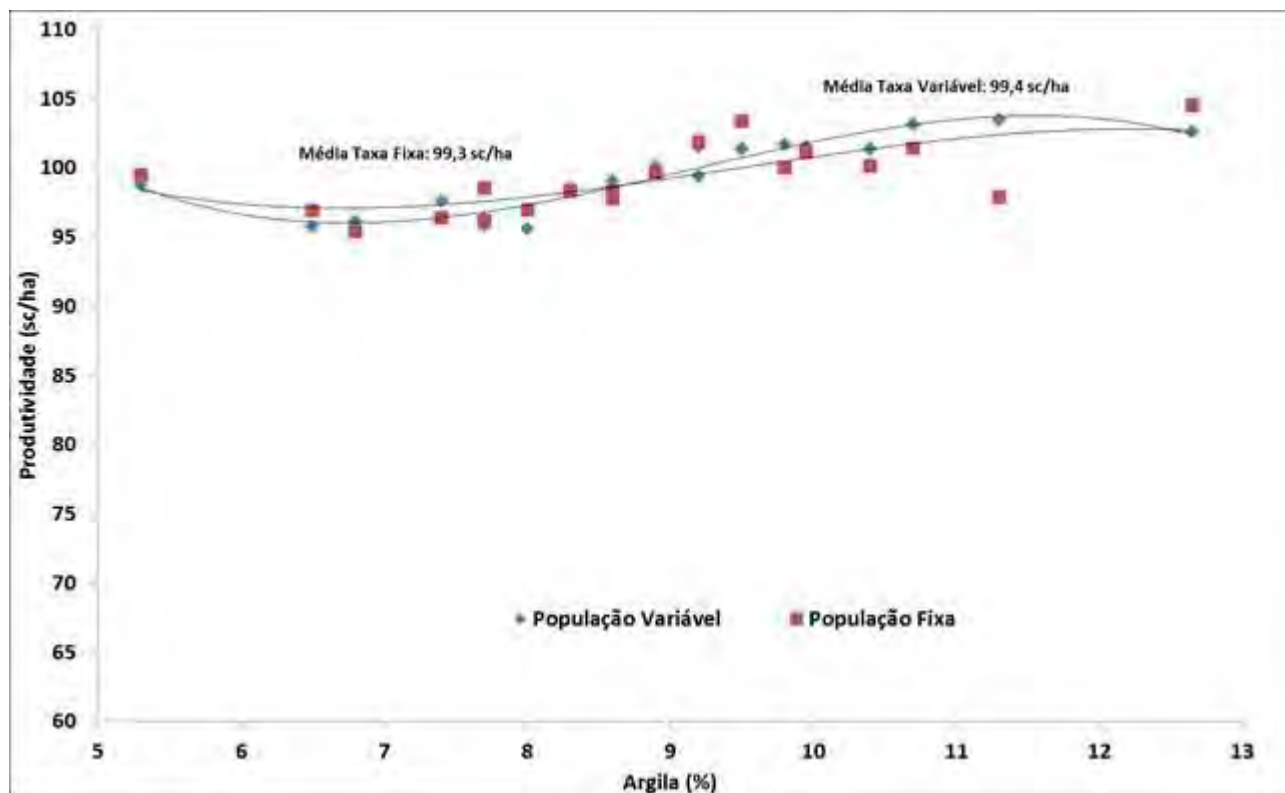


FIGURA 3. Produtividade do híbrido de milho SYN Impacto VIP3 em relação a textura do solo e a estratégia de semeadura.

Analisando a produtividade do talhão B, o híbrido P30F35 YH, mostrou-se muito mais responsivo a fertilidade do solo e a população de plantas, obtendo diferença média de 460 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura em taxa variável quando comparado com taxa fixa. Destacam-se maiores diferenças nas áreas mais arenosas, no qual com a redução na população permitiu redução dos custos e aumento da produtividade. Pode-se observar na FIGURA 4 que o híbrido exibiu maior potencial produtivo em áreas mais férteis (maior teor de argila) e queda de produtividade em áreas com menor teor de argila. Os maiores ganhos de produtividade foram promovidos pela redução da densidade de semeadura nas áreas de textura mais arenosa e baixo potencial produtivo. Observa-se ainda que existe grande potencial para utilização de semeadura localizada de diferentes híbridos em um mesmo talhão. No caso dos híbridos testados os resultados sugerem a utilização do híbrido SYN Impacto VIP3 nos locais com até 11% de argila e do híbrido P30F35 YH no restante da área.



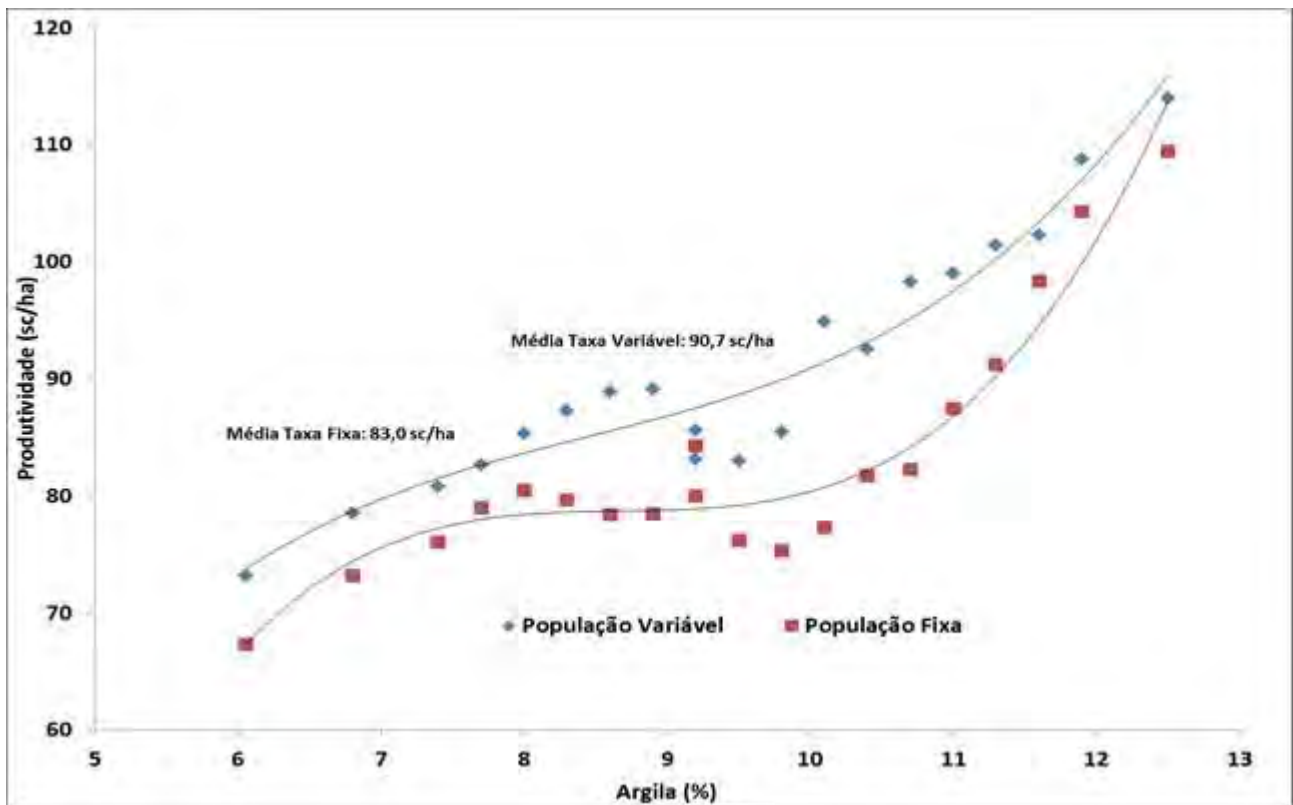


FIGURA 4. Produtividade do híbrido de milho P30F35 YH em relação a textura do solo e a estratégia de semeadura.

**CONCLUSÃO:** A resposta do milho ao uso de semeadura em taxa variável depende do híbrido utilizado. Observou-se vantagem do uso da semeadura em taxa variável para o híbrido P30F35 YH, possibilitando redução dos custos com sementes nas áreas mais arenosas e ganho médio de produtividade de  $460 \text{ kg ha}^{-1}$ . Existe grande potencial para utilização de semeadura localizada de diferentes híbridos em um mesmo talhão. No caso dos híbridos testados os resultados sugerem a utilização do híbrido SYN Impacto VIP3 nos locais com até 11% de argila e do híbrido P30F35 YH no restante da área.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos a toda à equipe do Grupo Terra Santa Agro S.A, por apoiarem a realização desse trabalho em todos os momentos, do plantio a colheita.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. et al. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- COELHO, Antonio Marcos; CRUZ, Jose Carlos; PEREIRA FILHO, I. A. **Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2004.
- MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Mecanização e agricultura de precisão. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 109-157., 1998.
- MOLIN, José P.; MASCARIN, Leonardo S.; VIEIRA JÚNIOR, Pedro A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 528-536, 2006.
- MOLIN, José P.; MASCARIN, Leonardo S.; VIEIRA JÚNIOR, Pedro A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 528-536, 2006.
- PHILLIPS, S. indústria de Fertilizantes e Agricultura de Precisão: Apoio a segurança alimentar mundial. In: **Informações Agronômicas**, IPNI – International Plant Nutrition Institute; Nº 146, junho/2014.

## **SELEÇÃO AGRONÔMICA INDIRETA DE GENÓTIPOS DE MILHO VIA NDVI E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS**

**ELCIO HISSAGY SAMECIMA JUNIOR <sup>1</sup>, CRISTIANO ZERBATO <sup>2</sup>, ANTONIO SERGIO FERRAUDO <sup>3</sup>, GUSTAVO VITTI MÔRO <sup>4</sup>,**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Engenharia Rural, FCAV, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone: (16) 32097627, [cristiano.zerbato@unesp.br](mailto:cristiano.zerbato@unesp.br)

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Ciências Exatas, FCAV, UNESP, Jaboticabal

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Depto. Produção Vegetal, FCAV, UNESP, Jaboticabal

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O melhoramento vegetal, além de buscar as características de interesse, busca também otimizar o processo. Sendo assim, quando há correlação entre as características de interesse e uma de fácil avaliação, abre-se a vertente para a seleção indireta. A utilização de sensores na agricultura possibilita a avaliação sem contato físico, podendo ser uma nova ferramenta na seleção indireta, visando otimizar tempo, mão de obra, custo e o processo. Objetivou-se estudar a relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e os caracteres agronômicos, na seleção indireta em milho e selecionar os genótipos superiores utilizando técnicas multivariadas. O experimento foi conduzido na segunda safra de 2016, sendo realizadas as medições de NDVI via sensor ativo terrestre, a cada 15 dias após a emergência das plântulas e as avaliações agronômicas de campo considerando os caracteres: altura de planta, altura da espiga principal, acamamento, quebramento, estande e produtividade. O conjunto de variáveis obtidas foram submetidas as análises multivariadas de fatores e de componentes principais. A análise de fatores detectou, no primeiro fator, correspondências positivas entre as variáveis, altura de planta, altura de espiga e produtividade, no segundo fator NDVI-80, NDVI-95 e acamamento mais quebramento e no terceiro fator NDVI-15 e estande. Os gráficos biplots gerados pelos componentes principais, juntamente com análise de ganho de seleção permitiram identificar o genótipo 3 como o mais promissor, por apresentar baixo acamamento mais quebramento, baixo valor de NDVI-80 e NDVI-95 e alta produtividade em relação a este experimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise de fatores, sensoriamento remoto, sensor ativo terrestre, *Zea mays*.

## **INDIRECT AGRONOMIC SELECTION OF CORN GENOTYPES BY NDVI AND MULTIVARIATE ANALYSIS**

**ABSTRACT:** The plant breeding look beyond the characteristics of interest, look to optimize process, so when there is a correlation between the characteristics of interest and one of easy evaluation, a strand is opened for indirect selection. The use of sensors in agriculture makes possible to evaluate without physical contact and it can be a new tool in the indirect selection, aiming to optimize time, work, cost and optimize process. The objective of this study was to analyze the relationship between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and agronomic traits, in the indirect selection and to select superior genotypes of maize by multivariate analyze. The experiment was conducted in the second crop of 2016, and NDVI was measurements by an active sensor every 15 day after seedling and field agronomic traits were evaluated considering the following characteristics: plant height, ear height, stalk lodging, stalk breakage, stand and yield. With these data were processed the factor analyzes, principal component and gain selection. The factor analysis detected positive correspondences between the variables, plant height, ear height and yield with factor 1; NDVI-80, NDVI-95 and stalk lodging plus stalk breakage with factor 2; NDVI-15 and stand with factor 3. The graphics biplots generated by the principal components with gain selection analyze allowed to identify the best genotype, where we could identify the genotype 3 as the most promising, because it present lower lodging plus breakage stalk, low value of NDVI-80 and 95, and high yield in relation to this experiment.

**KEYWORDS:** factor analyze, remote sensing, active earth sensor, *Zea mays*.

**INTRODUÇÃO:** A exploração comercial do milho passa pelo melhoramento genético, onde o principal objetivo é aprimorar as características agronômicas como resistência à pragas e doenças, eficiência no uso de nutrientes, resistência a déficit hídrico, diminuição de acamamento e quebramento de plantas, com o propósito de aumentar a produtividade de grãos. Este processo, dentro da pesquisa, demanda algumas avaliações, onde parte delas são destrutivas e no final do ciclo da cultura, com alta demanda de mão de obra, alto custo e tempo (ENTRIGER et al, 2014). Porém quando há uma alta correlação entre as características de interesse e uma de fácil avaliação, abre-se uma vertente para seleção indireta, que segundo Ribeiro (2010), auxilia no melhoramento genético e a prática de seleção, em razão da existência de correlação entre as características e a dificuldade de avaliação, identificação ou baixa herdabilidade da característica de interesse. Neste contexto, a prática de seleção indireta visa otimizar custos, mão de obra e avançar o processo de seleção buscando características de interesse a partir de uma característica mais facilmente analisada. O Sensoriamento Remoto (SR) aparece como fonte de dados e ferramenta auxiliar em novas estratégias de gerenciamento, ao considerar a variabilidade espacial dos fatores que interferem nas culturas. Assim, a utilização de SR, ativo ou passivo, na agricultura de precisão facilita o diagnóstico especializado e preciso durante o período de avaliação. Grandes períodos de avaliações em campo, podem causar exaustão e fadiga humana, podendo resultar em menor precisão das avaliações, interferindo em alguns resultados que auxilia nas tomadas de decisões. Logo, o NDVI vem sendo largamente utilizado para identificação de áreas degradadas, caracterização de culturas, estimativa da biomassa e previsão de safras (MKHABELA et al., 2011). Diante do exposto, objetivou-se estudar a relação entre o NDVI e os caracteres agronômicos, na seleção indireta em milho e selecionar os genótipos superiores utilizando técnicas multivariadas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em blocos ao acaso, com duas repetições, sendo cada parcela experimental constituída de 2 linhas centrais de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,33 m entre plantas, representando uma população de aproximadamente 62.500 plantas por hectares. Nas parcelas experimentais, foram coletados os dados de NDVI e as principais características agronômicas em relação ao desenvolvimento das plantas e a produtividade, tais como: altura de planta, altura da espiga principal, acamamento, quebramento, estande e produtividade. O NDVI, foi avaliado aos 15, 30, 45, 60, 80 e 95 dias, após a emergência das plântulas. Durante as avaliações, seguiram-se as recomendações do fabricante, mantendo uma distância média ideal de 65 cm acima da planta, captando uma largura de leitura de 60 cm. Utilizou-se o aparelho da marca Trimble®, modelo GreenSeeker® sensor ativo, com emissão da própria luz na banda do infravermelho próximo a  $770 \pm 12$  nm e do vermelho a  $660 \pm 12$  nm, com funcionamento independente da iluminação do ambiente (TRIMBLE, 2010).

Avaliaram-se 33 genótipos de milho, de ciclo precoce normal (PN), pertencentes ao Ensaio Nacional de Cultivares de Milho da EMBRAPA Milho e Sorgo (Tabela 1).

TABELA 1. Descrição dos 33 genótipos de milho (Precoce Normal), usados no experimento, em referências a seus respectivos materiais e classes, Jaboticabal – SP, Brasil (2016).

Genótipos	Material	Classe <sup>(1)</sup> .
1	Cr113	HS
2	Cr 140	HD
3	Cr150	HD
4	PHX-01	HT
5	PHX-02	HT
6	PHX-03	HT
7	PHX-04	HT
8	PHX-05	HT
9	PHX-06	HT
10	PHX-07	HT
11	Al2013	V
12	AL2014	V
13	1M1807	HS
14	EMBRAPA 1L1467	HS
15	EMBRAPA 1L1484	HS
16	Embrapa 1M1782	HS
17	AX727	HS
18	tr1532	HS
19	tr 2223	HS
20	EMBRAPA HTMV	HT
21	EMBRAPA HT Forrageira	HT
22	EMBRAPA 3H842	HT
23	tr 167	V
24	70XB09	HSM
25	70XB18	HSM
26	Exp929791	HS
27	Exp 93294	HS
28	Exp 944594	HS
29	Exp 918391	HS
30	BRS1055	HS
31	BRS 2022	HD
32	BG7049H	HT
33	BRS CAIMBÉ	V

<sup>(1)</sup>HS-Híbrido Simples; HSM-Híbrido Simples Modificado; HT-Híbrido Triplo; HD-Híbrido Duplo; V - Variedade.

Foram feitos os testes de normalidade e homocedasticidade para cada variável. Considerando a estrutura de dependência entre as variáveis, foram processadas técnicas exploratórias multivariadas. Primeiramente, houve a padronização dos dados, onde faz com que os atributos contribuam com o mesmo peso no cálculo do coeficiente de semelhança entre objetos. A análise de fatores foi processada com o método varimax, sendo os fatores extraídos pelo método de componentes principais (CP). Os autovalores da matriz de covariância geram os autovetores que são os componentes principais (HAIR JUNIOR, 2009). As análises foram processadas no software Statistica®. A seleção dos genótipos foi realizada adotando-se uma elipse de -2 a 2 em CP1 e CP2; CP1 e CP3 (aproximadamente  $\alpha = 5\%$ ), de forma que, os genótipos presentes no interior dessa elipse podem ser considerados sem propriedades específicas, ao passo que, genótipos externos à elipse apresentam propriedades específicas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Nas figuras 1, está apresentada a dispersão dos genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação aos dois primeiros componentes principais. Os dois primeiros componentes principais representam 53,8% da variabilidade original (29,81% em CP1 e 23,99% em CP2) enquanto que o CP1 e CP3 representam 44,49% da variabilidade original (29,81% em CP1 e

14,68% em CP3) com uma representatividade total de 68,48% (CP1, CP2 e CP3). Porém, devido à baixa variabilidade do CP3, este não foi utilizado na análise.

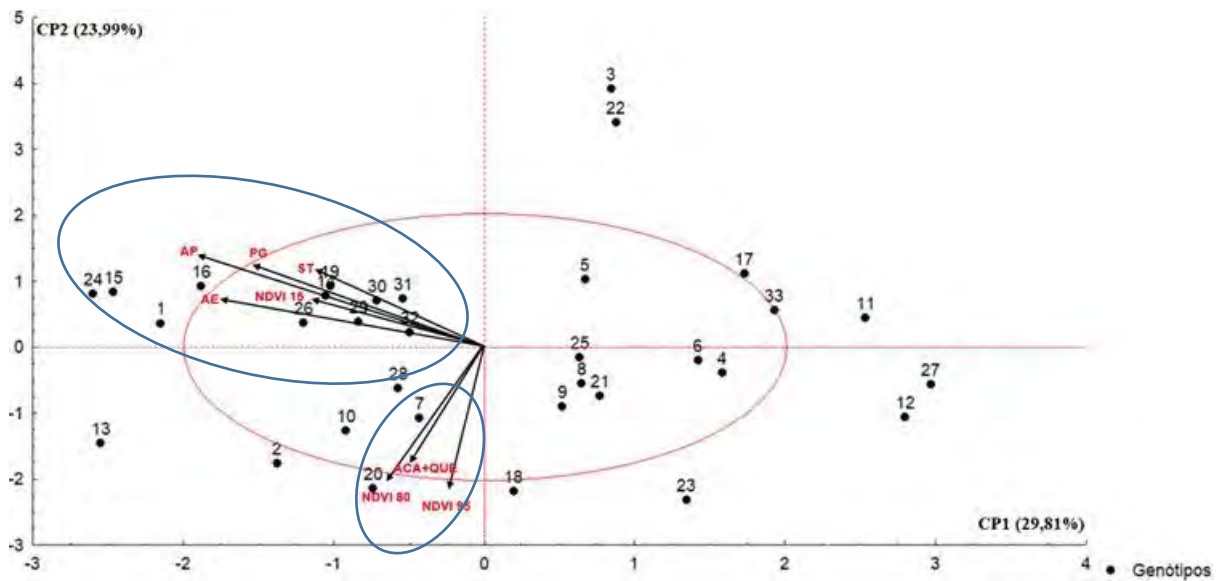


FIGURA 1. Apresentada a dispersão dos 33 genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação ao CP1 e CP2. Genótipos provenientes do ensaio nacional da Embrapa, segunda safra 2016; Jaboticabal – SP, Brasil <sup>(1)</sup>. Vetores de projeção para as variáveis: NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande.

Na Figura 1, observa-se que os genótipos 24, 1, 15 e 16 foram discriminados pelas variáveis PG, AP e AE sendo que o genótipo 16 foi o mais produtivo (Tabela 2), com altos valores de AP e AE em relação à média do experimento.

TABELA 2. Resumo dos valores médios das variáveis, dos 33 genótipos de milho precoce normal, SP, Brasil (2016)<sup>(1)</sup>.

Genótipos	NDVI-15	NDVI-80	NDVI-95	PG	ST	ACA+QUE	AP	AE
16	0,344	0,712	0,594	7347	22,0	32,5	229,1	115,6
15	0,289	0,737	0,710	6904	23,0	45,7	238,4	118,1
3	0,290	0,562	0,481	6721	23,0	4,4	217,8	111,6
1	0,326	0,748	0,597	6466	22,0	31,8	231,3	120,9
13	0,281	0,812	0,750	6292	24,5	33,0	228,4	121,6
2	0,364	0,774	0,721	6128	22,5	46,6	211,6	114,4
29	0,296	0,697	0,704	5941	24,5	42,0	214,1	117,5
26	0,342	0,683	0,710	5905	20,0	43,0	225,3	118,1
22	0,272	0,664	0,346	5777	26,0	3,7	212,5	111,6
32	0,284	0,674	0,645	5629	26,0	38,2	217,5	112,8
30	0,309	0,748	0,494	5494	23,5	8,8	220,3	118,8
31	0,349	0,717	0,603	5213	29,0	17,1	215,9	111,9
27	0,324	0,729	0,628	5199	21,5	15,6	191,9	89,7
8	0,277	0,737	0,633	5098	21,5	27,4	211,3	108,1
24	0,452	0,757	0,605	5044	24,5	28,7	224,4	129,4
10	0,255	0,775	0,701	5011	24,0	33,2	223,4	115,0
19	0,301	0,709	0,569	5000	24,0	19,3	219,7	126,3
25	0,335	0,741	0,630	4942	26,0	15,6	202,8	108,4
28	0,328	0,723	0,656	4884	23,0	37,1	219,7	113,4
7	0,192	0,746	0,696	4850	21,5	33,9	222,8	118,4
14	0,294	0,686	0,631	4811	24,5	22,5	231,3	120,0
5	0,273	0,697	0,545	4622	25,5	15,8	217,5	109,1
4	0,259	0,718	0,715	4557	23,0	43,9	198,1	105,3
6	0,298	0,702	0,610	4455	21,0	40,6	199,1	109,1
20	0,403	0,786	0,674	4349	24,5	47,5	204,1	114,4
12	0,268	0,748	0,601	3890	14,0	17,7	198,4	105,0
17	0,367	0,666	0,518	3811	24,0	14,5	206,3	105,0
23	0,263	0,742	0,775	3693	24,5	34,5	199,4	106,6
9	0,345	0,724	0,604	3626	25,0	38,3	204,4	111,9
11	0,234	0,648	0,612	3567	20,0	13,5	204,4	109,7
33	0,269	0,671	0,503	3532	17,0	13,2	214,4	111,9
18	0,261	0,764	0,722	3340	22,0	56,8	211,9	113,8
21	0,298	0,687	0,683	3184	25,0	30,0	210,0	113,8

<sup>(1)</sup>NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande.

Ainda na Figura 1, destacam-se negativamente os genótipos 2 e 13, 18, 20 e 23 com elevados valores de NDVI-80, NDVI-95 e ACA+QUE, sendo que problemas com acamamento podem gerar problemas na colheita mecanizada, diminuindo a produtividade gerando prejuízo (ZERBATO et al., 2013). Os genótipos 2 e 13 apresentaram altos valores de NDVI-80, NDVI-95, ACA+QUE e PG (Tabela 2). Segundo Zerbato et al. (2013) no estudo verificaram que as plantas acamadas tendem a apresentar problemas em colheita mecanizada, sendo assim, não sendo genótipos favoráveis por mais que tenham expressado boa produtividade (Tabela 2). Já os genótipos 18 e 23 apresentaram altos valores de NDVI-80, NDVI-95, ACA+QUE e menores valores de produtividade, sendo estes genótipos possivelmente descartados para esta região, pois além de apresentarem baixa produtividade apresentaram alto valor de ACA+QUE, NDVI-80 e 95 (Tabela 2). Os genótipos 3 e 22 foram os que mais se destacaram apresentando menores valores de NDVI-80, NDVI-95 e baixa quantidade de plantas acamadas e quebradas, e com alta produtividade (Tabela 2). Dando ênfase para o genótipo 3, pois apresentou menor valor de NDVI-80, NDVI-95 e ACA+QUE e

produtividade elevada, de acordo com a média do experimento. O genótipo 17, por mais que seja um Híbrido Simples (HS), apresentou baixa produtividade, menor altura de planta e menor altura da espiga principal comparado com os outros HS. Segundo Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2017), dentre os tipos de híbridos o HS, é o mais responsivo ao ambiente, e, portanto, altamente exigente ao ambiente de implantação. Por esta razão, o genótipo 17, não é recomendado para a região de Jaboticabal. O genótipo 27, se apresentou no segundo quadrante por apresentar baixa altura de planta e baixa altura da espiga principal, porém tem revelado uma produtividade mediana, comparada com os outros genótipos do experimento. Mas, se o desejado for um material com menor porte e uma produtividade mediana, o genótipo 27 se destaca dentro desta pesquisa.

**CONCLUSÃO:** Conclui-se que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresentou correspondências com os caracteres agrônômicos Acamamento, Quebramento e Produtividade de grãos, dando ênfase para a superioridade dos genótipos 3 e 22.

O NDVI mostrou potencialidade no auxílio da seleção indireta de genótipos de milho no melhoramento de plantas, sendo uma tecnologia promissora para otimizar processos e aumentar a precisão de avaliação.

## REFERÊNCIAS

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 523 p.

ENTRINGER, G. C.; SANTOS, P. H. A. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; CUNHA, K. S.; PEREIRA, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 356-361, 2014.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P.; RAJ, S.; WANG, S.; YANG, Y. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, p. 385-93, 2011.

RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; ROSA, D. P. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 986-989, 2010.

TRIMBLE. **Installation and operation guide: GreenSeeker RT200 System**. Version 1, Revision M, part. number 500-1-032, 2010. Disponível em: [http://www.triangleag.com/support/Greenseeker/GS\\_RT200\\_InstallOpsGuide\\_11355.pdf](http://www.triangleag.com/support/Greenseeker/GS_RT200_InstallOpsGuide_11355.pdf). Acesso em 20 de abril de 2018.

ZERBATO, C.; CAVICHIOLI, F. A.; RAVELI, M. B.; MARRAFON, M.; SILVA, R. P. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 261-270, 2013.

## **SEMEADURA DA SOJA EM TAXA VARIADA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO**

**SUZANY SANTOS DE MOURA<sup>1</sup>, LUIZ TERRA FRANÇA<sup>2</sup>, JOÃO VITOR PEREIRA FERREIRA FONTOURA<sup>2</sup>, PAULO EDUARDO TEODORO<sup>3</sup>, FÁBIO HENRIQUE ROJO BAIO<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônoma, Aluna de Pós-Graduação, UFMS, Chapadão do Sul – MS, Fone: (67) 3562-6300, suzanysm@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Graduando de Eng<sup>o</sup> Agrônoma, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor Doutor, UFMS, Chapadão do Sul – MS.

Apresentado no

**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**

*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O gerenciamento eficiente e sustentável do agronegócio da soja necessita de medidas para suprir a demanda crescente por alimento, e para isso são utilizadas as tecnologias da agricultura de precisão. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar a semeadura da soja em taxas diferenciadas, em zonas de aplicação determinadas pelo mapeamento da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo e suas relações com a fenologia da planta e produtividade. A CEa do solo foi diagnosticada através da sonda do Veris P4000 nas profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. Foi realizado o mapeamento da área e delimitação em zonas de aplicações. O manejo foi específico para cada zona, em taxas diferenciadas de sementes. Foram coletadas também informações da compactação do solo. O experimento foi conduzido na safra de 2016/2017 em Chapadão do Sul – MS. O delineamento foi inteiramente casualizado, com seis repetições em cada tratamento. A população de plantas variou entre 311, 360 e 422 mil plantas ha<sup>-1</sup> e a população fixa foi de 360.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram realizadas análises de altura da planta, índice de vegetação (NDVI) aos 50, 66 e 92 dias após a emergência, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo estimado o contraste entre agricultura de precisão *versus* agricultura convencional. Houve diferença no contraste entre agricultura de precisão *versus* agricultura convencional no manejo das diferentes populações de sementes. A variação na população de sementes proporcionou igualdade na produtividade e não interferiu na massa de grãos produzidos pela cultura da soja.

**PALAVRAS CHAVE:** População de Sementes, Tecnologia de Taxa Variável (VRT), Condutividade Elétrica Aparente do Solo (CEa).

### **SOYBEAN SEQUENCE AT VARIABLE RATE IN THE FUNCTION OF THE SOLAR ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE SOIL (CEa)**

**ABSTRACT:** The efficient and sustainable management of soybean agribusiness needs measures to meet the growing demand for food, using precision agriculture technologies. The objective of this work was to study soybean sowing at different seed rates, in application zones determined by mapping the apparent soil electrical conductivity (CEa) and its relationships with plant phenology and yield. Soil CEa was diagnosed using the Veris P4000 probe at depths of 0-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m. Area mapping and delimitation were performed in application zones. The management was specific for each zone, at different seed rates. Information on soil compaction was also collected. The experiment was conducted in the 2016/2017 harvest in Chapadão do Sul - MS. The design was completely randomized, with six replicates in each treatment. The plant population varied between 311, 360 and 422 thousand ha<sup>-1</sup> plants and the fixed population was of 360,000 ha<sup>-1</sup> plants. Plant height, vegetation index (NDVI) at 50, 66 and 92 days after emergence, the mass of 100 grains and grain yield were performed. The data were submitted to analysis of variance, estimating the contrast between precision agriculture versus conventional agriculture. There was a difference in the contrast between precision agriculture versus conventional agriculture in the management of different seed populations. The variation in the seed population provided equality in productivity and did not interfere in the grain mass produced by the soybean crop.

**KEY WORDS:** Seed Population, Variable Rate Technology (VRT), Apparent Soil Electrical Conductivity (CEa).



**INTRODUÇÃO:** A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) pode ser utilizada como indicador no monitoramento de características do solo, como salinidade, textura, umidade, densidade, matéria orgânica e CTC, em função da variabilidade na composição físico-química do solo (MOLIN e RABELLO, 2011). Na tentativa de desenvolver técnicas para medir indiretamente as propriedades do solo, têm sido estudados sistemas ópticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, mecânicos, fluxo de ar e acústicos (ADAMCHUK et al., 2004). Alguns desses princípios de funcionamento podem ser encontrados no equipamento Veris P4000 (Salina, KS, EUA), que em contato com o solo mensura sua CEa em profundidade através de uma sonda hidráulica com sensores (VERIS TECHNOLOGIES, 2018). Os mapas com base na variabilidade da CEa de uma região da lavoura, permitem identificar áreas com propriedades semelhantes e delimitar unidades de gerenciamento (FRAISSE et al., 2001; MOLIN e CASTRO, 2008). Essa estratégia pode aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais e reduzir o impacto da agricultura no ambiente (LUCIARI JUNIOR et al., 2011). As intervenções de manejo devem ser prescritas especificamente para cada zona considerando os fatores limitantes da produtividade, com aplicações diferenciadas como, por exemplo, as VRT (Tecnologia de Taxa Variável) (COELHO e SILVA, 2009), podendo ser recomendada pela variação da densidade de sementes específica para cada zona de aplicações estabelecida (COELHO e SILVA, 2009; LUCIARI JUNIOR et al., 2011). As diferenças de populações acarretam variações na fenologia da planta de soja. Maiores índices de área foliar são observados nos tratamentos referentes às maiores populações de plantas de soja por hectare (HEIFFIG et al., 2006). Assim, o estudo da semeadura em VRT é importante para a compreensão do grau de influência da agricultura de precisão e convencional na produtividade da soja. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo estudar a semeadura da soja em VRT, em zonas de aplicação determinadas pelo mapeamento da CEa do solo e suas relações com a fenologia da planta e produtividade.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na área experimental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, situada nas coordenadas geográficas S: 018° 77' 19" e W: 052° 62' 10, no ano agrícola 2016/17. Para a definição das diferentes zonas de aplicações foram coletados no perfil do solo dados de condutividade elétrica aparente (CEa) com auxílio de um sensor em tempo real, Veris modelo P4000 (Salina, KS, EUA) que foi acoplado a um trator Valtra, modelo BL88, o qual fornecia energia hidráulica e elétrica a sistema. Simultaneamente a coleta de CEa, foram coletados dados de compactação do solo quando este se encontrava na capacidade de campo. Os valores de CEa e RP foram amostrados em 78 pontos georeferenciados, nas profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. Após a coleta dos dados de CEa e RP, estes foram processados através do programas computacional ArcGis 10.4 (ESRI, Redlands, CA, USA), e elaborados os mapas por interpolação krigagem ordinária. Com o mapa da CEa na profundidade 0,0 a 0,2 m foram estabelecidas as três zonas de aplicações. Utilizou-se essa profundidade devido ao acúmulo da matéria orgânica que se restringe às camadas superficiais que promove um aumento expressivo na CTC do solo (CIOTTA et al., 2003), sendo este um dos atributos que tem maior relação com a CEa. Nas zonas estabelecidas, foram instaladas três populações de plantas em VRT que variou em em torno de 20% da população média (311, 360 e 422 mil plantas por hectare), e em taxa fixa (360 mil plantas ha<sup>-1</sup>) (Figura 1).

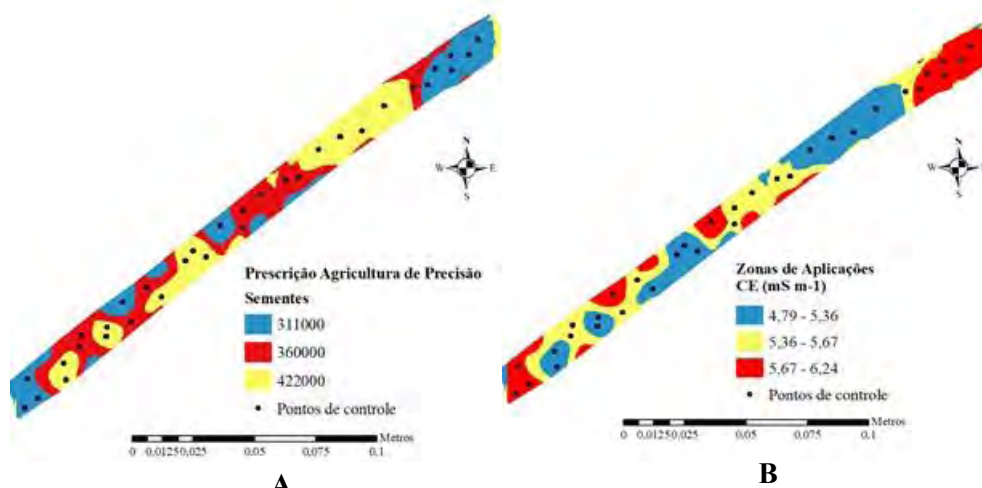


FIGURA 1. Mapa de prescrição de sementes em VRT em função da CEa do solo (A). Zonas de aplicações estabelecidas em conformidade com a CEa do solo (B). Ambos os mapas com três classes, e com os pontos de controle.

A região com menor CEa, recebeu a maior população de sementes, 422 mil sementes por hectare, devido a menor fertilidade nesse local. A região de maior condutividade elétrica aparente do solo representa maior potencial de vigor de plantas devido à elevada fertilidade, assim, recebeu a menor população de sementes, 311 mil sementes de soja por hectare. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados, com seis repetições em cada tratamento (VRT versus população fixa de sementes). A semeadura da soja, com a cultivar Desafio RR 8473 RSF, foi realizada no dia 16 de novembro de 2016, em uma área de 1 ha com histórico de 15 anos de sistema plantio direto. Nas diferentes zonas de aplicação foram definidos 33 pontos para as avaliações fenológicas e de produtividade. Para a análise fenológica, foi medido a altura da planta (ALT) e índice de vegetação (IV). A ALT foi medida no tronco principal da superfície do solo até o ponto de inserção da última folha totalmente expandida, aos 46, 58, 66 e 92 dias após a emergência (DAE). A diferença dos índices de vegetação NDVI foi mensurada manualmente a uma altura de 0,8 m do dossel das plantas, aos 50, 66 e 92 DAE, com o equipamento Crop Circle modelo ACS-470 (Holland Scientific, Lincon, NE). A navegação nos 33 pontos de amostragem foi por meio do GNSS Trimble Nomad (Sunnyvale, EUA). A colheita foi realizada manualmente em cada ponto amostral em uma área de 4,05 m<sup>2</sup>. Foi realizada a pesagem por parcela e corrigido a umidade a 14%. Após, calculou-se o peso médio da massa de 100 grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo estimado o contraste entre agricultura de precisão (populações de 311.000, 360.000 e 422.000 plantas ha<sup>-1</sup>) versus agricultura convencional (360.000 plantas ha<sup>-1</sup>) com o software Rbio (BHERING, 2017).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Houve significância no contraste entre a semeadura em taxa variada e taxa fixa para o NDVI avaliada aos 92 dias após a emergência (DAE), indicando diferença entre os manejos das diferentes populações de sementes. A diferença de massa foliar refletiu apenas no NDVI aos 92 DAE em decorrência da uniformidade no tamanho das plantas. Fato que não ocorreu aos 50 e 66 DAE, pois a cultura ainda não havia fechado completamente a entrelinha, e, elementos que compõem a superfície do solo (matéria orgânica, textura, composição mineralógica, rugosidade e umidade) afeta a reflectância do dossel interferindo na resposta espectral e, conseqüentemente, na determinação do NDVI (DALMOLIN et al., 2005). A Figura 2 demonstra que aos 92 DAE a agricultura convencional apresentou maiores médias de NDVI em relação à agricultura precisão. Nesse período as plantas já estão de tamanhos uniformes sem variação na densidade das mesmas, e em virtude do hábito de crescimento indeterminado e emissão de ramos laterais, a percepção das mudanças do NDVI é limitada (MERCANTE et al., 2009; GROFF et al., 2013).

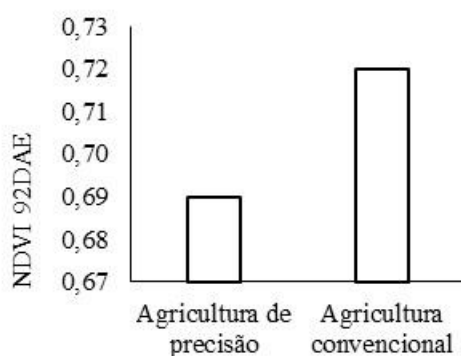


FIGURA 2. Contrastes entre agricultura de precisão versus agricultura convencional para o NDVI aos 92 dias após a emergência (DAE).

Os mapas gerados (Figura 3) apresentam a variabilidade espacial do índice de vegetação, NDVI aos 50, 66 e 92 DAE.

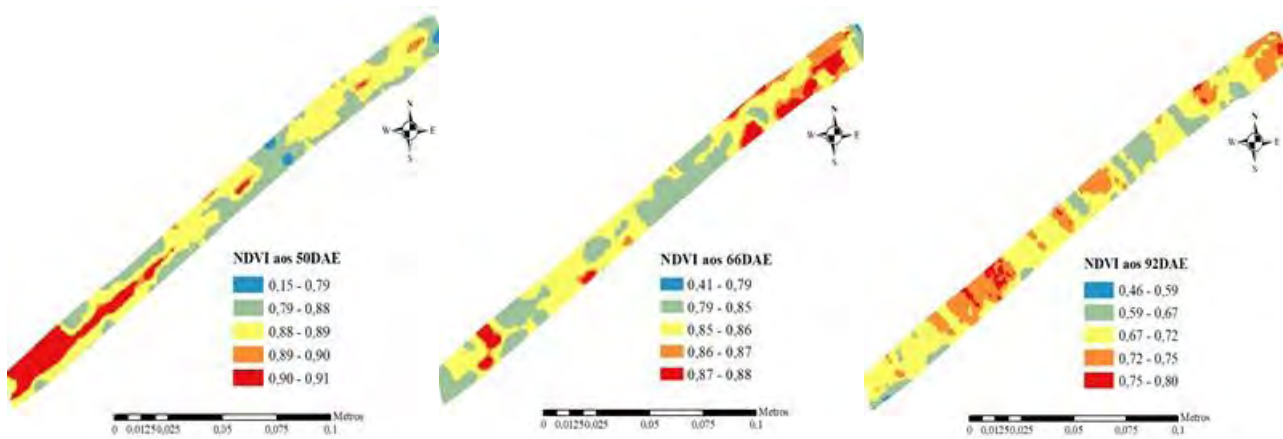


FIGURA 3. Distribuição espacial do NDVI com cinco classes, de acordo com as leituras realizadas aos 50, 66 e 92 DAE.

O NDVI aumentou gradativamente dos 50 até os 66 DAE, e aos 92 DAE houve um decréscimo no incremento de massa vegetal. Isso ocorreu porque a taxa de incremento de matéria seca na planta de soja aumenta gradativamente durante os estádios vegetativos de desenvolvimento até o R1, ocorrendo um gradativo decréscimo durante o período de enchimento de grãos (logo após R6) e terminando esse acúmulo após R6.5 (RITCHIE, 2000). O contraste para a variável CEa foi significativo nas profundidades de 0,0-0,2 m e de 0,2-0,4 m, devido ao acúmulo da matéria orgânica que se restringe às camadas superficiais, influenciando as condições físicas, químicas e biológicas do solo (ARAÚJO et al., 2016). O acúmulo de matéria orgânica no sistema de plantio direto promove um aumento expressivo na CTC do solo (CIOTTA et al., 2003), sendo este um dos atributos que tem maior relação com a condutividade elétrica aparente do solo (ARAÚJO et al., 2016). A RP foi significativa estatisticamente nas camadas mais profundas do solo, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m, estando estas mais compactadas. A camada superficial do solo, 0,0-0,2 m não foi estatisticamente significativa para a RP, devido ao fato de que essa camada é descompactada pelas máquinas de fertilizantes que descompacta o sulco de plantio entre profundidades de 0,08 e 0,12 m e devido à botinha da semeadora (BAIO et al., 2017).

Na Figura 4, foi observado que na agricultura convencional houve maior CEa em relação à agricultura de precisão nas duas profundidades significativas, 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

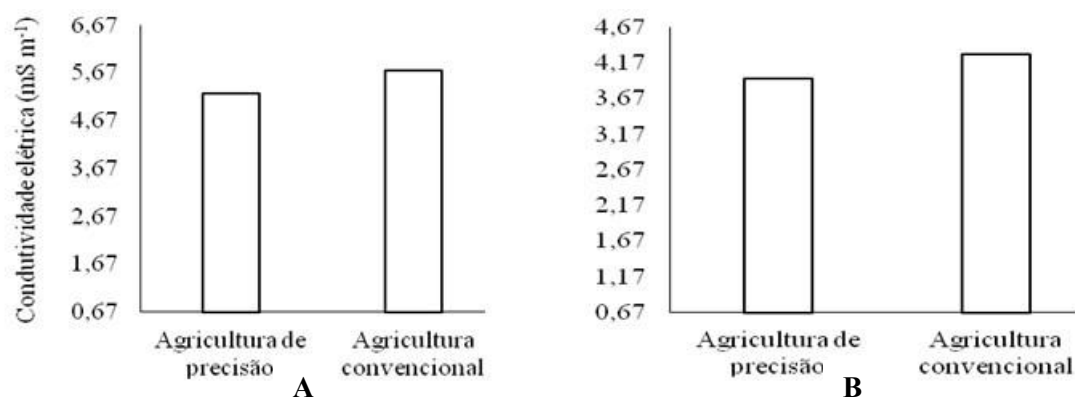


FIGURA 4. Contrastes entre agricultura de precisão *versus* agricultura convencional para a condutividade elétrica aparente do solo ( $\text{mS m}^{-1}$ ) nas profundidades de 0,0-0,2 m (A) e 0,2-0,4 m (B).

Na Figura 5, foi observado que na agricultura de precisão houve maior RP em relação à agricultura convencional nas duas profundidades significativas, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

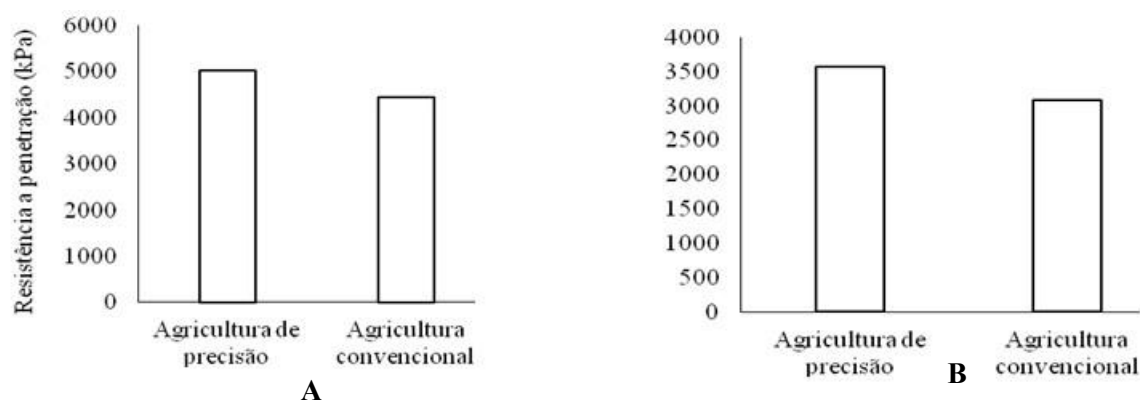


FIGURA 5. Contrastes entre agricultura de precisão *versus* agricultura convencional para a resistência mecânica do solo à penetração (kPa) nas profundidades de 0,2-0,4 m (A) e 0,4-0,6 m (B).

Não houve contraste significativo para altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) quando cultivada a soja sob agricultura de precisão e convencional. Esperava-se que na maior densidade populacional as plantas fossem mais altas, devido ao possível estiolamento causado pelo sombreamento, pois com o aumento da densidade de semeadura aumenta a competição intraespecífica por luz (MAUAD et al., 2010). No entanto, esse comportamento não foi verificado na altura das plantas avaliadas em diferentes estádios fenológicos, ao qual não foi significativo em nenhuma população de plantas, 311, 360 e 422 mil plantas por hectare. Pesquisas constataram não haver efeito significativo para massa de grãos em função da densidade de semeadura da soja. Contudo, a densidade de plantio interfere na produtividade de grãos, pois o aumento da densidade reduz o número de vagens por planta e número de grãos por vagem, mas eleva a produtividade final, sendo esta definida pela interação entre as plantas, o ambiente de produção e o manejo (MONTEIRO et al., 2015; FERREIRA et al., 2018). Esses resultados indicam que as diferenças entre os manejos avaliados influenciaram no comportamento agrônomo da soja. Isso possivelmente ocorreu devida a pequena variação na população de plantas utilizada. Em razão das condições de densidades estudadas, a massa de grãos e a produtividade não foram influenciadas. Desse modo, entende-se que houve efeito compensatório, certamente que o menor número de vagens por planta, foi compensado pelo aumento da densidade populacional (PEIXOTO et al., 2000). Apesar das parcelas de AP mostrarem menor CEa, indicando menor fertilidade potencial, e apresentarem maior compactação em profundidade, ainda assim, os índices NDVI aos 50 e 66 DAE mostraram-se iguais, concordando com os resultados de altura da planta aqui constatados. Ainda que os indicativos fossem contrários, a produtividade foi igual, mostrando que fazer a variação da população de sementes proporcionou a igualdade na produtividade, e que a agricultura de precisão não perde em nada para a agricultura convencional.

**CONCLUSÕES:** A agricultura de precisão *versus* agricultura convencional influenciou nas variáveis NDVI aos 92 DAE, na CEa e RP avaliadas em diferentes profundidades (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m). A semeadura da soja em taxa variada é uma ótima opção para incremento de produtividade, pois a variação na população de sementes proporcionou igualdade na produtividade.

#### REFERÊNCIAS:

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, p. 71-91, 2004.
- ARAÚJO, E. G.; CORRÊA, A. R.; LIMA, D. C. O. S.; PRANDO, E. P.; SENA, K. N.; MONTANARI, R.; SILVA, R. M. Análise espacial da condutividade elétrica e atributos físico-químicos de um Latossolo. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 31, p. 73-83, 2016.
- BAIO, F. H. R.; SCARPIN, I. M.; ROQUE, C. G.; NEVES, D. C. Soil resistance to penetration in cotton rows and interrows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 433-439, 2017.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017.

- CIOTTA, M. N.; BAYER, C. FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.
- COELHO, J. P. C.; SILVA, J. R. M. Inovação e tecnologia na formação agrícola. In: **Agricultura de Precisão**. Lisboa: Associação dos Jovens Produtores de Portugal - AJAP, 2009, 141 p.
- DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.
- FERREIRA, A. S.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J. C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 151-157, 2018.
- FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 44, n. 1, p. 155-166, 2001.
- GROFF, E. C.; NANNI, M. R.; POVH, F. P.; CEZAR, E. Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 517-526, 2013.
- HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.
- LUCIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; UMMUS, M. E.; INAMASU, R. Y. Zonas de Manejo: teoria e prática. In: **Agricultura de precisão: Um novo olhar**. São Carlos-SP: Embrapa Instrumentação. 2011. p. 60-64.
- MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v.3, n. 9, p. 175-181, 2010.
- MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens landsat 5/TM em área agrícola no Oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 328-338, 2009.
- MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**. v. 65, n. 6, p. 567- 573, 2008.
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.
- MONTEIRO, A. N. L.; ALVES, J. M. A.; MATOS, W. S.; SILVA, M. R.; SILVA, D. L.; BARRETO, G. F. Densidade de plantas e doses de NPK nos componentes de produção de soja-hortaliça na Savana de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n. 4, p. 352-360, 2015.
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimentos de grãos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.
- RITCHIE, S. W. Como a planta de soja se desenvolve. Piracicaba: Potafos - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato; 2000.
- VERIS TECHNOLOGIES. 2018. Disponível em: <<http://www.veristech.com/the-sensors/p4000>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2018.

## **SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E SAVI EM ÁREA DE CULTIVO CONVENCIONAL DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**THAYNÁ LORITZ LOPES FERREIRA DE ARAUJO E SILVA<sup>1</sup>, GUSTAVO HENRIQUE MENDES DE BRITO<sup>2</sup>, MYLENA MARQUES DORNELES<sup>1</sup>, MAURÍCIO OLIVEIRA BARROS<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Estudante de Agronomia, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia – GO, thaynaloritz@hotmail.com

<sup>2</sup>Engº Agrícola, Prof. Ms. Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia - GO

Apresentado no

**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**

*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Os índices de vegetação estão relacionados com parâmetros biofísicos da cobertura vegetal e possibilitam caracterizar fatores como índices de área foliar, biomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade, podendo também minimizar os efeitos da iluminação da cena e declividade na superfície que influenciam na reflectância da vegetação. Deste modo, o objetivo com este trabalho foi monitorar uma área comercial de 182 ha da cultura de cana-de-açúcar em cultivo convencional, que está inserida no município de Vila Propício, Goiás. Foram utilizadas imagens Landsat 8 Sensor OLI na órbita 222-71 durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura. Estas imagens foram convertidas em reflectância e gerados índices de NDVI e SAVI a cada 16 dias a partir do transplântio da cultura realizado no mês de fevereiro, possibilitando o monitoramento da área de acordo com as fases de desenvolvimento fenológico. Foi apresentado valores médios de NDVI maiores que os valores médios de SAVI, até os 275 dias após o plantio; depois disso ambos apresentaram valores médios idênticos. Concluiu-se que o SAVI apresentou melhores resultados na fase de brotação, na fase de perfilhamento ocorreu um aumento nos índices NDVI e SAVI, e na fase de crescimento vegetativo houve redução para em ambos.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, monitoramento, *Saccharum officinarum*

### **NDVI AND SAVI TIME SERIES IN CONVENTIONAL SUGARCANE CULTIVATION AREA**

**ABSTRACT:** The vegetation indices are related to biophysical parameters of the vegetation cover and allow to characterize factors such as foliar area indexes, biomass, photosynthetically active radiation absorbed, productivity, and also to minimize the effects of scene illumination and surface slope that influence vegetation reflectance. The objective of this work was to monitor a commercial area of 182 ha of conventional sugarcane cultivation, which is located in the municipality of Vila Propício, Goiás. Landsat 8 Sensor OLI images were used in orbit 222- 71 during the period of growth and development of the crop. These images were converted to reflectance and NDVI and SAVI indexes were generated every 16 days from the transplanting of the crop in the month of February, allowing the monitoring of the area according to the phenological development phases. Mean values of NDVI were higher than the mean values of SAVI, up to 275 days after planting; after that both presented identical mean values. It was concluded that the SAVI presented better results in the budding stage, in the tillering phase there was an increase in the NDVI and SAVI rates, and in the vegetative growth phase there was a reduction for both.

**KEYWORDS:** Remote Sensing, monitoring, *Saccharum officinarum*

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma cultura perene que perfilha abundantemente no início de seu desenvolvimento, tendo características varietais influenciadas pelo clima, manejo e práticas culturais, que definem o número de colmos por planta, altura e diâmetro do colmo, largura e comprimento das folhas e arquitetura da parte aérea. Embora seja uma planta rústica, a mesma tem um melhor desenvolvimento em solos de boa fertilidade, profundos, argilosos, com boa capacidade de retenção de água e pH de 6,0 a 6,5 (RIBEIRO et al., 2015; ZANZARINI et al., 2013; RODRIGUES, 1995). Devido as exigências da cultura tem-se adotado tecnologias avançadas com objetivo de manter elevados índices de produtividade, sendo o sensoriamento remoto uma das tecnologias utilizadas desde o monitoramento de áreas, comportamento da cultura durante o seu ciclo, balanço energético, estimativa de produtividade, entre outras aplicações (MACHADO et al., 2014; ANDRADE et al., 2014).

Os índices de vegetação, resultado da combinação de dados das bandas espectrais que normalmente passam por transformações lineares nas faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, tem sido utilizado em áreas canavieiras de todo Brasil para estabelecer relações entre o padrão de evolução das plantas ao longo do tempo, bem como avaliar índice de área foliar, biomassa vegetal, teor de clorofila, produtividade e a radiação fotossinteticamente ativa e absorvida pelo dossel (OLIVEIRA et al., 2016; PONZONI et al., 2012; REGÔ et al., 2012). Entre os diversos índices propostos pode-se destacar o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), apresentando forte correlação com crescimento de culturas e variando de -1 a +1, e o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), sendo uma adaptação do NDVI com objetivo de minimizar os efeitos do solo no sinal da vegetação e incorporar uma constante de ajuste do solo (ZANZARINI et al., 2013; REGO et al., 2012; RAMOS et al., 2010; BIRTH; McVEY, 1968).

Para agricultura de precisão, os índices de vegetação e outros produtos de sensoriamento remoto possibilitam o acompanhamento do desenvolvimento das culturas, bem como identificar a variabilidade espacial dos fatores que interferem na produtividade a um baixo custo, maior agilidade e assertividade nos diagnósticos e tomadas de decisões no manejo agrícola e planejamento de safras (MCBRATNEY et al., 2015).

Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi construir perfis temporais dos índices NDVI e SAVI a partir de imagens do satélite Landsat 8 sensor OLI e analisar o comportamento dos índices de vegetação em função das fases de desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de cultivo comercial de cana-de-açúcar da empresa Jalles Machado, no município de Vila Propício, Goiás. A fazenda está localizada entre as coordenadas geográficas de 15°18'29" S, 48°53'41" W, (Figura 1), possui 182,41 hectares cultivados com as variedades CTC9003 e CTC15, altitude média de 640 m, com clima da região tropical úmido, invernos secos, verões chuvosos e temperatura variando em torno dos 20° C a 25°C.

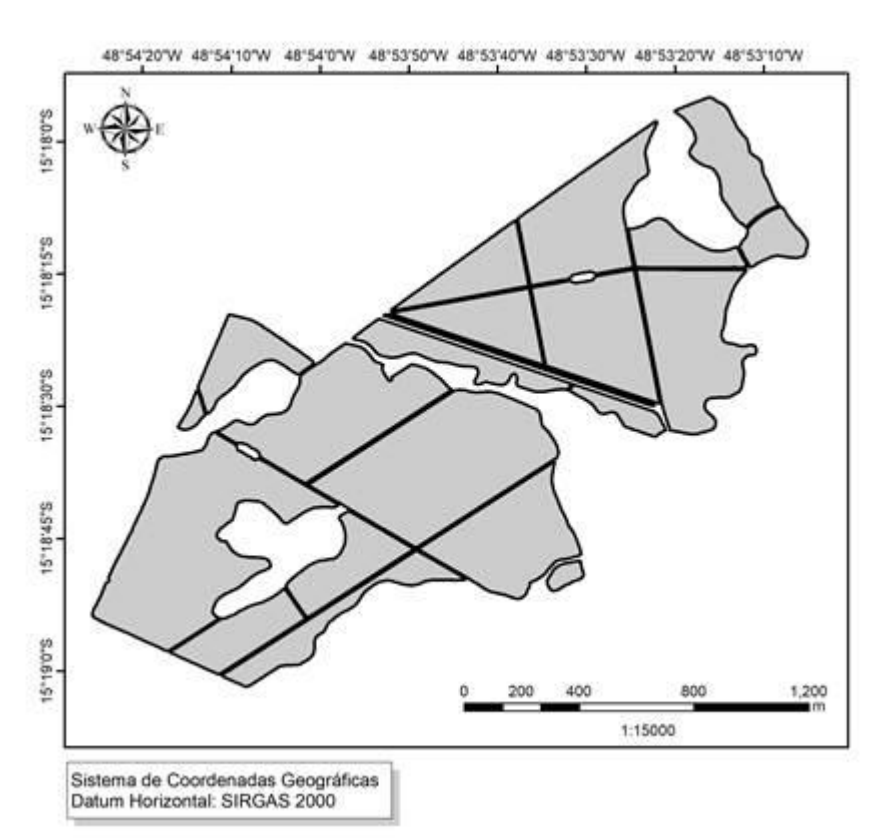


FIGURA 1. Área de cultivo de cana-de-açúcar

Para o monitoramento da área foram utilizadas imagens captadas pelo sensor OLI do satélite Landsat 8, órbita 222, ponto 71, sendo adotada a primeira imagem disponível após o período de transplântio da cultura (02/02/2016 a 09/02/2016). Todas as imagens obtidas passaram por um refinamento para definir quais cenas foram utilizadas em função da visibilidade (atmosfera livre de presença de nuvens), qualidade do imageamento do sensor (sem ruídos) e homogeneidade do período de captura da cena. Em cada cena previamente selecionada realizou-se transformação dos números digitais (ND) das bandas do vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 5) em reflectância de acordo com a metodologia de calibração radiométrica do satélite Landsat 8 e disponível no seu guia.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI) foram realizados de acordo com as metodologias propostas por Rouse et al., (1973) e por Huete (1988). Para descrição e análise dos índices de vegetação foram construídas séries temporais utilizando imagens coletadas entre os meses de fevereiro e dezembro do ano de 2016 que compreendem as fases de desenvolvimento da cana conforme estabelecido por Gascho e Shih (1983). Este procedimento permitiu a extração dos valores máximo, mínimo e médio dos índices NDVI e SAVI. A análise entre os diferentes índices de vegetação foi realizada separando os pontos em que a cultura da cana apresentou padrões semelhantes, principalmente, quanto à época do transplântio, o desenvolvimento e a época da colheita.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O perfil temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI foram construídos até a fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, e permitiu identificar em linhas gerais que o NDVI sempre apresentou valores médios maiores que os SAVI até em torno de 275 DAP (dias após o plantio) (FIGURA 2). Borato e Gomide (2013) também encontraram comportamento semelhante na comparação entre NDVI e SAVI quando caracterizaram a cobertura vegetal ao norte de Minas gerais. Ribeiro et al. (2015) analisaram o perfil temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar no município de Jaíba-MG e identificaram valores médios de NDVI superiores aos valores médios do SAVI.



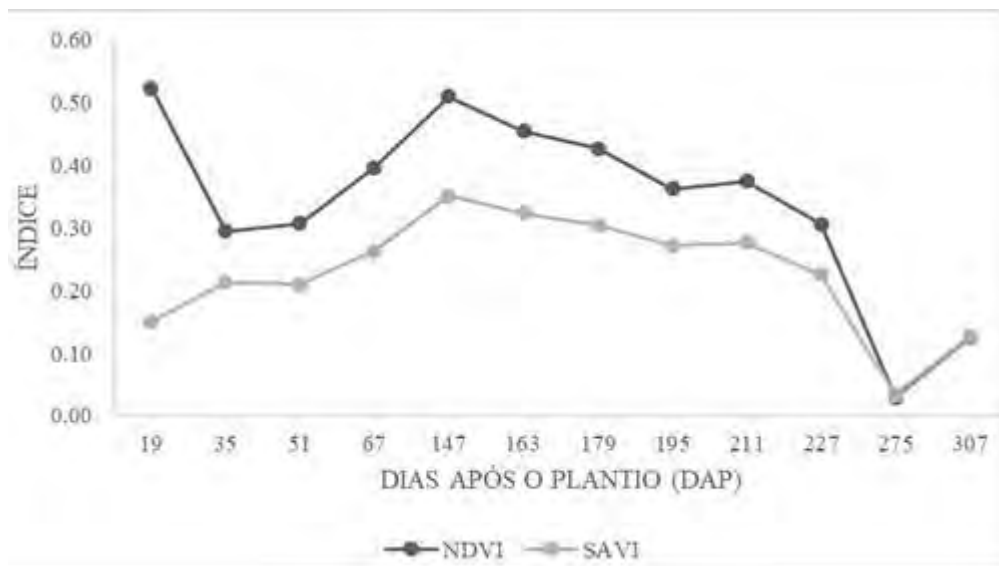


FIGURA 2. Perfil temporal dos índices de vegetação SAVI e NDVI na cultura de cana-de-açúcar

As maiores variações entre os índices de vegetação NDVI e SAVI foram observadas na transição da fase de perfilhamento para a fase de desenvolvimento dos colmos aos 147 DAP. Segundo Ribeiro et al. (2015), Simões et al. (2009), Frasson, et al. (2007) as maiores variações dos valores médios de NDVI e SAVI ocorrem nas fases de desenvolvimento vegetativo e maturação, o comportamento espectral da cultura acompanha a evolução temporal de variáveis agrônomicas, fato que demonstra a potencialidade do sensoriamento remoto na detecção de dados para monitorar as condições de produção de culturas agrícolas.

Durante a fase de brotação (0 a 30 DAP) só estava disponível uma imagem da área de estudo e o valor médio para o período de 19 DAP foi de 0,52 para o NDVI e 0,15 para o SAVI. Possivelmente esta diferença ocorreu devido a influência do solo exposto nas fases iniciais e destacados pelo SAVI. Segundo Gilabert et al., (2002) e Eastman (2006) o SAVI minimiza os efeitos da refletância do solo devido ao fator de ajuste da densidade da vegetação. Durante a fase de perfilhamento (40 – 120 DAP) o NDVI e SAVI apresentaram valores médios bem próximos, com 0,31 e 0,21, respectivamente. Além disso, foi observado que os valores dos índices cresceram durante toda a fase de perfilhamento. Os valores máximos dos índices foram apresentados na transição da fase de perfilhamento para o crescimento vegetativo em torno de 147 DAP. Frasson, et al. (2007) ao analisar a variabilidade temporal do NDVI em diferentes variedades de cana-de-açúcar observou que os valores de NDVI foram consideravelmente maiores no início do período vegetativo.

Durante o crescimento vegetativo (120 – 360 DAP) ambos índices decresceram até em torno de 275 DAP, e apresentando valores médios de 0,37 para o NDVI e 0,27 para o SAVI. Analisando perfis temporais NDVI em áreas de cana em São Paulo, Gonçalves et. al. (2013) também verificaram padrões semelhantes durante a fase de crescimento vegetativo utilizando o sensor AVHRR / NOAA e MODIS. Simões et al. (2009) observou em uma área de cana-de-açúcar comercial que durante a fase de crescimento vegetativo o índice de NDVI teve um aumento significativo, posteriormente, na fase de maturação teve uma estabilização do índice seguido de um decréscimo em virtude da maior presença de palha. Ramme et. al. (2010) analisaram perfis temporais NDVI MODIS em uma área de cana-soca de maturação tardia e também identificaram mudanças fenológicas na cultura da cana-de-açúcar por intermédio dos perfis temporais. A partir de 275 DAP os valores de NDVI e SAVI apresentaram crescimento e valores médios idênticos.

**CONCLUSÃO:** É possível caracterizar o comportamento e desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar utilizando imagens provenientes do monitoramento remoto e uso dos índices de vegetação NDVI e SAVI. Os índices de vegetação NDVI e SAVI apresentaram valores crescentes durante toda a fase de perfilhamento da cultura e diminuição dos índices a partir da fase inicial de maturação, quando a cultura apresenta um maior número de folhas secas.

**AGRADECIMENTOS:** A Faculdade Evangélica de Goianésia.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; MENEZES, S. J. M. C. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar utilizando o Sebal e imagens Landsat. **Revista brasileira de agrometeorologia**, v.29, n.3, p. 433 - 442, 2014.
- BIRTH, G. S.; MCVEY, G. Measuring the colour of growing turf with a reflectance spectrophotometer. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 6, p. 640-643, 1968.
- BORATTO, I. M. de; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI E IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 - 18 abril 2013, INPE, 7345 - 7352.
- EASTMAN, J.R.; ANDES, I.; Guide to GIS and Image Processing. **Clark Laboratory**. Clark university. Worcester/MA. USA. 2006. 284p.
- FRASSON, F. R., MOLIN, J.P., POVH, F. P., SALVI, J. V.; Comportamento temporal do NDVI Mensurado com sensor óptico ativo para diferentes variedades de cana-de-açúcar. **BioEng**, Campinas, 1 (3): 237-244, set/dez., 2007.
- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F.; **Sugarcane**. In: Teare, I. D.; Peet, M. M. (ed.). Crop-Waterrelations. New York: Wiley-Interscience, 1983. p.445-479.
- GILABERT, M. A; GONZÁLEZ-PIQUERAS; J; GARCÍA-HARO, F.J; MELIA, J. A; Generalized soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 82. p. 303–310. 2002.
- GONÇALVES, R. R. do V.; ZULLO, Junior J.; MARQUEZINI, O.; AMARAL, B. do F.; SOUSA, E. P. M. de; ROMANI, L. A. S. Análise da relação entre os perfis de NDVI obtidos dos sensores AVHRR/NOAA e MODIS nas áreas produtoras de cana-de-açúcar em São Paulo. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 0640 – 0647.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309. 1988.
- MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÍNIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM– Landsat 5 e o algoritmo Sebal no litoral sul de Pernambuco. **Revista brasileira de agrometeorologia**, v.29, n.1, p.55-67, 2014.
- MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2005.
- OLIVEIRA, T. C; FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A. Temporal variation of normalized difference vegetation index (NDVI) and calculation of the crop coefficient (Kc) from NDVI in areas cultivated with irrigated soybean. **Ciência Rural**, v. 46, p. 1683-1688, 2016.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. São Paulo: **Oficina dos Textos**, 2012. 159 p.
- RAMME, F. L. P.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Engenharia agrícola**, v.30, n.3, p.408-494, 2010.
- RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; JUNIOR, J.C.F.M.; CANDEIAS, A.L.B. APLICAÇÃO DOÍNDICE DA VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA AVALIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E POTENCIAIS PARA UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. In:III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...** Recife - PE,27-30 de julho de 2010 p. 001 – 006.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1217-1229, 2012.
- RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; NASCIMENTO, C. R. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar em Jaíba – MG. **Nativa**, v.03, n.03, p.150-155, 2015.
- RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100p. (Apostila).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCE TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** v. 1, p.309-317, 1973.

SIMÕES, M.S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Orbital spectral variables, growth analysis and sugarcane yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 451-461, 2009.

ZANZARINI, F.V.; PISSARRA, T.C.T; BRANDÃO, F.J.C; TEIXEIRA, D. D. B; Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.608-614, 2013.

## **SIMILARIDADE ENTRE MAPAS DE NDVI OBTIDOS POR CÂMERAS MULTIESPECTRAIS INSTALADAS EM RPA**

**GUSTAVO F. FONSECA<sup>1</sup>, JOÃO V. P. F. FONTOURA<sup>2</sup>, KAREN A. D. DE MORAIS<sup>3</sup>, RODRIGO A. DE O. MALTA, FÁBIO H. R. BAIO.**

<sup>1</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS, Fone: (67) 984690276, gustavo.figueiredo01@hotmail.com

<sup>2</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS

<sup>3</sup>Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS

Discente de Agronomia, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS

Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Associado, CPCS, UFMS, Chapadão do Sul-MS, fabiobaio@ufms.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A utilização de imagens NDVI tem ganhado espaço na agricultura de precisão como uma importante ferramenta no monitoramento das culturas cultivadas, com isso, há vários modelos de câmeras multiespectrais disponíveis no mercado. Este trabalho teve como objetivo estudar a similaridade entre os mapas NDVI gerados por quatro câmeras multiespectrais instaladas em RPA (remotely piloted aircraft). O experimento foi conduzido na área experimental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, o delineamento utilizado foi em blocos ao acaso (8 classes dos alvos de controle), com 9 repetições em cada tratamento (câmera), foi utilizado os RPA (remotely piloted aircraft) hexacoptero multirrotor Xfly X800 e o RPA de asa fixa Sensefly eBee RTK equipados com as câmeras multiespectrais Micasense Rededge-M, Parrot Sequoia, Sony S110 NIR e Tetracam ADC Lite. As maiores similaridades entre os dados de NDVI para todos os alvos foram entre as câmeras Parrot Sequoia e Rededge-M e Parrot Sequoia e Sony S110 NIR. A câmera Tetracam ADC Lite foi a que apresentou maior diferenciação das demais.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de vegetação, sensor multiespectral, culturas anuais.

## **SIMILARITY BETWEEN NDVI MAPS OBTAINED BY MULTI-PURPOSE CAMERAS INSTALLED IN RPA**

**ABSTRACT:** The use of NDVI imagery has gained space in precision farming as an important tool in monitoring cultivated crops, so there are several models of multispectral cameras available in the market. This work aimed to study the similarity between the NDVI maps generated by four multispectral cameras installed in remotely piloted aircraft (RPA). The experiment was conducted in the experimental area of the Federal University of Mato Grosso do Sul, with a randomized block design (8 classes of control targets), with 9 replicates in each treatment (camera). piloted XFA X800 multirrotor hexacoptero and Sensefly eBee RTK fixed wing Arp equipped with the Micasense Rededge-M multispectral cameras, Sequoia micasense, Sony S110 NIR and Tetracam ADC Lite. The largest similarities between the NDVI data for all targets were between the Sequoia and Rededge-M cameras and Sequoia and Sony S110 NIR. The Tetracam ADC Lite camera was the one that presented the greatest differentiation of the others.

**KEYWORDS:** vegetation index, multispectral sensor, annual crops.

**INTRODUÇÃO:** O sensoriamento remoto (SR) se caracteriza pela obtenção de informações de um objeto sem existir um contato físico com o mesmo, e muitas vezes à longas distâncias. Várias aplicações podem ser abordadas através de SR, dentre elas, se destacam: (a) a estimativa da biomassa e produtividade da cultura; (b) o monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas e (c) a avaliação do estágio fenológico (BRANDÃO, 2009). Uma das principais aplicações dos dados obtidos remotamente tem sido a detecção de diferenças na refletância, relacionadas à densidade da cobertura vegetal (SHIRATSUCHI et al., 2014). Existem vários sensores multiespectrais no mercado, com diferentes padrões espaciais e resoluções espectrais, levando incertezas sobre o uso mais apropriado da agricultura de precisão em tecnologia IV. O

NDVI é um indicador numérico que usa as bandas do espectro eletromagnético referentes à luz visível (vermelho, azul e verde) e ao infravermelho para realizar medidas de densidade de crescimento de plantas e determinar se o objeto analisado contém vegetação viva saudável (SOUZA et al.,2014). Este trabalho teve como objetivo estudar a similaridade entre os mapas de NDVI gerados por quatro câmeras multiespectrais instaladas em RPA (remotelly piloted aircraft).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na área experimental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, situada nas coordenadas geográficas S: 018° 77' 19" e W: 052° 62' 10", a uma altitude média de 810 m, em Chapadão do Sul – MS, no ano agrícola 2017/18. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso (8 classes dos alvos de controle), com 9 repetições em cada tratamento (câmera). Foram utilizados os RPA (remotelly piloted aircraft) hexacoptero multirrotor Xfly X800, com controle autônomo programável de voo e o RPA de asa fixa Sensefly EBee RTK. O X800 foi equipado com a câmera Micasense Rededge-M e com a câmera Tetracam ADC Lite., O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia e com a câmera modificada Sony S110 NIR. O sobrevoo sobre a área foi realizado à 100 m de altitude local para todos os equipamentos, permitindo uma resolução espacial nas imagens de 0,10 m para a câmera modificada Sony S110 NIR, 0,15 m para a câmera Rededge-M, 0,17 m para a câmera multiespectral Parrot Sequoia e 0,15 m para a câmera Tetracam ADC Lite. As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. Os mapas de NDVI foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ESRI ArcGis 10.5. Os sensores multiespectrais possuem as especificações técnicas apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Informações técnicas comparativas das câmeras multiespectrais.

Fabricante	Micasense	Micasense	Sony	Tetracam
Modelo	Rededge-M	Parrot Sequoia	S110 NIR	ADC Lite
Número de sensores	5	5	1	1
Sensor	1,3 MP	1,2 MP	18,0 MP	3,2 MP
Resolução espacial em sobrevoo a 100 m	0,15 m	0,17 m	0,10 m	0,15 m
Faixa espectral	475, 560, 668, 840 e 717 nm	530-570, 640-680, 730-740, 770-810 nm	550, 625, 850 nm	520–600, 630–690, 760–900 nm
Bandas espectrais	Verde, Azul, Vermelho, Red-edge, NIR	Verde, Azul, Vermelho, Red-edge, NIR	Verde, Vermelho, NIR	Verde, Vermelho, NIR
GPS interno	Não	Sim	Não	Não
Sensor de luminosidade	Sim	Sim	Não	Não
Magnetômetro	Sim	Sim	Não	Não

Foi realizada a análise de variáveis canônicas e estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis com o software Rbio (BHERING, 2017). Para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlações foi utilizada a rede de correlações, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das bordas foi controlada por aplicação de um valor de corte igual 0,60, o que significa que apenas  $|r_{ij}| \geq 0,60$  têm as suas arestas em destaque. Finalmente, correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados obtidos permitiram comparar a diferença de comprimento de onda capturada pelas diferentes câmeras avaliadas. As imagens obtidas pelas câmeras Micasense Rededge-M, Sequoia sensefly e Sony S110 NIR mostraram que os valores médios de refletância obtidos da superfície de cada banda diferiram entre elas (FIGURA 1), enquanto as imagens obtidas pela Tetracam ADC-lite obteve uma grande diferença comparada com as demais, isso se deve ao maior comprimento de onda, conferindo menor resolução comparada com as demais. As imagens que obtiveram maior similaridade foram as obtidas pelas câmeras Micasense e Sequoia, Sony S110 e Sequoia e a que obteve menor detalhe na definição foi a câmera Tetracam devido a sua capacidade de capturar maior espectro de banda (menor resolução).

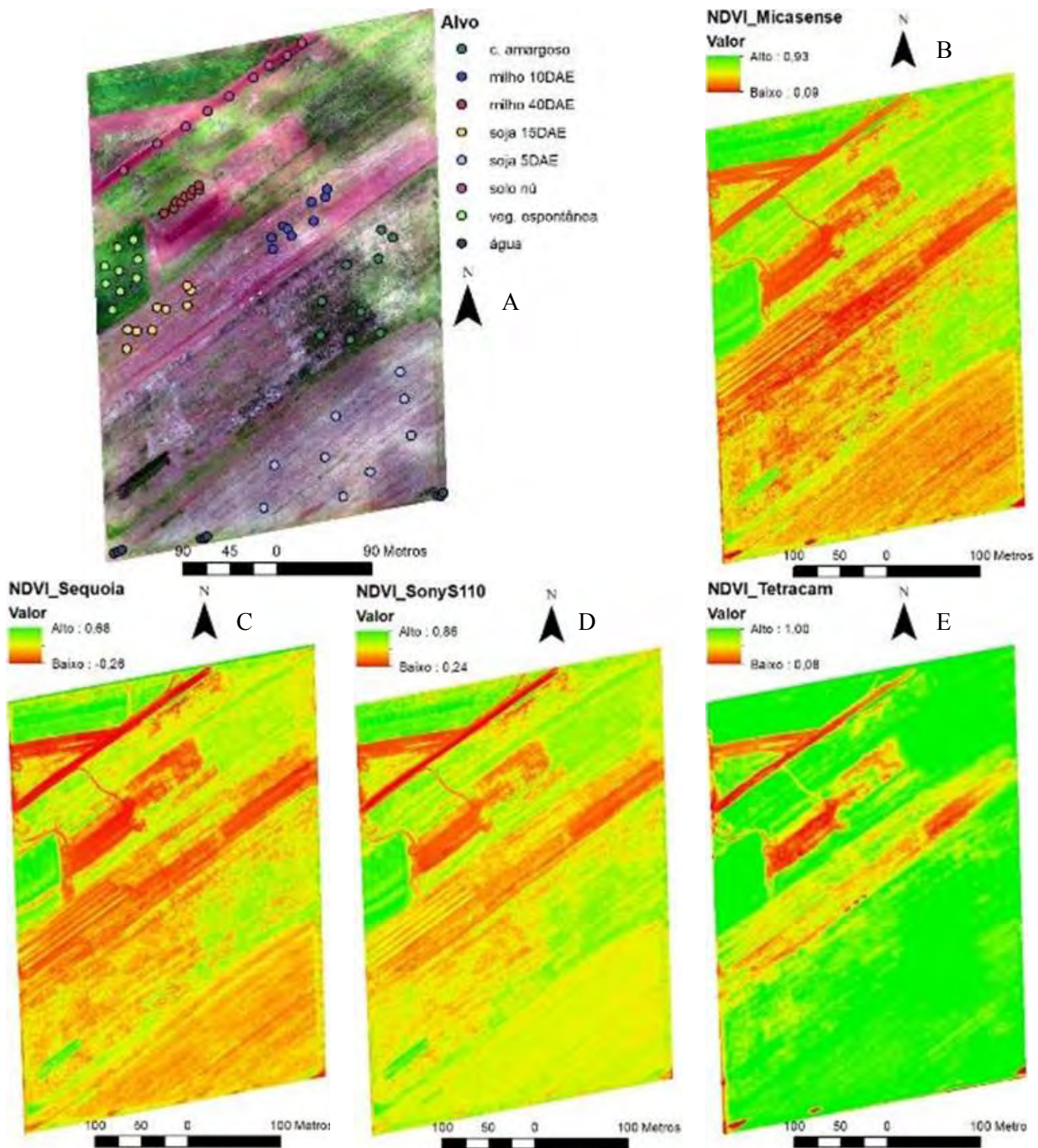


FIGURA 1. Imagem nos comprimentos de onda do visível da área experimental e alocação dos pontos nas classes (A), e mapas NDVI obtidos com o uso das câmeras multiespectrais: Micasense (B); Sequoia (C); Sony S110 NIR (D); e Tetracam ADC Lite (E).

Os resultados obtidos pelas câmeras tiveram algumas similaridades na captura das imagens. A câmera Tetracam obteve os maiores valores não diferenciando dos diferentes pontos que foram colhidas as imagens de amostra ficando entre 1,0 a 0,8 nos diferentes pontos com vegetação e valores altos para solo e água (FIGURA 2). A câmera que obteve menores valores médios de NDVI foi a câmera sequoia, tendo uma diferença maior entres os pontos coletados e com isso mostrando ter uma resolução mais precisa entre as demais, também, foi a única que apresentou valores negativos para solo e água, o mesmo resultado foi obtido pelo Landsat-8 OLI (LI et al.,2014).

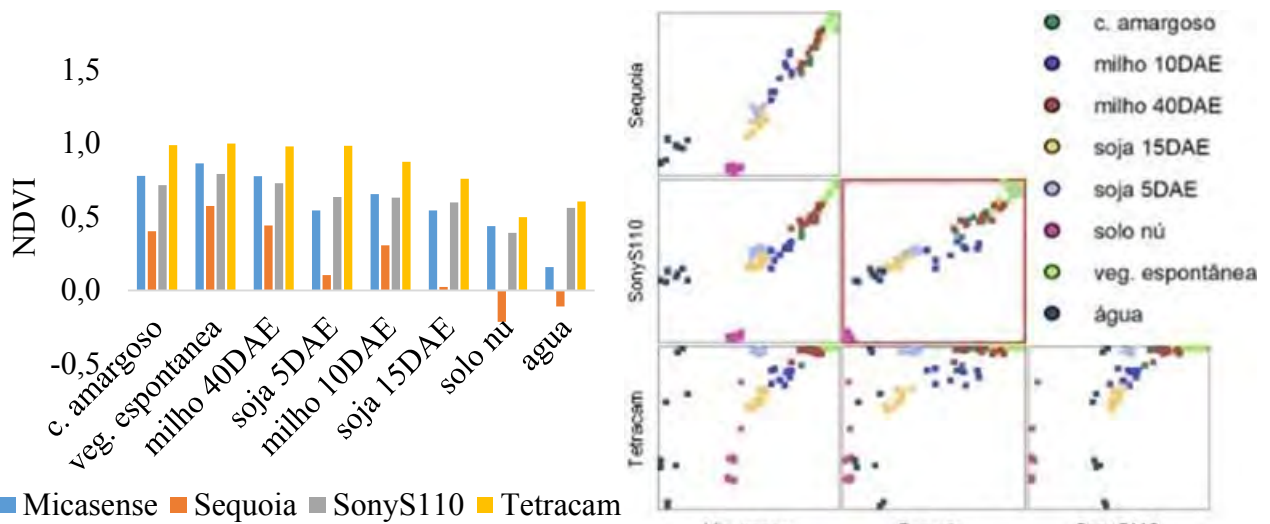


FIGURA 2. Valores médios comparativos do NDVI obtidos pelas câmeras multiespectrais avaliadas para as oito classes/alvo analisados.

A rede de correlações apresenta uma maior correlação positiva entre os valores mensurados pelas câmeras Sequoia e Sony e Sequoia e Micasense. Todavia, os valores obtidos pela câmera Tetracam proporcionaram menores correlações com todas as outras câmeras. A Figura 3B apresenta a análise multivariada por variáveis canônicas para os tratamentos. Observa-se que a variabilidade dos dados para as classes dos solos e da água foram muito diferentes das demais classes, assim, os valores mensurados nessas duas classes por todas as câmeras foram muito discrepantes das demais. Observa-se também que quanto maior a massa vegetal (vegetação espontânea, milho 40DAE e capim amargoso), menor é a variabilidade dos dados mensurados. A partir dos autovetores plotados é possível verificar que câmera Sequoia foi o equipamento que mais contribuiu para a diferenciação entre vegetação espontânea e milho 40DAE dos demais alvos. Assim como a câmera Micasense para o capim amargoso. Nenhuma câmera diferenciou adequadamente os alvos vegetais com baixos valores e maior variabilidade do NDVI, os quais são: soja 5DAE, soja 15DAE e milho 10DAE.

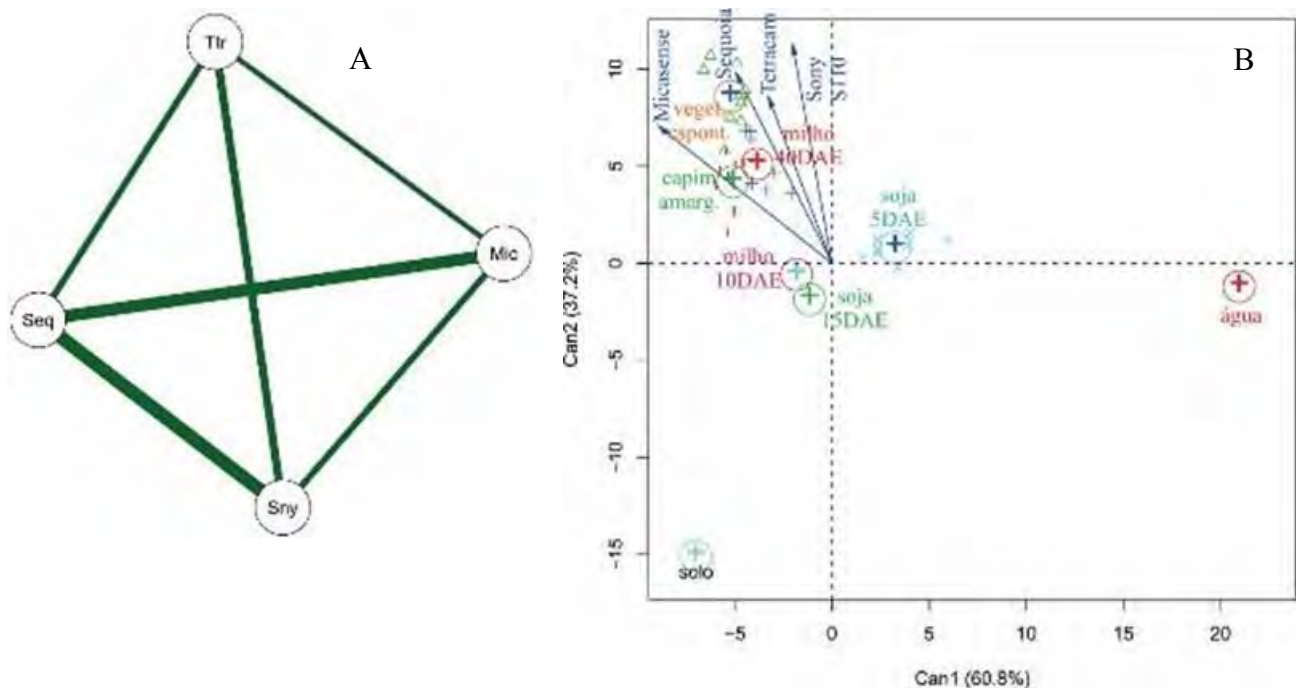


FIGURA 3. Rede de correlações entre as câmeras utilizadas (A) e análise por variáveis canônicas em relação às classes dos alvos analisados (B).

**CONCLUSÃO:** As maiores similaridades entre os dados de NDVI para todos os alvos foram entre as câmeras Sequoia e Micasense e Sequoia e Sony S110 NIR. A câmera Tetracam ADC Lite foi a que apresentou maior diferenciação das demais.

## REFERÊNCIAS

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

BHERING LL. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 2017;17(2):187-190.

LI, P.; JIANG, L.; FENG, Z. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors. **Remote Sensing**. 2014, 6(1), 310-329; doi:10.3390/rs6010310

SHIRATSUCHI, L.S.; BRANDÃO, Z.N.; VICENTE, L.E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. de F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF : Embrapa, 2014. 596 p.

SOUZA, H. B.; BAILO, F. H. R.; NEVES, D. C. Using passive and active multispectral sensors on the correlation with the phenological indices of cotton. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.4, p.782-789, 2017.



## **SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PREVISÃO DA DISPERSÃO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA A PARTIR DE DADOS METEOROLÓGICOS E DE OCORRÊNCIA DA DOENÇA**

**FRANCIELLE MARQUES DO NASCIMENTO<sup>1</sup>, IVAIRTON MONTEIRO SANTOS<sup>2</sup>, PAULO AFONSO FERREIRA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Bacharel em Ciência da Computação, Pesquisadora, INF, Campus do Vale - UFRGS – Porto Alegre/RS, (franciellemarques15@gmail.com)

<sup>2</sup> Prof. Dr. em Ciência da Computação, Pesquisador, ICET, Campus Universitário do Araguaia – UFMT – Barra do Garças/MT.

<sup>3</sup> Prof. Dr. em Agronomia, Pesquisador, ICET, Campus Universitário do Araguaia – UFMT – Barra do Garças/MT.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Um dos desafios atuais na agricultura é conseguir realizar um controle eficaz das pragas e doenças. A possibilidade de prever uma situação de risco pode trazer benefício ao processo agrícola. Assim, o uso da inteligência computacional pode auxiliar no monitoramento de lavouras, com base na coleta e análise de dados importantes para obter informações que tragam benefícios aos produtores e os auxiliem no manejo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de suporte para previsão da dispersão da ferrugem asiática da soja no Brasil. Foram utilizados dados de ocorrência da doença entre as safras de 2006/2007 e 2016/2017, fornecidos pelo Consórcio Antiferrugem, e dados meteorológicos obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Aplicou-se a técnica de inteligência artificial rede neural, do tipo Long Short-Term Memory (LSTM), para fazer uma avaliação dos dados, propiciando um sistema de previsibilidade em relação à dispersão da ferrugem asiática da soja, o que proporciona uma ferramenta adicional para suporte aos processos de planejamento, manejo e prevenção da doença. Foram realizados diversos experimentos a fim de avaliar diferentes contextos. Os melhores contextos apresentaram-se com uma média de acerto acima de 60%, avaliados por meio de validação cruzada. Os resultados mostram o potencial da técnica que tende a obter bons resultados com a melhora na precisão dos dados e na modelagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phakopsora pachyrhizi*, controle de doenças, rede neural recorrente.

### **COMPUTATIONAL SYSTEM FOR FORECASTING THE DISPERSION OF ASIAN SOYBEAN RUST THROUGH METEOROLOGICAL AND DISEASE OCCURRENCE DATA**

**ABSTRACT:** One of the agriculture challenges is an efficiency pests and diseases control. The risk situation prediction of diseases is an important tool to farmer. This work aims to use artificial intelligence to support the farmer in crop monitoring process, getting important data and analyze them, to be used as aid in crop management. The objective of this research is to develop a support system for forecasting the Asian soybean rust dispersion in Brazil. The data used consist that the disease occurrence from 2006/2007 until 2016/2017 crop, by the Antiferrugem agency, and meteorological data obtained from the Instituto Nacional de Metereologia (INMET). The neural network Long Short-Term Memory technique was used to evaluate the data, providing a predict system for the Asian soybean rust dispersion which provides an additional tool to support the processes of planning, managing and disease preventing. Several experiments were carried out to evaluate different contexts. The best results obtained from experiments was a mean value over 60%, evaluated through of cross-validation. The results obtained show the potential of the technique that trend to obtain better results with the improvement of the input data precision and the modeling.

**KEYWORDS:** *Phakopsora pachyrhizi*, disease control, recurrent neural network.

**INTRODUÇÃO:** Apesar dos avanços nos processos de manejo e tecnologias, um desafio que assola os produtores de maneira relevante ainda são as pragas e doenças nas diversas culturas. De acordo com estudos realizados em 2015, a perda média anual da produção agrícola no Brasil, devido ao ataque de pragas e doenças que atacam as plantas, foi equivalente a 25 milhões de toneladas, representando 7,7% da produção agrícola

nacional (AGROLINK, 2015). Uma das principais dificuldades enfrentadas pelos produtores rurais é o manejo de pragas e doenças em suas lavouras. Nesse sentido, a prevenção, a partir de um processo de previsão considerando um contexto de risco, se mostra como a melhor estratégia de controle e de uso racional de agrotóxicos (SECOM, 2014). Com o objetivo de propor um sistema computacional com capacidade de prever situações de risco de ocorrência de doenças em lavouras, este trabalho busca encontrar uma solução utilizando técnicas de inteligência artificial, como *deep learning* e redes neurais, para auxiliar nos processos do campo, a fim de maximizar a produção, reduzir custos e minimizar a contaminação ambiental. Este trabalho considera como contexto específico a análise para a doença ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), a principal doença para esta cultura (AMORIM; REZENDE; CAMARGO, 2016).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Considerando como referência para este trabalho a doença ferrugem asiática da soja e o objetivo de elaborar um sistema computacional de alerta, que seja capaz de prever uma situação iminente de ocorrência da doença, foram estudados métodos computacionais com capacidade de realizar previsões a partir de séries históricas. As redes neurais recorrentes (Recurrent Neural Network) (HAYKIN, 1999; GRAVES, 2012; GOODFELLOW, BENGIO, COURVILLE, 2016), em especial a técnica Long Short Term Memory (LSTM) (OLAH, 2015), se destacaram como candidatas em função das suas características compatíveis com o contexto estudado. A primeira etapa consistiu da coleta e preparação de dados, que foram obtidos a partir de uma base de dados fornecida gentilmente pelo Consórcio Antiferrugem da Embrapa Soja e dados meteorológicos do INMET, disponível na Internet. A base de dados do Consórcio Antiferrugem contém registros de ocorrências da ferrugem asiática da soja desde a safra de 2004/2005 até a safra 2016/2017. Nesta pesquisa optou-se por fazer um mapeamento da ocorrência da ferrugem asiática da soja a nível de estados da federação, a fim de analisar o comportamento e dispersão da doença no Brasil. Os estados selecionados são os principais produtores de soja e que possuem registros junto ao Consórcio Antiferrugem, sendo eles: Bahia (BA), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Maranhão (MA), Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP) e Tocantins (TO), totalizando 11 estados para análise. As condições ambientais são fatores importantes para o processo de modelagem e para o sistema de previsibilidade, pois a partir delas e dos registros de ocorrências que se tornará possível identificar padrões para classificar o risco ou não de ocorrer uma doença. O INMET disponibiliza os dados de centenas de estações meteorológicas, o ideal seria utilizar os dados daquelas estações mais próximas dos principais produtores de soja de cada estado. No entanto, boa parte dessas bases de dados possuem lacunas, que prejudicam a análise. Sendo assim, optou-se pela escolha daquelas estações meteorológicas que apresentavam a melhor consistência de seus dados. Os municípios com estações escolhidas foram Bom Jesus da Lapa-BA, Goiânia-GO, Poxoréo-MT, Paranaíba-MS, Lavras-MG, Balsa-MA, Irati-PR, Santa Maria-RS, São Joaquim-SC, Franca-SP, Palmas-TO. De posse dos dados o passo seguinte consistiu de preparar os dados para serem empregados na rede neural. O propósito desta etapa é selecionar os atributos que têm potencial em proporcionar a descoberta de padrões que caracterizam a ocorrência da ferrugem asiática da soja. Este processo é fundamental para que se evite ambiguidade e/ou consideração de informações irrelevantes pela rede neural. Foram selecionados da base de dados fornecida pelo Consórcio Antiferrugem os atributos: Estado (estado da federação analisado), Data (data de registro da ocorrência), Ocorrência (acumulado de ocorrências para o respectivo estado e safra) e Safra (safra analisada). Além destes atributos, foram criadas duas listas, uma com a relação de estados vizinhos para cada estado e outra que correlaciona, ao longo da série temporal, o acumulado de ocorrências para cada estado vizinho. Para as variáveis ambientais, buscou-se selecionar dados meteorológicos que são reconhecidamente influentes na ocorrência da ferrugem asiática da soja, como a precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura compensada média e umidade relativa. As ocorrências de lacunas na série meteorológica foram preenchidas com o cálculo da média em relação aos valores do mesmo dia/mês dos anos anteriores e posteriores. Finalmente os dados para treinamento da rede neural foram organizados de modo a unir os atributos selecionados dos dados meteorológicos e do Consórcio Antiferrugem, compatibilizados com a série temporal (dados agrupados pela data). Além disso, um atributo binário Y foi adicionado para que seja registrado a ocorrência e não ocorrência da doença em cada entrada na base de dados. Os dados foram agrupados por estado da federação. Com os dados prontos para serem utilizados, foram elaborados dois métodos para uso dos dados: 1) no primeiro contexto os dados foram utilizados no seu conjunto completo, conforme descrito anteriormente, apenas separando um subconjunto dos registros para servir de treino da rede neural e outro para teste. Para este caso, cada estado da federal teve 4017 registros, totalizando 44.187 registros. 2) no segundo contexto, os dados foram processados de modo que para cada ocorrência da ferrugem asiática da soja foi gerado uma amostra positiva, que consiste em um agrupamento de 30 registros correspondentes aos dias anteriores à data da primeira ocorrência (da ferrugem) na safra. Do mesmo modo, foi gerado uma amostra negativa que corresponde ao contexto de não ocorrência da doença,

com dados anteriores à amostra positiva. Para avaliar as características da base de dados e o comportamento da rede neural foram realizados experimentos com algumas variações nos conjuntos de amostras, realizando filtros ou adições de amostras, mas obedecendo sempre essa lógica. Por exemplo, em um contexto onde existem duas amostras negativas para uma positiva em cada safra, obtêm-se no máximo 33 amostras, sendo 22 negativas e 11 positivas (por estado brasileiro) e 363 amostras para toda a base de dados. Lembrando que cada amostra possui 30 registros, tem-se o total de 10.980 registros para esse tipo de organização dos dados. Vale destacar que uma normalização foi aplicada em todos os dados, colocando os valores dos atributos no intervalo de 0 a 1, para minimizar a discrepância entre as variáveis. Em relação à configuração da rede neural, foi empregada a técnica LSTM. O método adotado de treinamento da rede foi a aprendizagem supervisionada, onde o processo de treinamento da rede é realizado a partir dos dados de entrada com as suas respectivas classes, ou classificação (neste trabalho é a ocorrência/ou não ocorrência da doença). Posteriormente o conjunto de dados para testes são classificados pela rede com base no aprendizado gerado a partir do conjunto de treinamento, e então se compara a resposta dada pela rede com a classificação determinada na base de dados. Baseado em experimentação e organização de redes neurais apresentadas na literatura, a arquitetura da rede foi definida com uma camada LSTM, que recebe como entrada os dados, uma camada densamente conectada, seguida de uma camada com *dropout* de 20% (esse valor foi obtido por experimentos realizados pelos autores da técnica), para evitar *overfitting*, e por fim a camada de saída a qual possui ativação *sigmoide*. A saída da rede é uma probabilidade, essa função se faz necessária para que os resultados sejam restritos às classes de 1 e 0 (classes de ocorrência e não ocorrência). O treino foi realizado utilizando como função de perda a entropia cruzada, otimizador Adam (Adaptive Moment Estimation) e a métrica de avaliação utilizada foi a acurácia e o coeficiente de Matthews. A Figura 1 ilustra a organização do modelo da rede neural adotada.

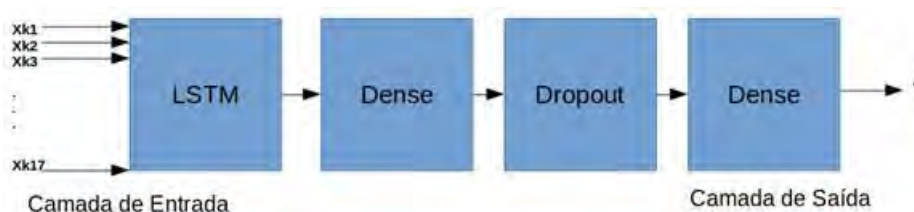


FIGURA 1. Configuração e organização das camadas da rede neural.

A fase de experimentos buscou elaborar diferentes contextos de organização dos dados e parâmetros. Esse processo ocorreu de forma empírica, a partir de hipóteses elaboradas numa fase de planejamento dos experimentos. Fundamentalmente os dados de entrada foram organizados de duas maneiras distintas: 1) dados brutos, uso direto dos dados meteorológicos e da ferrugem asiática da soja, conforme seleção dos atributos e organização explicada anteriormente; 2) dados pós-processados, onde os dados brutos foram processados de modo que na ocorrência do primeiro registro de ocorrência da ferrugem (ao menos) uma amostra positiva e (ao menos) uma amostra negativa foram gerados. Os experimentos foram realizados para cada estado brasileiro independentemente. A validação do modelo foi feita utilizando validação cruzada, em que são separados 6 conjuntos distintos de treino e teste, computando a acurácia de cada conjunto para obter a média e o desvio padrão dos resultados. Também foram utilizadas métricas de avaliação dos modelos preditivos e de classificação, a partir da matriz de confusão, para calcular a acurácia e o coeficiente de Matthews. A matriz de confusão possui variáveis absolutas, sendo Verdadeiros Positivos (VP), Verdadeiros Negativos (VN), Falsos Positivos (FP), Falsos Negativos (FN), onde os resultados positivos referem-se a um caso de ocorrência, e os negativos de não ocorrência. A medida de acurácia é uma variável que representa a proporção de predições classificadas corretamente, ou seja, a capacidade do modelo em acertar os casos de ocorrência e não ocorrência da doença. A Equação (1) descreve como a acurácia é calculada:

$$\text{Acurácia} = \frac{VP - VN}{n} \quad (1)$$

onde  $n = VP + VN + FN + FP$

Como a acurácia é sensível à distribuição dos valores dos resultados, podendo levar a uma análise imprecisa em relação à qualidade da solução, optou-se por também avaliar os resultados a partir do coeficiente de correlação de Matthews (1975), que consiste numa medida de qualidade que analisa as classificações (binárias) mesmo quando existe desbalanceamento entre as classes de ocorrência e não ocorrência. O coeficiente assume valores que variam entre [-1 e +1], onde coeficientes +1 correspondem a uma predição perfeita, 0 predição aleatória e -1 predição imperfeita. O coeficiente de Matthews é obtido a partir da fórmula da Equação (2):

$$CM = \frac{VP \times VN - FP \times FN}{\sqrt{((VP + FP) \times (VP + FN)) \times ((VN + FP) \times (VN + FN))}} \quad (2)$$

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na fase de testes do sistema foram elaborados diversos experimentos distintos que, exceto no primeiro que utilizou os dados preparados em sua configuração original, variou a quantidade de amostras positivas e negativas e também modificou (suprimindo) parcialmente o conjunto de dados. As especificações dos principais testes e seus resultados são apresentados a seguir. **Experimento 1:** Neste primeiro experimento a rede LSTM recebeu como entrada toda a série histórica de cada estado, sendo que 80% dos dados foram para treino e 20% para teste. A acurácia foi calculada com base nos dados para teste. A Tabela 1 apresenta os resultados por estado, e consiste da média de 10 execuções.

TABELA 1. Resultados obtidos no Experimento 1, utilizando os dados brutos, pós organização.

<i>Medidas</i>	<i>Estados brasileiros</i>										
	<i>BA</i>	<i>GO</i>	<i>MA</i>	<i>MG</i>	<i>MS</i>	<i>MT</i>	<i>PR</i>	<i>RS</i>	<i>SC</i>	<i>SP</i>	<i>TO</i>
Acurácia	0,72	0,75	0,64	0,77	0,84	0,73	0,85	0,73	0,77	0,69	0,40
C. Matthews	0,54	0,59	0,00	0,61	0,73	0,51	0,68	0,49	0,61	0,52	0,00

Os valores obtidos no experimento demonstraram uma boa capacidade de acerto, com destaque para os resultados dos estados de MS e PR, com taxa superior a 80%. A exceção foi o estado de TO, com taxa aproximada de apenas 40%. A correlação de Matthews indica que a capacidade de predição nessa configuração foi significativa, com índices acima de 50%. Entretanto, os estados de MA e TO tiveram uma predição aleatória (Coeficiente de Matthew igual a zero). Neste experimento que considerou os registros diários (sem a elaboração de amostras), é possível prever o contexto futuro imediato, após a sequência da série histórica, com uma segurança de acerto superior a 70% em média (conforme resultados obtidos) para a maioria dos estados. Num contexto mais elaborado de previsão, essa estratégia pode ser utilizada alimentando o sistema com dados futuros, empregando os dados de previsões meteorológicas e dados sobre ocorrências registradas da ferrugem asiática da soja. **Experimento 2:** A partir do Experimento 2 foi utilizado o método que gera amostras, conforme explicado na seção anterior. Neste experimento foram geradas uma amostra positiva e duas amostras negativas. Dessa forma, na ocorrência de um registro da doença, os 30 dias que antecedem o registro são agrupados de modo a compor a amostra positiva, enquanto que os registros entre 30 e 60 dias anteriores ao caso correspondem à primeira amostra negativa, e os registros entre 60 e 90 dias à segunda amostra negativa. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com o Experimento 2.

TABELA 2. Resultados obtidos no Experimento 2, considerando uma amostra positiva para 2 negativas.

<i>Medidas</i>	<i>Estados brasileiros</i>										
	<i>BA</i>	<i>GO</i>	<i>MA</i>	<i>MG</i>	<i>MS</i>	<i>MT</i>	<i>PR</i>	<i>RS</i>	<i>SC</i>	<i>SP</i>	<i>TO</i>
Acurácia	0,61	0,54	0,71	0,77	0,60	0,48	0,63	0,37	0,79	0,56	0,61
C. Matthews	0,07	-0,01	0,33	0,47	0,09	-0,21	0,19	-0,32	0,63	-0,02	0,03

Os resultados apresentaram-se com uma acurácia média de 60%. No entanto, houveram estados com acurácia próxima ou inferior a 50% (estados de GO, MT, RS e SP). A correlação de Matthews confirma que para os quatro estados não é possível prever a ocorrência da ferrugem asiática da soja, pois apresentaram índice negativo. O estado de RS obteve o pior coeficiente, com taxa de -0,3194. O melhor estado foi SC que obteve 0,6346 no coeficiente de Matthews. Em média, esse experimento alcançou maior confiabilidade negativa, ou seja, fez mais predições corretas com os casos negativos. Isso era esperado em função da relação de duas amostras negativas para uma positiva. O gráfico da Figura 2 apresenta a média da acurácia por estado. Observa-se que a barra de erro é relativamente alta, fazendo com que a maioria dos resultados estejam na margem de erro dos demais, ou seja, são equivalentes.



FIGURA 2. Média da acurácia e desvio padrão do Experimento 2.

**Experimento 3:** O Experimento 3 segue o mesmo princípio do Experimento 2, onde na ocorrência da ferrugem é gerado uma amostra positiva, no entanto, nesse experimento apenas uma amostra negativa é gerada. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos pelo Experimento 3.

TABELA 3. Resultados obtidos no Experimento 3, considerando uma amostra positiva e uma negativa.

Medidas	Estados brasileiros											
	BA	GO	MA	MG	MS	MT	PR	RS	SC	SP	TO	
Acurácia	0,46	0,42	0,67	0,42	0,50	0,53	0,50	0,46	0,63	0,42	0,35	
C. Matthews	-0,21	-0,33	0,72	-0,23	-0,03	0,10	0,00	-0,19	0,35	-0,17	-0,79	

Os resultados da acurácia demonstram que o sistema foi incapaz de prever sobre a ocorrência da ferrugem para a maioria dos estados, com taxas próximas ou inferiores a 50%. Apenas SC e MA apresentaram resultado relativo, mesmo assim com acurácia em torno de 65%. A correlação de Matthews obteve coeficientes negativos, o que indica que as previsões realizadas foram ineficazes. Nesse experimento a base de dados foi reduzida quantitativamente, passando a ser insuficiente para identificação de padrões pela da rede neural, o que pode explicar os resultados ruins. **Experimento 4:** Este experimento também se baseia no princípio do Experimento 2, no entanto mais uma amostra positiva foi adicionada, caracterizando duas amostras positivas e duas amostras negativas. Para este caso, a amostra positiva adicional, considerou 30 dias após o registro da ocorrência da ferrugem asiática da soja. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos pela rede neste experimento.

TABELA 4. Resultados obtidos no Experimento 4, considerando duas amostras positivas e duas negativas.

Medidas	Estados brasileiros											
	BA	GO	MA	MG	MS	MT	PR	RS	SC	SP	TO	
Acurácia	0,67	0,65	0,89	0,64	0,67	0,54	0,68	0,47	0,79	0,73	0,49	
C. Matthews	0,43	0,32	0,81	0,30	0,35	0,14	0,40	-0,10	0,59	0,47	-0,03	

Ao comparar os resultados do Experimento 4 com os do Experimento 2 observa-se que a maioria dos estados obtiveram melhor acurácia, as exceções são MG e TO. O coeficiente de Matthews também apresentou melhores resultados, tendo apenas TO e RS com índices negativos (no experimento 2 foram 4 estados com índices negativos). Apesar do aumento no número de amostras, RS continuou apresentando os piores resultados. Neste experimento, o estado de MA destacou-se com um coeficiente de 0,8102. Outros experimentos foram elaborados e testados, especialmente para avaliar a consequência em se utilizar apenas dados meteorológicos (sem dados sobre ocorrência/dispersão nos estados vizinhos). Em todos os demais testes os resultados obtidos se apresentaram piores. O Experimento 1 mostrou que os dados podem ser utilizados em sua configuração “bruta”. As taxas de acerto desse experimento foram boas, obtendo coeficiente de Matthews, na maioria dos casos, acima de 50% e os resultados para alguns Estados obtiveram mais que 90% de acerto dos casos positivos. Os experimentos realizados utilizando as amostras foram importantes para avaliar como os atributos refletem nos resultados, de um modo geral, foi possível observar que, amostras insuficientes apresentam resultados ruins, a organização e construção delas também interferem na qualidade da predição da ferrugem asiática da soja. Os experimentos que foram propostos para avaliar o quanto as informações de ocorrências nas vizinhanças do estado poderiam auxiliar na predição da ferrugem asiática da soja, obteve sucesso, pois foi possível averiguar que empregar apenas dados meteorológicos reduz a capacidade preditiva

do modelo. O que reforça a importância de levar em consideração a dispersão da doença nos estados vizinhos. Considerando que a base de dados utilizada como entrada na rede neural possui algumas deficiências, devido as generalizações realizadas para mensurar o risco de ocorrência por estado, e o método de preenchimento de lacunas nas séries meteorológicas, os resultados do Experimento 2 apresentaram-se bons, com uma média de acerto de 60% entre os estados, apresentando coeficientes de Matthews para a maioria dos estados positivos, o que indica que essa estratégia, em um contexto real pode contribuir na previsão de ocorrência da ferrugem asiática da soja.

**CONCLUSÃO:** O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou uma análise de como a Inteligência Computacional pode contribuir na agricultura de precisão, especialmente aplicada ao problema da dispersão da ferrugem asiática da soja. De modo geral, o sistema de suporte desenvolvido para previsão da dispersão da ferrugem asiática da soja no Brasil, apresentou-se como uma técnica que pode colaborar com o manejo da doença e auxiliar o agricultor na tomada de decisões. Apesar da base de dados utilizada apresentar algumas deficiências (por exemplo, o método de preenchimento das lacunas nas séries temporais, ou o processo de seleção das estações meteorológicas), os resultados dos melhores experimentos demonstraram que a rede neural obteve uma acurácia de 60% a 70% em média. Isso demonstra que o trabalho tem potencial e que é provável que com a otimização dos modelos apresentados, com o uso de dados especializados, entre outras ações de aprimoramento, que seja possível o desenvolvimento de um sistema de predição mais apurado, com respostas mais consistentes e com aplicação prática real. Como trabalhos futuros, propõem-se aplicar este trabalho utilizando dados do Consórcio Antiferrugem com precisão de municípios (e não por estados); definir novas modelagens para representar a vizinhança nos dados; melhorar a estratégia e precisão de seleção de estações meteorológicas; e aplicar outras técnicas de redes neurais, como por exemplo, Gated Recurrent Unit (GRU), ou Convolutional LSTM, para efeito de comparação.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq e à FAPEMAT.

## REFERÊNCIAS

- AGROLINK. *Pragas causam perdas de até 55 bilhões à agricultura no brasil*. Disponível em: <[http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/noticia/pragas-causam-perdas-de-ate-r--55-bilhoes-a-agricultura-no-brasil\\_220429.html](http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/noticia/pragas-causam-perdas-de-ate-r--55-bilhoes-a-agricultura-no-brasil_220429.html)>. Acesso em: 11 fev. 2017.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; CAMARGO, L.F.A. **Manual de Fitopatologia**, volume 2, 5ª edição. Agronômica Ceres, 2016. 810p.
- GOODFELLOW, I., BENGIO, Y., COURVILLE, A. **Deep Learning**. MIT Press, 2016. Disponível em <<http://www.deeplearningbook.org>>
- GRAVES, A. **Supervised Sequence Labelling with Recurrent Neural Networks**. Ed. Springer, 2012.
- HAYKIN, S. **Neural Networks - A comprehensive foundation**. McMaster University Hamilton, Canada. Ed. Pearson Education, 1999. 823p.
- MATTHEWS, B. W. Comparison of the predicted and observed secondary structure of T4 phage lysozyme. *Biochim. Biophys. Acta*, 1975. 442-451pp.
- OLAH, C. *Understanding LSTM Networks*. 2015. Disponível em: <<http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/#fn1>> Acesso em 12 de fev. 2018
- SECOM, Secretaria de Comunicação. *Agricultura melhor prevenir do que remediar*. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1958038/artigo---agricultura-melhor-prevenir-do-que-remediar>>. Acesso em mar. 2017.

## **SISTEMA DE GESTÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS (SIGMA) PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTO E DESEMPENHO OPERACIONAL**

**ANDERSON DE TOLEDO<sup>1</sup>, HEVANDRO C. DELALIBERA<sup>1</sup>, KELVIN ADRIAN VIEIRA<sup>3</sup>,  
NILSON V. G. BEZERRA<sup>4</sup>, DANIEL F. COSTA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Pesquisador, IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina – PR, Fone (43) 3376-2000, [anderson@iapar.br](mailto:anderson@iapar.br)

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pesquisador, IAPAR, Londrina – PR.

<sup>3</sup> Graduando em Ciência da Computação, UEL, Bolsista de Iniciação Tecnológica do CNPq – ProICI/PIBITI IAPAR, Londrina – PR.

<sup>4</sup> Desenvolvedor, Agropixel, Londrina – PR.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A criação de softwares e aplicativos tem se mostrado uma peça fundamental no desenvolvimento mundial. Na área agrícola, tem-se um vasto campo para atuação, que pode ser abrangido desde softwares informativos até para capacitação e tomada de decisões. Diante do cenário da mecanização agrícola no Brasil e da demanda por aplicações versáteis e integradas para o gerenciamento de informações, IAPAR e Agropixel estabeleceram uma parceria para o desenvolvimento do Sistema de Gestão de Máquinas Agrícolas - SIGMA. Os objetivos do projeto foram: desenvolver um sistema e aplicativos para gestão econômica com foco em máquinas agrícolas; disponibilizar o sistema desenvolvido para produtores rurais; criar um banco de dados para pesquisa com as informações adquiridas pelo sistema e aplicativos. Foi desenvolvido utilizando modernas linguagens de programação, para oferecer ao usuário uma experiência de uso amigável e intuitiva e facilitar as atualizações e desenvolvimento de novos módulos para o sistema. A metodologia utilizada nos cálculos segue as recomendações consagradas na literatura específica. O SIGMA oferece aos usuários a análise de investimento das máquinas agrícolas, informando o viabilidade de negócio conforme a produção agrícola e o gerenciamento das operações mecanizadas, indicando se o dimensionamento está adequado para realizar a operação no período disponível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura digital, custo operacional, viabilidade de negócio.

### **AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT SYSTEM (SIGMA) TO INVESTMENT ANALYSIS AND OPERATIONAL PERFORMANCE**

**ABSTRACT:** The creation of softwares and applications plays a key role in the worldwide development. The agribusiness is a vast field for development, ranging from informative software to training and decision-making. Given the scenario of agricultural mechanization in Brazil and the demand for versatile and integrated applications for information management, IAPAR and Agropixel have established a partnership for the development of the Agricultural Machinery Management System - SIGMA. The objectives of the project were: to develop a system and applications for economic management with focus on agricultural machines; to make it available, up and running for the farmers; and to create a database to research with the information acquired by the system and applications. It was built using modern programming languages, to offer friendly experience and intuitive use for users and to facilitate the updates and development of new system modules. The methodology used in the calculations was based in recommendations enshrined in the specific literature. SIGMA offers the investment analysis of agricultural machinery, informing the break-even point according to agricultural production and the management of the mechanized operations, indicating if the agricultural machinery configuration can properly carry out the operations in the available period indicated by user.

**KEYWORDS:** Digital agriculture, operational cost, break-even point.

**INTRODUÇÃO:** O aumento do número de máquinas em operação, a disponibilização de programas de financiamento e acesso ao crédito, dentro outros fatores, incentivaram os produtores rurais a renovarem e/ou adquirirem novas máquinas em intervalos cada vez menores. A falta de mão de obra para diversas operações agrícolas, fez com que a mecanização dos sistemas de produção se tornasse a solução mais viável e tangível para se manter e até aumentar os níveis de produtividade das áreas agrícolas. A quantidade de tratores vendidos anualmente no Brasil é oscilante, sendo que na última década atingiu os maiores níveis desde o início da mecanização no Brasil, nos anos 60 e 70 (ANFAVEA, 2018). Isso representa que os agricultores passaram por um processo de renovação de frota, e aquisição de máquinas modernas e com custo mais elevado, criando a necessidade de ter sistemas de gerenciamento eficazes para a redução de seus custos de produção. A correta utilização das máquinas agrícolas pode gerar significativa economia na demanda de energia e conseqüente redução de custos operacionais, redução de custos com manutenção e uso de insumos, todos estes influenciando diretamente os custos de produção agrícola. Portanto, o gerenciamento das máquinas agrícolas torna-se essencial para redução de custos de produção. Conforme o Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2013), o total de máquinas no Brasil chega a quase 4 milhões, dentre tratores, semeadoras, colhedoras, pulverizadores e outros implementos de preparo de solo e manejo de culturas. Segundo o Censo, as regiões Sul e Sudeste agregam mais de 70% do total da quantidade de máquinas agrícolas em operação. Como afirmam MONTEIRO e SILVA (2009), realizar a operação agrícola de acordo com um planejamento, de forma eficiente e segura, registrar os dados relativos ao trabalho, como o conjunto mecanizado utilizado, operador, operação realizada, local, consumo de combustível e outros insumos, são providências fundamentais para um bom planejamento agrícola. Com a evolução da tecnologia e o aparecimento da Internet as pessoas, inclusive os produtores rurais, estão se “informatizando”, entrando na era digital. Neste processo, com um simples clique podem acessar as mais diversas informações contidas ao redor do mundo com uma facilidade jamais vista anteriormente. A Internet por si e em *smartphones* e *tablets* é um mundo sem fronteiras e sem barreiras, onde a informação flui livremente, e para encontrá-la, basta você saber o endereço ou o aplicativo. A oferta de produtos e serviços utilizando esta tecnologia tem crescido rapidamente por vários motivos, entre eles estão a grande interação, facilidade de pesquisa, comparação de preços e características entre produtos, além de outros recursos que estes sistemas disponibilizam. Para construir aplicativos para celulares e internet, várias linguagens e ferramentas surgiram, facilitando o desenvolvimento, cada uma com uma particularidade diferente, porém todas com o mesmo ideal, “tornar a internet e os dispositivos móveis mais interativos, ágeis e seguros”(SOLER e MORAES, 2010). O desenvolvimento de softwares tem se mostrado uma peça fundamental no desenvolvimento mundial, sendo que os sistemas computacionais estão presentes em muitas áreas empresarias e industriais. Estes, quando aplicados de forma correta, auxiliam pessoas e empresas a obterem melhor eficiência de seus equipamentos, em seus produtos e serviços. A utilização de softwares está fazendo parte cada vez mais do cotidiano das pessoas. Com o advento dos *smartphones* e *tablets* a inclusão digital está aumentando em diversos meios da sociedade e com isso a demanda por novos sistemas tem aumentado (SOLER e MORAES, 2010). Na área agrícola em especial, tem-se um vasto campo para desenvolvimento, que pode ser abrangido desde softwares informativos até para capacitação e tomada de decisões. Portanto, em função do aumento do número e disponibilidade de Máquinas Agrícolas no campo, cada vez maiores e com maior quantidade de tecnologia embarcada, e também em função da demanda por aplicações versáteis e integradas para o gerenciamento de informações, propõe-se o desenvolvimento deste sistema de aplicações voltadas ao gerenciamento de Máquinas Agrícolas. Neste contexto, o Sistema de Gerenciamento de Máquinas Agrícolas - SIGMA tem o intuito de fornecer informações ao agricultor para obter melhor desempenho de seu equipamento, reduzindo custos e melhorando a eficiência por meio do controle específico de suas máquinas agrícolas. Os objetivos do projeto foram desenvolver um sistema e aplicativos para gestão econômica com foco em máquinas agrícolas; disponibilizar o sistema desenvolvido para produtores rurais; criar um banco de dados para pesquisa com as informações adquiridas pelo sistema e aplicativos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido em parceria entre o Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR e a empresa Agropixel, *startup* sediada na Incubadora Internacional de Empresas de Base Tecnológica da Universidade Estadual de Londrina - INTUEL. O projeto consiste em desenvolver um software que auxilie os produtores rurais no gerenciamento da propriedade agrícola, com foco no custo envolvidos com as operações agrícolas mecanizadas para a produção de culturas anuais, considerando os custos fixos e variáveis da utilização das máquinas e insumos. O software em desenvolvimento se baseia na linguagem de programação *Ruby on Rails* voltada para web. A linguagem de programação *Ruby* consiste no gerenciamento de memória automática para ser utilizada como linguagem de script, ou seja, é a linguagem utilizada no interior de um programa. O *Ruby on Rails* é um *framework* para desenvolvimento ágil de



aplicações, tendo uma linguagem moderna e dinâmica (RUBY ON RAILS, 2017). O tipo de modelo utilizado foi o MVC, em que Model - Responsável pela organização dos dados; View - Responsável pela apresentação e visualização dos dados; Controller - Responsável pela integração entre as camadas Model e View. Inicialmente, a base de cálculos que deu origem ao SIGMA foi realizada em forma de planilha eletrônica, adaptando e utilizando como referência algumas das equações e estimativas disponibilizadas por BALASTREIRE (1987), ASABE (2006a, 2006b). Esta planilha eletrônica foi utilizada pela equipe de desenvolvimento da Agropixel para criar o SIGMA, sob supervisão da equipe técnica do IAPAR. Na FIGURA 1 é apresentado o modelo esquemático de funcionamento do SIGMA.

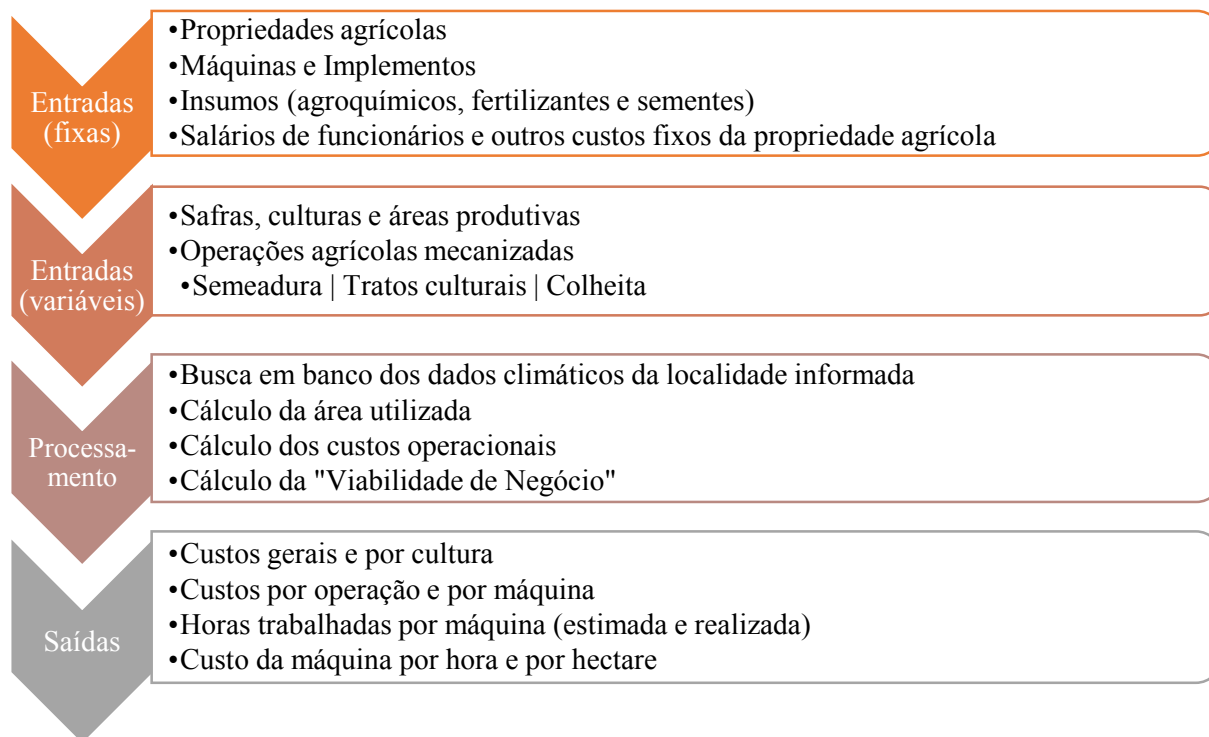


FIGURA 1. Esquema de entradas, processamento e saídas do SIGMA.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Nesta seção são apresentadas algumas capturas de telas e discutidas as principais funcionalidades do Sistema de Gestão de Máquinas Agrícolas – SIGMA, que está disponível gratuitamente no endereço <http://sigma.agropixel.com.br>. Após realizar o cadastro e confirmá-lo clicando no link enviado por *e-mail*, o SIGMA solicita ao usuário, em seu primeiro acesso – na forma de tutorial guiado (FIGURA 2) – a inserir informações de cadastro das propriedades agrícolas, máquinas, implementos, insumos, custos com salários de funcionários e despesas fixas da propriedade, consideradas como “Entradas fixas”, pois estas informações são comuns aos cálculos em cada ano agrícola. Finalizado o tutorial, o usuário é direcionado à página principal do SIGMA (FIGURA 3), ambiente em que é possível inserir os dados referentes à produção agrícola, denominadas “Entradas variáveis”, como as culturas implantadas, área utilizada, estimativa de produtividade e de preço de venda da produção. Depois de cadastradas as culturas/áreas produtivas, o usuário pode inserir as operações mecanizadas realizadas/previstas para cada área registrada na etapa anterior, subdivididas em três grupos, “Plantios”, “Tratamentos” e “Colheitas” (FIGURA 4). A cada operação agrícola mecanizada cadastrada no SIGMA, o sistema executa os cálculos de custos operacionais, e os valores atualizados são disponibilizados automaticamente na página “Custos” (FIGURA 5), que pode ser acessada pelo botão no canto superior esquerdo da página principal (FIGURA 3). O produtor terá então, com base nos dados que disponibilizar no SIGMA, informações na forma de gráficos que irão auxiliar no planejamento de suas áreas de produção (FIGURA 3) e gestão das operações mecanizadas (FIGURA 4) em cada área.

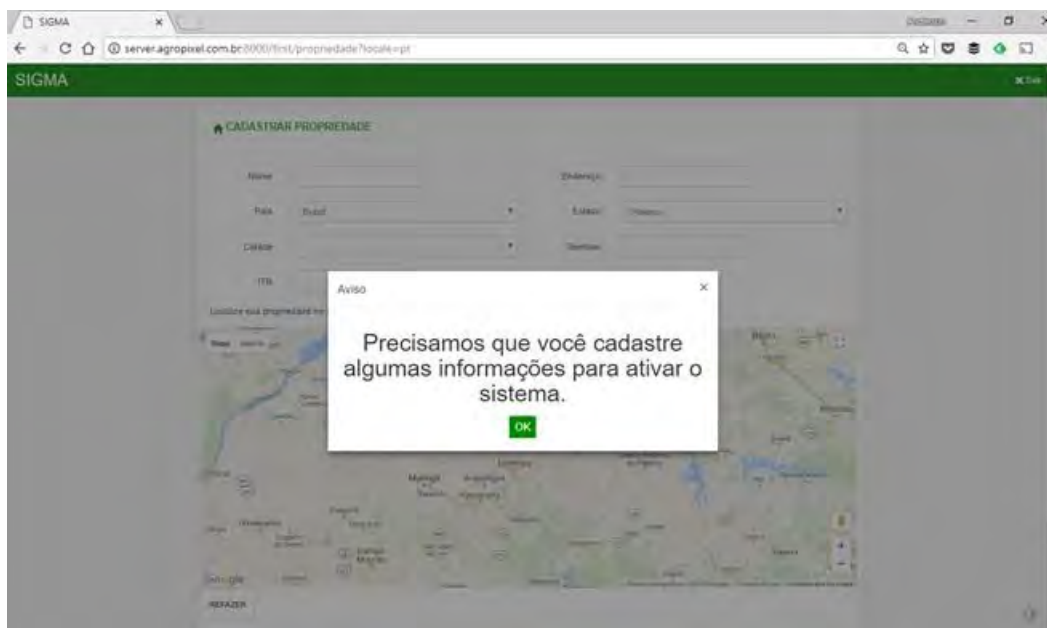


FIGURA 2. Tela inicial do tutorial de cadastro do SIGMA.

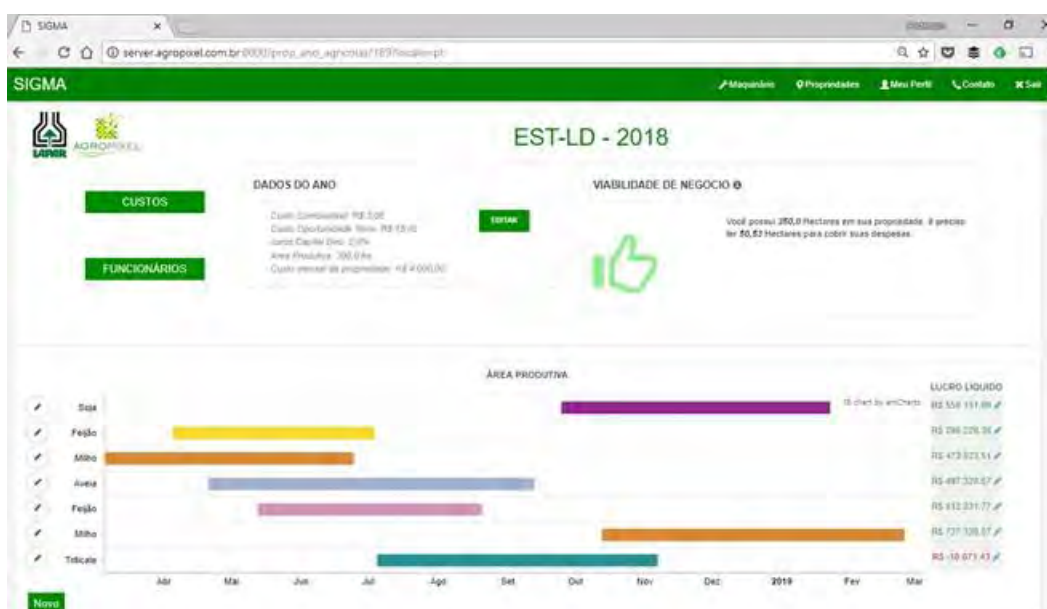


FIGURA 3. Página principal do SIGMA com informações das culturas e áreas produtivas cadastradas para a propriedade “EST-LD” na safra 2018.

Com o SIGMA o gestor poderá realizar também uma análise do investimento em máquinas agrícolas, e saber se a produtividade de suas lavouras cobrem os custos operacionais e capacidade de pagamento das máquinas adquiridas. Essa informação é resumida em uma variável denominada “Viabilidade de Negócio”, que considera todos os custos das áreas produtivas e operações agrícolas da Propriedade (FIGURA 3). Se este indicador foi positivo, significa que a receita bruta das áreas cadastradas será suficiente para custear a produção e ainda, o investimento feito nas máquinas, considerando seu uso e depreciação. Caso o valor da “Viabilidade de Negócio” seja negativo, é um indicativo para o gestor analisar o desempenho das operações mecanizadas e também verificar se a quantidade e o dimensionamento de máquinas estão adequados. Além da análise de investimento, o SIGMA também permite acompanhar o desempenho operacional das máquinas para cada operação agrícola e saber se o dimensionamento do conjunto mecanizado está adequado. No SIGMA o produtor rural faz o acompanhamento da(s) sua(s) propriedade(s), com registro organizado individualmente por talhão; das suas máquinas agrícolas, registrando a operação realizada por máquina; e o histórico de safras agrícolas. Ainda, pode acompanhar o custo geral das operações (FIGURA 6) ou individualizado por máquina, bem como da utilização de cada máquina (FIGURA 7).

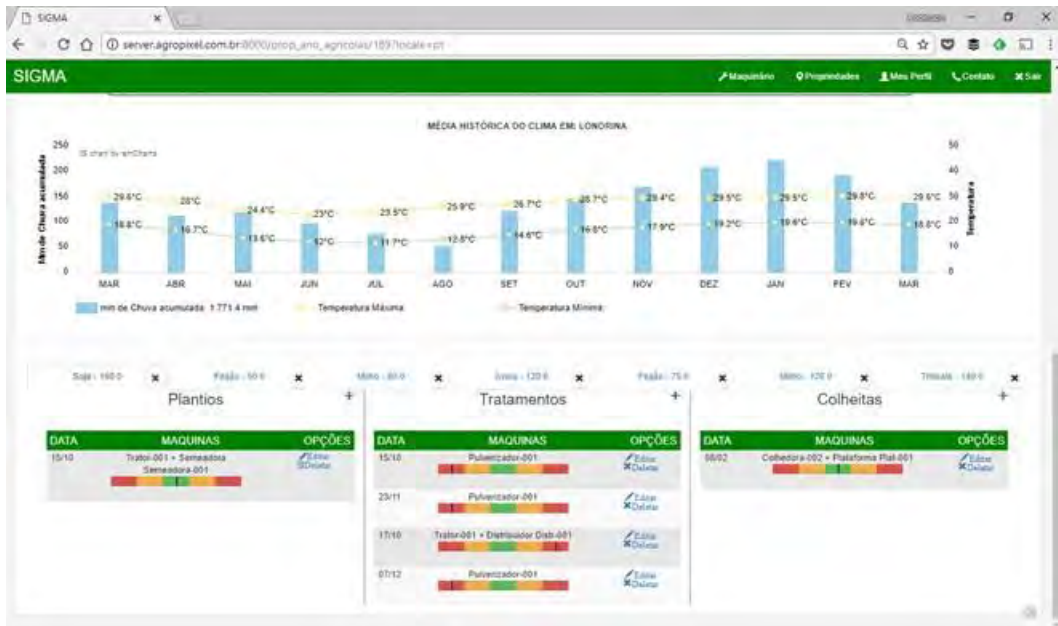


FIGURA 4. Página principal do SIGMA com dados climáticos históricos da localidade e registros das operações mecanizadas cadastradas.



FIGURA 5. Página de Custos do SIGMA com gráficos de gastos por categoria e por cultura.



FIGURA 6. Página de Custos do SIGMA com gráfico de gastos por operação mecanizada.

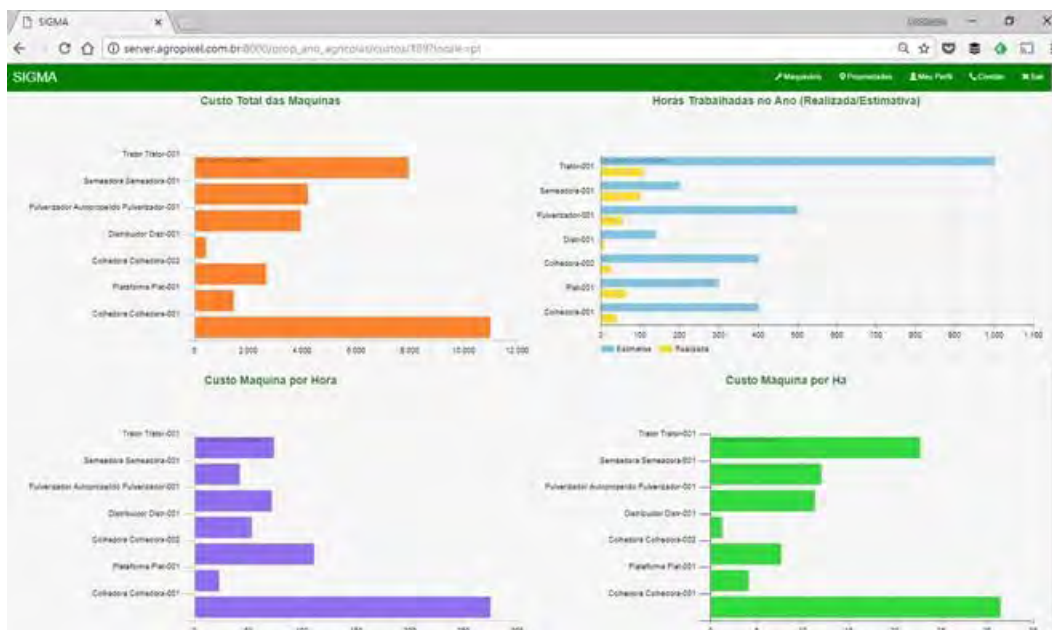


FIGURA 7. Página de Custos do SIGMA com gráficos de gasto total por máquina, horas trabalhadas no ano, custo por hora e por hectare.

**CONCLUSÃO:** Com o desenvolvimento do SIGMA – Sistema de Gestão de Máquinas Agrícolas foram entregues as seguintes características: registro histórico das safras, e quanto mais safras cadastradas, maior é a acurácia da análise de investimento; proposta inovadora no segmento de gestão de máquinas, com objetivo de auxiliar o produtor na análise de investimento e dimensionamento do conjunto de máquinas agrícolas; plataforma web que pode ser acessado de qualquer computador, *tablet* ou *smartphone*; sistema totalmente gratuito. A equipe do projeto pretende continuar com o desenvolvimento de novas funcionalidades para o SIGMA, bem como de versões dedicadas a dispositivos móveis. Ainda, está prevista a validação do sistema em estações experimentais do IAPAR e junto a produtores rurais, cujas informações irão compor um banco de dados para subsidiar novas pesquisas.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Tecnológica a terceiro autor e à equipe de desenvolvimento da Agropixel pela dedicação ao projeto e manutenção do SIGMA.

## REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, 2018. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anfavea2018>>, Acessado em: 19/07/2018 00:25.

ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. **ASABE D497.5: Agricultural Machinery Management Data**. St. Joseph, MI, USA, 2006a.

\_\_\_\_\_. **ASABE EP496.3: Agricultural Machinery Management**. St. Joseph, MI, USA, 2006b.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**, 1987. Piracicaba: Luiz Antonio Balastreire, 2004. 307 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>, Acessado em: 04/11/2013 14:31.

MONTEIRO, L. A.; SILVA, P. R. A. **Operação com Tratores Agrícolas**, Botucatu: Ed. dos Autores, 2009. 76 p.

RUBY ON RAILS. **Ruby on Rails**, 2017. Disponível em: <<http://rubyonrails.org/>>, Acesso em : 12/05/2017 11:09.

SOLER, L.; MORAES, E. M. **Desenvolvimento de aplicação Web**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010, v.1. p.183.

## **TESTE PRELIMINAR DA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE PARA ANÁLISE DE IMAGENS OBTIDAS POR MEIO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA**

**PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA ESTIMA<sup>1</sup>, LUANA MENDES GONÇALVES<sup>2</sup>, GABRIEL ARÚJO E SILVA FERRAZ<sup>3</sup>, BRENON DIENNEVAN SOUZA BARBOSA<sup>4</sup>, LUCAS SANTOS SANTANA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, Depto. Engenharia, UFLA, Lavras-MG, fone: (35) 998502823, pedro-estima@hotmail.com@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Mestranda, UFLA, Lavras-MG.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, UFLA, Lavras-MG

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutorando, UFLA, Lavras-MG.

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando, UFLA, Lavras-MG.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A aplicação de sensoriamento remoto na agricultura de precisão é um importante meio para a obtenção de imagens e conjuntos de dados estatísticos com a finalidade de melhorias significativas do manejo em campo. Desta a forma, o trabalho tem como objetivo utilizar a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para representar e calcular índices vegetativos na lavoura cafeeira com o intuito de mostrar a potencialidade da ferramenta em em nuvem. Assim utilizou-se uma imagem em ortomosaico obtida através de uma aeronave remotamente pilotada, e em seguida processada em nuvem. Após o processamento iniciou-se o cálculo de índice de vegetação (*Vigreen*), utilizando algoritmos em linguagem de programação java script. Com isso foram obtidos informações importantes sobre a ferramenta como a resolução dos cálculos de *Vigreen*, e os códigos usados iniciais mostraram-se satisfatórios com potencial para automatização. Contudo necessita de maiores estudos sobre as ferramentas da plataforma para um melhor refinamento do algoritmos tais como aplicações de outros índices e avaliações melhores com maior refinamento da metodologia do índice de vegetação utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** cafeicultura de precisão, índice de vegetação, processamento de imagem digital

### **PRELIMINARY TESTING OF THE GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM FOR ANALYSIS OF IMAGES OBTAINED BY A REMOTELY PILOTED AIRCRAFT**

**ABSTRACT:** The application of remote sensing in precision farming is an important means of obtaining images and statistical data sets for the purpose of significant improvements in field management. In this way, the work aims to use the *Google Earth Engine* (GEE) platform to represent and calculate vegetative indexes in the coffee plantation in order to show the potentiality of the tool in the cloud. Thus an orthomosaic image obtained through a remotely piloted aircraft was used, and then processed in the cloud. After processing, the *Vigreen* vegetation index was started, using algorithms in the java script programming language. This provided important information about the tool such as the resolution of the *Vigreen* calculations, and the initial codes used were satisfactory with potential for automation. However, it needs further studies on the platform tools for a better refinement of the algorithms such as applications of other indices and better evaluations with more refinement of the vegetation index methodology.

**KEYWORDS:** precision cropping, vegetation index, digital image processing

**INTRODUÇÃO:** A agricultura de precisão (AP), comumente como é chamada no Brasil, trata-se de um sistema de produção adotado por agricultores, engenheiros agrícolas e agrônomos de países com tecnologia avançada, (MANZATTO et al., 1999). Dentre as tecnologias oferecidas no ramo da AP, a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) surge como mais uma ferramenta para processamento digital de imagens, onde nela é possível acessar e armazenar imagens de satélite, assim como organizá-las e disponibilizá-las para mineração

de dados em escala global (Google Earth Engine, 2012). O arquivo de dados públicos inclui imagens um banco de dados sobre a superfície terrestre com mais de quarenta anos. O GEE permite adquirir imagens de satélites catalogadas e conjuntos de dados geoespaciais, além da possibilidades de inserção de imagens derivadas de diferentes plataformas de sensoriamento remoto, como de aeronave remotamente pilotada (ARP) , a fim de detectar mudanças, mapear tendências e quantificar diferenças na superfície da terra. Também fornece API (Application Programming Interface) em linguagem de programação JavaScript e Python para comunidade ainda restrita (pesquisadores, órgãos governamentais, ONG's) além de outras ferramentas, para permitir a análise de grandes conjuntos de dados geoespaciais em escala global (GORELICK et al., 2017). O sensoriamento remoto baseado em RPA oferece grandes possibilidades de adquirir dados de campo de maneira rápida e fácil para aplicações de AP. O campo de estudo voltado a AP está aumentando rapidamente devido aos benefícios e vantagens do manejo de recursos agrícolas, particularmente para o estudo da saúde das culturas (CANDIAGO, et al., 2015). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do GEE no processamento de imagens padrão RGB obtidas por meio de uma RPA para aplicação determinação de índice de vegetação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido em uma área de cafeeiros implantada na Universidade Federal de Lavras, com as coordenadas geográficas, latitude 21°13'33.17"S, longitude 44°58'17.54" WGr. e 936 m de altitude (Figura 1). Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos: a) Uma RPA modelo Phantom 3 profissional; b) câmera convencional de 12 MP, em cores verdadeiras (Red-R, Green-G, Blue-B) com resolução radiométrica de 8 bits, lente 20 mm com abertura de f/2.8, com tamanho máximo de imagem de 4000 x 3000 pixels (Figura 1); c) Microcomputador para edição de imagens. A confecção do mosaico das imagens foram processadas utilizando a plataforma de processamento em nuvem Drone Deploy, para obter um ortomosaico em formato GeoTIFF. O ortomosaico foi importado para a plataforma GEE e os dados desta imagem foram sobrepostos em um mapa virtual disponibilizado pelo mesmo.



FIGURA 1. Aeronave remotamente pilotada utilizada no estudo.

O cálculo do índice de vegetação Vigreen referente às bandas verde e vermelho, proposto por Gitelson et al. (2002) descrito na Equação (1), foi inserido na plataforma por meio de linguagem de programação Javascript no editor de código da plataforma GEE.

$$Vigreen = \frac{G-R}{G+R} \quad (1)$$

Os dados processados importada para a plataforma. Utilizou-se os algoritmos no editor de códigos com o parâmetro Vigreen configurado para as necessidades do estudo (FIGURA 1). Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde foram utilizados os seguintes algoritmos:

```

var red = image.select('b1');
var green = image.select('b2');
var vgreen = green.subtract(red).divide(green.add(red)).rename('NGDVI');
Para a exibição do resultado: var ngdviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['brown','green']};
Map.addLayer(vgreen, vgreen Params, 'NGDVI image');
var vgreen = image.normalizedDifference(['b1', 'b2']).rename('NGDVI');
var addNGDVI = function(image) {
  var vgreen = image.normalizedDifference(['b1', 'b2']).rename('NGDVI');
  return image.addBands(ngdvi);
};

```

Conforme os algoritmos acima segue fluxograma detalhando a utilização da plataforma (Figura 2).

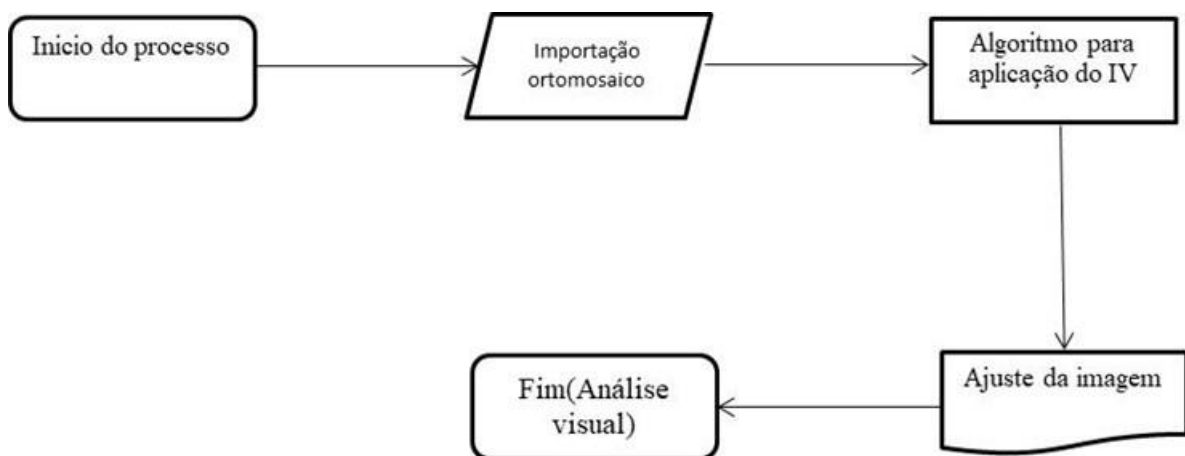


FIGURA 2. Fluxuograma de processamento das imagens obtidas pela RPA.

Todavia para execução do Vigreen, foi necessário executar o script referente ao Vigrenn NDVI. Não foi observado qualquer conflito com a configuração adaptada para o cálculo do parâmetro Vigreen, pois para adaptação de uma em relação a outra foi simplesmente a retirada do espectro infravermelho nomeado por NIR, o que para o projeto em si não foi utilizado devido as variações das cores da câmera acoplada ao RPA.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Como se pode observar na Figura 3, o Vigrenn aplicado diferenciou solo exposto (cor marrom) de vegetação (cor verde), na área em estudo. A plataforma em estudo apresentou potencial para o processamento de imagens obtidas por RPA, sendo possível automatizar o processo com a linguagem de programação, criação de séries históricas com imagens desta e de outras áreas para fins de monitoramento, com menos requisitos para processamento, tornando-o processo de classificação e aplicação de Vigrenn em imagens de alta resolução obtidas por RPA menos oneroso, quando comparado a softwares de geoprocessamento, que em muitos casos além de exigir um maior poder de processamento e não são gratuitos.

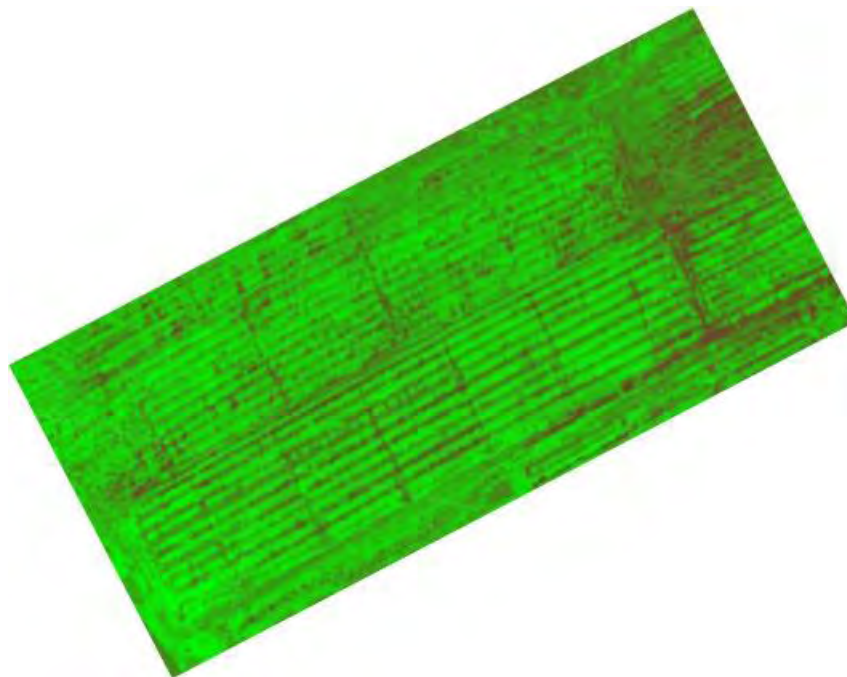


FIGURA 3. Imagem com o processamento do Vigen pelo *Google Earth Engine*

A Figura 3 representa a imagem resultante na após a execução do IV. No entanto não foi possível até este momento criar uma legenda com valores referente ao Vigen, o que poderia ajudar no monitoramento espacial e temporal da cultura.

Outra dificuldade encontrada na aplicação desta metodologia foi disponibilizar estas imagens em formato Geotiff, para finalização de mapas temáticos em softwares de geoprocessamento como o Quantum GIS. Johansen et al. (2015) encontraram dificuldades para a exportação das imagens geradas em seu trabalho e formato tiff, devido ao tamanho do arquivo e o tempo para gerá-lo, mas estes autores acreditam que em um futuro próximo esta parte do fluxo de processamento será aprimorada.

O uso do GEE como ferramenta para análise de imagens digitais no caso específico de imagens de alta resolução RGB obtidas por RPA ainda não foi registrado na literatura especializada, fato que pode ser explicado por essa ferramenta ser inicialmente desenvolvida para análise de dados de satélites previamente disponibilizados pelo próprio GEE. Atualmente a maior parte dos estudos acerca do uso desta ferramenta está voltada para análise de imagens orbitais obtidas por satélites que cobrem áreas bastante extensas (GORELICK et al., 2017; PATEL et al., 2015; JOHANSEN et al., 2015; SIMONETTI et al., 2013), como exemplo para mapeamento das áreas edificadas com imagens Landsat (Hansen et al., 2013).

Lee et al. (2011) acreditam que com o maior volume de dados gerados pelas técnicas de sensoriamento remoto, ferramentas para processamento destes dados em nuvem se tornarão um requisito primordial, entretanto ainda há poucos estudos publicados sobre processamento de dados de sensoriamento remoto em nuvem. Nesse contexto, o desenvolvimento e maior disseminação da AP em países em desenvolvimento como o caso do Brasil, o processamento de dados de sensoriamento remoto em nuvem reduziria os custos com aquisição de unidades computacionais de alto desempenho para processamento de imagens de alta resolução.

Embora os resultados com o uso do GEE para analisar imagens obtidas por RPA sejam preliminares, acredita-se que por meio de maiores investigações e desenvolvimento de algoritmos esta ferramenta será de grande valia na AP.

**CONCLUSÃO:** A metodologia desenvolvida neste estudo apresentou potencialidade para processamento de imagens de RPA na plataforma Google Earth Engine, porém há necessidade de maiores estudos e refinamento do algoritmo, avaliação da precisão e acurácia da metodologia.



**AGRADECIMENTOS:** A UFLA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SESU/MEC/PET pelo auxílio financeiro para realização dos estudos.

## **REFERÊNCIAS**

- DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. Precision agriculture: An introduction. **Water quality**, 1998.
- GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; STARK, R.; RUNDQUISTA, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensor*, 2002.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: análise geoespacial em escala planetária para todos. *Detecção Remota do Ambiente*, 2017.
- MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, 1999.
- CANDIAGO, Sebastian et al. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, v. 7, n. 4, p. 4026-4047, 2015.
- MESQUITA, V. V.; PARENTE, L. L.; FERREIRA, L. G. USO DE PROCESSAMENTO EM NUVEM PARA A DETECÇÃO DE ÁREAS EDIFICADAS EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.
- HANSEN, Matthew C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.
- PATEL, N. N., ANGIULI, E., GAMBA, P., GAUGHAN, A., LISINI, G., STEVENS, F. R., TRIANNI, G. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 35, p. 199-208, 2015.
- JOHANSEN, Kasper; PHINN, Stuart; TAYLOR, Martin. Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 1, p. 36-49, 2015.
- SIMONETTI, D., SIMONETTI, E., SZANTOI, Z., LUPI, A., EVA, H. D. First results from the phenology-based synthesis classifier using Landsat 8 imagery. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, v. 12, n. 7, p. 1496-1500, 2015.
- LEE, C. A., GASSTER, S. D., PLAZA, A., CHANG, C. I., HUANG, B. Recent developments in high performance computing for remote sensing: A review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 4, n. 3, p. 508-527, 2011.

## USO DE APLICATIVOS PARA MEDIÇÃO DE ÁREAS NA REGIÃO DE GUARAPUAVA

LEANDRO RAMPIM<sup>1\*</sup>, GISELE DE FÁTIMA PRATES<sup>2</sup>, MAITE DOS SANTOS RIBEIRO<sup>3</sup>,  
MARCIA HELENA MOTA DE ARRUDA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutor, Professor, Pesquisador, Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Rua Simeão Varela de Sá, 3, CEP: 85040-080, Fone: 42-3621-8221, Guarapuava – PR. [rampimleandro@yahoo.com.br](mailto:rampimleandro@yahoo.com.br); \* Bolsista Produtividade CNPq, nível 2.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Doutoranda, UNICENTRO, Guarapuava – PR. [gfrates@hotmail.com](mailto:gfrates@hotmail.com)

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Doutoranda, UNICENTRO, Guarapuava – PR. [maiteribeiroeng@gmail.com](mailto:maiteribeiroeng@gmail.com)

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônoma, Doutoranda, UNICENTRO, Guarapuava – PR. [arruda\\_marcia@hotmail.com](mailto:arruda_marcia@hotmail.com)

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Diversos equipamentos que utilizam sinais transmitidos pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) têm sido amplamente empregados na Agricultura de Precisão e silvicultura. Dentre estes, cita-se aplicativos destinados a localizar e calcular áreas, através de vetorização de pontos, e captura de imagens, utilizando satélites. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a precisão de diferentes aplicativos de smartphones para medição de áreas na região de Guarapuava – PR. O estudo foi realizado em três áreas distintas, com 1 ha. A coleta de dados foi realizada no dia 01-6-2017, totalizando cinco repetições da comparação dos três sistemas. Os dados das áreas foram coletados a partir de um GPS GarminEtrex® considerado como tratamento testemunha, e mais dois aplicativos de celular o GPS Area (Tratamento 1) e o Geo Compass (Tratamento 2). Os dados foram submetidos à estatística descritiva simples e, posteriormente as médias foram submetidas à uma comparação múltipla pelo teste de Tukey, ao nível de 5% pelo programa R. Com o presente estudo conclui-se que os aplicativos para smartphone são uma alternativa oportuna para localização e cálculo de áreas com um baixo custo, sendo o aplicativo GPS Area o que apresentou melhor precisão para tal finalidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** GPS; medição de área, smartphone.

### USE OF APPLICATIONS FOR MEASURING AREAS IN THE REGION OF GUARAPUAVA

**ABSTRACT:** Several equipments that using Global Positioning System (GPS) transmission signals have been widely used in Precision Agriculture and forestry. Among these are cited applications to locate and calculate areas, by transferring images and capturing images, using satellites. In this way, the present work had the objective of evaluating the accuracy of different smartphone applications for measuring areas in the Guarapuava - PR region. The study was conducted in three distinct areas, with 1 ha. Data collection was performed on 01/1/2017, totaling five replicates of the comparison of the three systems. The data of the areas were collected from a GarminEtrex® GPS considered as a control treatment, and two other GPS applications (Treatment 1) and Geo Compass (Treatment 2). The data were submitted to simple descriptive statistics and, posteriorly, the means were submitted to a multiple comparison by the Tukey test, at the level of 5% by program R. With the present study it is concluded that the applications for smartphone are a great alternative for localization and calculation of the area with a low cost, being the GPS Area application that presented better precision for this purpose.

**KEYWORDS:** GPS, area measurement, smartphone.

**INTRODUÇÃO:** Agricultura de precisão (AP) é uma prática de manejo de produção integrado, que tenta aplicar os insumos nas quantidades necessárias e no local exato para o desenvolvimento da cultura. O conceito de AP não é novo, contudo novas tecnologias agora disponíveis permitem que essa ferramenta possa ser percebida em uma produção prática (OLIVEIRA, 2011).

Segundo Dallmeyer & Schlosser (1999) o que tem levado a este novo conceito de manejo agrícola é o uso de três novas tecnologias, que são o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS). GOERING & HAN (1993) afirmaram que um dos problemas para a execução das atividades relacionadas a Agricultura de Precisão referia-se às limitações dos sistemas terrestres de navegação. Todavia, com a constante evolução dos dispositivos móveis os PDA têm se tornado uma alternativa obsoleta, enquanto que os smartphones agrega mais tecnologia (PAULA, 2013).

Essa ferramenta vem sendo utilizada na agricultura e silvicultura, com o uso de aplicativos destinados a localizar e calcular área, através de vetorização de pontos, sendo possível até a captura de imagens utilizando satélites. De acordo com Paula (2013), existem poucos trabalhos sobre a precisão do Sistema de Navegação por Satélite (GNSS) acoplado nos smartphones. Contudo, há evidências que existe interesse no mercado de desenvolvedores e nas empresas de telefonia em aumentar a precisão na captura de coordenadas do telefone celular, pois existem diversos aplicativos que tem por finalidade o melhoramento do sinal por satélite no smartphone, diminuindo o tempo necessário para obter um determinado ponto, aperfeiçoando assim, os dados obtidos nos celulares que contém essa tecnologia (MENDES, 2011).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a precisão de diferentes aplicativos de smartphones para medição de áreas na região de Guarapuava – PR.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido em três áreas distintas com 1 ha do município de Guarapuava, região Centro-Sul do estado do Paraná, conforme Tabela 1.

TABELA 1. Distribuição dos locais de amostragem.

NOME	COORDENADA LESTE	COORDENADA NORTE
CEDETEG	450.205	7.191.498
PALMEIRINHA	445.067	7.207.327
COLONIA VITÓRIA	443.796	7.176.983

O clima dominante é do tipo Cfb, segundo Köppen, ou subtropical úmido mesotérmico caracterizado por verão fresco e inverno rigoroso com geadas severas e frequentes, concentradas nos meses de março a setembro. Não apresenta estação seca característica e tem temperaturas médias nos meses mais quentes inferiores a 22°C e nos meses mais frios com médias abaixo de 18°C. O regime de chuvas é irregular, com diminuição no período de inverno e maior intensidade no verão. A precipitação média anual é de 1.600 a 1.770 mm. Quanto à umidade relativa do ar, predominam índices médios entre 80% e 85%.

As áreas estão localizadas no terceiro planalto do Paraná, também chamado de planalto de Guarapuava, é a mais extensa das unidades de relevo do estado e também é representado por rochas da Bacia do Paraná. O relevo predominante é ondulado e os solos predominantes são os Latossolo, Cambissolos e Neossolo.

Os dados das áreas foram coletados a partir de um GPS GarminEtrex® considerado como tratamento testemunha, e mais dois aplicativos de celular o GPS Area (Tratamento 1) e o GeoCompass (Tratamento 2). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições.

Inicialmente os dados foram submetidos à estatística descritiva simples, com a determinação de média, limite inferior e superior, desvio padrão, variância, coeficientes de variação (CV) de assimetria e curtose, e posteriormente as médias foram submetidas à uma comparação múltipla pelo teste de Tukey, ao nível de 5% pelo programa R.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Em todos os locais medidos percebeu-se um CV relativamente baixo, sendo que sempre no aplicativo GPS Área esse coeficiente foi maior. No local Colônia Vitória comparado aos demais locais teve um CV maior nos três tratamentos. Os coeficientes de assimetria e curtose foram próximos de zero, para todas as áreas caracterizando distribuição simétrica (Tabela 2).

Pela análise de variância de todos os locais (Tabela 3), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade.

Em todos os locais em que os pontos foram coletados, o aplicativo A. GPS Area demonstrou ser mais preciso quando comparados ao GPS Garmim® e o aplicativo Geo Compass (Tabela 4).

De acordo com Rodrigues (2006), o receptor GPS Garmim® apresenta um erro maior quando comparado a outros equipamentos com a mesma finalidade.

TABELA 2. Estatística descritiva das áreas medidas no CEDETEG, Palmerinha e Colônia Vitória com o GPS Garmin, e os Aplicativos GPS Area e Geo Compass.

<b>CEDETEG</b>			
Estatística Descritiva	GPS GARMIN®	A. GPS AREA	A. GEO COMPASS
	Área (m <sup>2</sup> )		
Média	2221,97	2222,38	2221,91
Mediana	2221,99	2222,45	2221,89
Mínimo	2221,89	2222,1	2221,85
Máximo	2222,05	2222,54	2222,01
Desvio Padrão	0,0557	0,1585	0,05657
Variância	0,0031	0,0314	0,0032
CV%	0,0025	0,007	0,0028
Assimetria	-0,4059	-1,302	1,18585
Curtose	-0,71461	1,245	1,05

<b>Palmerinha</b>			
Estatística Descritiva	GPS GARMIN®	A. GPS AREA	A. GEO COMPASS
	Área (m <sup>2</sup> )		
Média	2423,01	2421,32	2423,18
Mediana	2423,02	2423,34	2423,17
Mínimo	2422,97	2413,07	2423,07
Máximo	2423,07	2423,57	2423,3
Desvio Padrão	0,035	4,1279	0,07467
Variância	0,0012	17,03956	0,0055
CV%	0,001	0,17048	0,0031
Assimetria	0,12538	-2,22826	0,3897
Curtose	-1,169	4,97171	1,2226

<b>Colônia Vitória</b>			
Estatística Descritiva	GPS GARMIN	A. GPS AREA	A. GEO COMPASS
	Área (m <sup>2</sup> )		
Média	1833,37	1833,64	1833,15
Mediana	1833,39	1833,76	1833,12
Mínimo	1833,22	1833,33	1833,01
Máximo	1833,5	1833,97	1833,33
Desvio Padrão	0,106	0,24695	0,116
Variância	0,011	0,06098	0,0134
CV%	0,005	0,01347	0,006
Assimetria	-0,382	-0,33254	0,4713
Curtose	-1,793	-2,44989	-1,401

CV (%) = Coeficiente de variação.

TABELA 3. Resumo da Análise de Variância (ANOVA) das áreas medidas no CEDETEG, Palmerinha e Colônia Vitória com o GPS Garmin, e os Aplicativos GPS Area e Geo Compass.

CEDETEG			
Fontes de Variação	GL	QM	Área
Tratamento	2	0,3296	25,1523785**
Resíduo	12	0,0131	
CV %			
PALMERINHA			
Fontes de Variação	GL	QM	Área
Tratamento	2	0,1141	5,9048112**
Resíduo	12	0,0193	
CV %			
COLÔNIA VITÓRIA			
Fontes de Variação	GL	QM	Área
Tratamento	2	0,3267	9,1451763**
Resíduo	12	0,0357	
CV %			

CV (%) = Coeficiente de variação; \*\* = Significativo a 1% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio.

TABELA 4. Área em hectare medidas no CEDETEG, Palmerinha e Colônia Vitória com o GPS Garmin, e os Aplicativos GPS Area e Geo Compass.

LOCAL	GPS GARMIN®	A. GPS AREA	A. GEO COMPASS
	Área		
CEDETEG	2221,97 b*	2222,38 a*	2221,91 b*
PALMERINHA	2423,01 b*	2423,32 a*	2423,17 ab*
COLÔNIA VITÓRIA	1833,37 ab*	1833,64 a*	1833,15 b*

Letra minúscula, comparado na linha. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. \* = significativo a 5% de probabilidade.

**CONCLUSÃO:** Com o presente estudo conclui-se que os aplicativos para smartphone são uma alternativa oportuna para localização e cálculo de áreas com um baixo custo, sendo o aplicativo GPS Area o que apresentou melhor precisão para tal finalidade.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimentos aos órgãos de fomento Fundação Araucária, SETI/PR, CNPQ, CAPES, pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- DALLMEYR, A. U.; SCHLOSSER, J. F. **Mecanización para La agricultura de precisión**. In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. Agricultura de precisión – Introducción al manejo sitio-específico. Chillán – Chile, Cap. 3, p. 75-104. 1999.
- GOERING, C.E.; HAN, S. A field information system for SSCM. Warrendale: SAE International, 1993. 13 p. (SAE Technical Paper Series, 932422)
- MENDES, G. M. P. Sistema Mobile Web Para Busca Georreferenciada de Imóveis. 2011. 42 f. **Trabalho De Conclusão De Curso** (Especialização) - Especialista em Tecnologia Java, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- OLIVEIRA, L. T.; CARVALHO, L. M. T.; FERREIRA, M. Z.; OLIVEIRA, T. C.; ACERBI JUNIOR, F. W. Application of LIDAR to forest inventory for tree count in stands of Eucalyptus sp. **Cerne**. v. 18, n. 2, 2012.
- PAULA, L. J. L. Desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis para coleta de dados georreferenciamentos através de reconhecimento de voz. 2013. 82 f. **Dissertação** (Mestrado no Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

RODRIGUES A. V.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N.; BARROS, Z. X. de; CAMPOS, S. receptores GPS de três precisões e estação total na caracterização de cotas básicas para projetos rurais. **Engenharia Agrícola**. v.26, n.1, p.208-214, 2006.

## **USO DE VANT NA IDENTIFICAÇÃO DO VIGOR VEGETATIVO DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO APÓS CAPINA QUÍMICA**

**CAIQUE CARVALHO MEDAUAR<sup>1</sup>, SAMUEL DE ASSIS SILVA<sup>2</sup>, LUIS CARLOS CIRILO CARVALHO<sup>3</sup>, RAFAEL AUGUSTO SOARES TIBÚRCIO<sup>4</sup>, PAULO AUGUSTO SILVA MEDAUAR<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando em Produção Vegetal, UESC, Ilhéus – BA, Fone: (73) 991023742, caiquemedauar@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Engenharia Rural, UFES, Alegre – ES, Fone: (28) 999882927, samuel.assilva@gmail.com

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Ciências Agrárias e Ambientais, UESC, Ilhéus – BA, Fone: (73) 91489333, lcccarvalho@uesc.br

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Pesquisador, Depto. Pesquisa & Desenvolvimento Florestal, VERACEL CELULOSE S/A, Eunápolis – BA, Fone: (73) 991360106, rafael.tiburcio@veracel.com.br

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Analista Ambiental, OCT, Ibirapitanga – BA, Fone: (73) 991485545, gutomedauar@hotmail.com

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com esse trabalho se objetivou identificar, através de imagens áreas obtidas com sensor embarcado em veículo aéreo não tripulado, o vigor vegetativo das brotações de eucalipto após 90 dias de capina química. O estudo foi conduzido em talhões de plantio de eucalipto, no município de Itabela-BA, em atividades de aplicação de herbicida pré-plantio, em áreas de reforma florestal. Para avaliar a sanidade das brotações de eucalipto após a aplicação de herbicida foram utilizadas imagens aéreas obtidas por meio de Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT). Após a aquisição das imagens, elas foram processadas para cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). O uso de VANTs permitiu identificar, visualmente, o comportamento das brotações de eucalipto após 90 dias de aplicação pelo método químico de erradicação. O índice vegetativo (NDVI) apresentou-se como uma ferramenta essencial na distinção do vigor vegetativo das brotações.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de vegetação, mapas temáticos, silvicultura de precisão.

### **USE OF UAV IN THE IDENTIFICATION OF THE VEGETATIVE VIGOR OF EUCALYPTUS SHOOTS AFTER OF CHEMICAL WEEDING**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to identify the vegetative vigor of eucalyptus shoots after 90 days of chemical weeding, using images obtained with Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The study was carried out in eucalyptus plantations, in Itabela, BA, in replanting areas during pre-planting application of herbicide. Aerial images obtained by an UAV were used to evaluate the health of the eucalyptus shoots after the application of herbicide. After the images were acquired, they were processed to calculate the normalized difference vegetation index (NDVI). The images provided by the UAV allowed to identify, visually, the behavior of the eucalyptus shoots after 90 days of application by the chemical method of eradication. The vegetative index (NDVI) was an essential tool in distinguishing the vegetative vigor of shoots.

**KEYWORDS:** vegetation index, thematic maps, precision silviculture.

### **INTRODUÇÃO**

Dentro do contexto de sistemas silviculturais, o eucalipto possui duas formas de propagação de plantio: novas mudas nas entrelinhas do ciclo anterior (reforma florestal) ou novo plantio por meio do broto revigorado do ciclo anterior (condução de brotação). Entretanto, quando se opta pelo sistema de reforma florestal, há a necessidade de erradicar as brotações devido a competição por água, luz e nutrientes com as novas mudas, sendo o controle químico (herbicidas), o mais usual (TIBÚRCIO, 2014). Quando se utiliza a capina química no controle de brotações, há a necessidade de avaliar o comportamento temporal das mesmas com o objetivo de orientar a tomada de decisão sobre a necessidade de novas aplicações.

Apesar do uso recorrente de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no monitoramento de sobrevivência de florestas de eucalipto conforme destacado por Ruza et al. (2017), é importante informar que as operações silviculturais são muito amplas e diversos produtos ainda estão em desenvolvimento. Um desses produtos é atribuir ao VANT a função de avaliar a sanidade das brotações em áreas de reforma florestal. A aplicação deste equipamento nessa atividade, permitiria uma maior cobertura amostral, onde a identificação do vigor das brotações poderá ser realizada por algoritmos de forma a reduzir os erros amostrais (GALIZIA et al., 2016). De acordo com estes autores, os últimos resultados em campo com a obtenção de imagens através dos VANTs, demonstram que muitas empresas florestais já substituíram os métodos tradicionais das avaliações de algumas atividades operacionais, sem qualquer prejuízo, no que se diz respeito à assertividade das informações geradas. Além disso, a inserção desses veículos agrupado a técnicas de processamento de imagens tem sido foco de muitas pesquisas na área florestal (SUGIURA et al., 2005; HUNT et al., 2010; LALIBERTE et al., 2011), principalmente em relação a índices de vegetação que são parâmetros obtidos a partir de manipulação matemática de medidas da reflectância espectral que podem ser aplicadas em diversas finalidades.

Diante do exposto, com este trabalho se objetivou identificar, através de imagens áreas obtidas com sensor embarcado em veículo aéreo não tripulado, o vigor vegetativo das brotações de eucalipto após 90 dias de capina química.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em três talhões (A, B e C) de plantio de eucalipto, localizado na região Extremo-Sul do Estado da Bahia, no município de Itabela, sob a latitude de 16° 34' 19" S e a longitude de 39° 33' 33" W, nas atividades de aplicação de herbicida pré-plantio, em áreas de reforma florestal com brotações de eucalipto de até 75 cm de altura. O espaçamento das plantas era de 5,0 m entre as linhas e 2,40 m entre as brotações (clones híbridos das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*).

A aplicação foi realizada nos três talhões com extensão de 0,64 ha (cada), sendo o produto químico utilizado a base de glyphosate. As pulverizações foram realizadas no mês de novembro de 2016, utilizando-se um pulverizador autopropelido John Deere, modelo 4630E, com potência nominal de 165 CV.

Para avaliar a sanidade das brotações de eucalipto após a aplicação do herbicida foram utilizadas imagens aéreas obtidas por meio de Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT). Utilizou-se o VANT eBee-Ag, da empresa SenseFly, equipado de uma câmera Canon modelo S110 - NIR. Os voos foram realizados nos meses de novembro (pré-aplicação do herbicida) de 2016 e fevereiro (90 dias após aplicação do herbicida) de 2017.

Após a aquisição das imagens, foram construídos os ortomosaicos referentes a cada talhão e ao período de avaliação. As imagens aéreas obtidas nos meses de novembro e fevereiro foram processadas no pacote computacional ArcGIS, versão 10.3, utilizando a ferramenta "Raster Calculator" para cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que é dado pela equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

em que: (NIR) corresponde à reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo e (RED) corresponde à reflectância na faixa espectral do vermelho. Após o cálculo pixel-a-pixel do NDVI, os mapas gerados foram utilizados para avaliação da sanidade da vegetação e identificação das brotações para cada talhão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas temáticos com os valores de NDVI para os períodos pré-aplicação (novembro) e pós-aplicação (fevereiro) dos talhões A, B e C estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente. Na Figura 1 é possível visualizar que o mês de novembro apresentou brotações homogêneas (em relação ao porte) e bem vigorosas (valores de NDVI próximos de 1), o que já era esperado, uma vez que a aplicação de herbicida ocorreu no dia da obtenção da imagem.



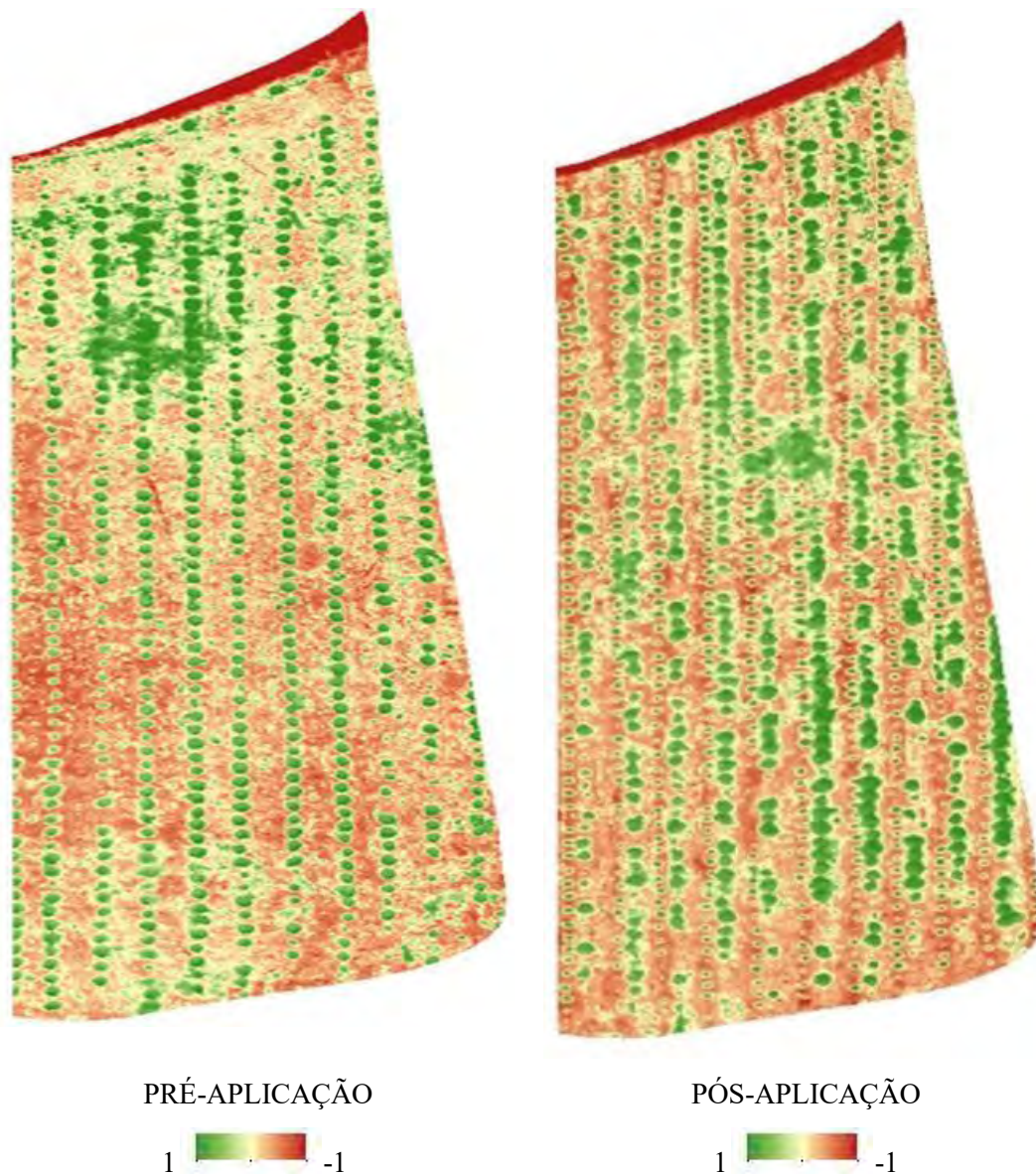


FIGURA 1. Mapas de NDVI do talhão A para os períodos pré-aplicação (NOVEMBRO) e 90 dias pós-aplicação (FEVEREIRO).

Para o mês de fevereiro, pode-se perceber que no quadrante inferior direito houve uma baixa redução do valor de NDVI, implicando numa redução do porte das brotações, entretanto, para as demais extensões do mapa as brotações permaneceram saudáveis ou rebrotaram. Vale ressaltar, que nessas condições a ação do glyphosate nas brotações de menor tamanho ou com menos biomassa, não teve um efeito representativo. Em alguns casos, os herbicidas podem reduzir em até 90% a sanidade das plantas, porém sem assegurar a eliminação das mesmas (BAGHESTANI et al., 2007), o que após 90 dias de aplicação para este talhão não ocorreu.

Esses resultados corroboram em parte com o estudo de Tuffi Santos et al. (2007), que comprovam por meio de um experimento em eucalipto, no qual todas as plantas que foram pulverizadas com um produto químico a base de glyphosate, apresentaram emissão de novas brotações (bem mais saudáveis) após 45 dias de aplicação.

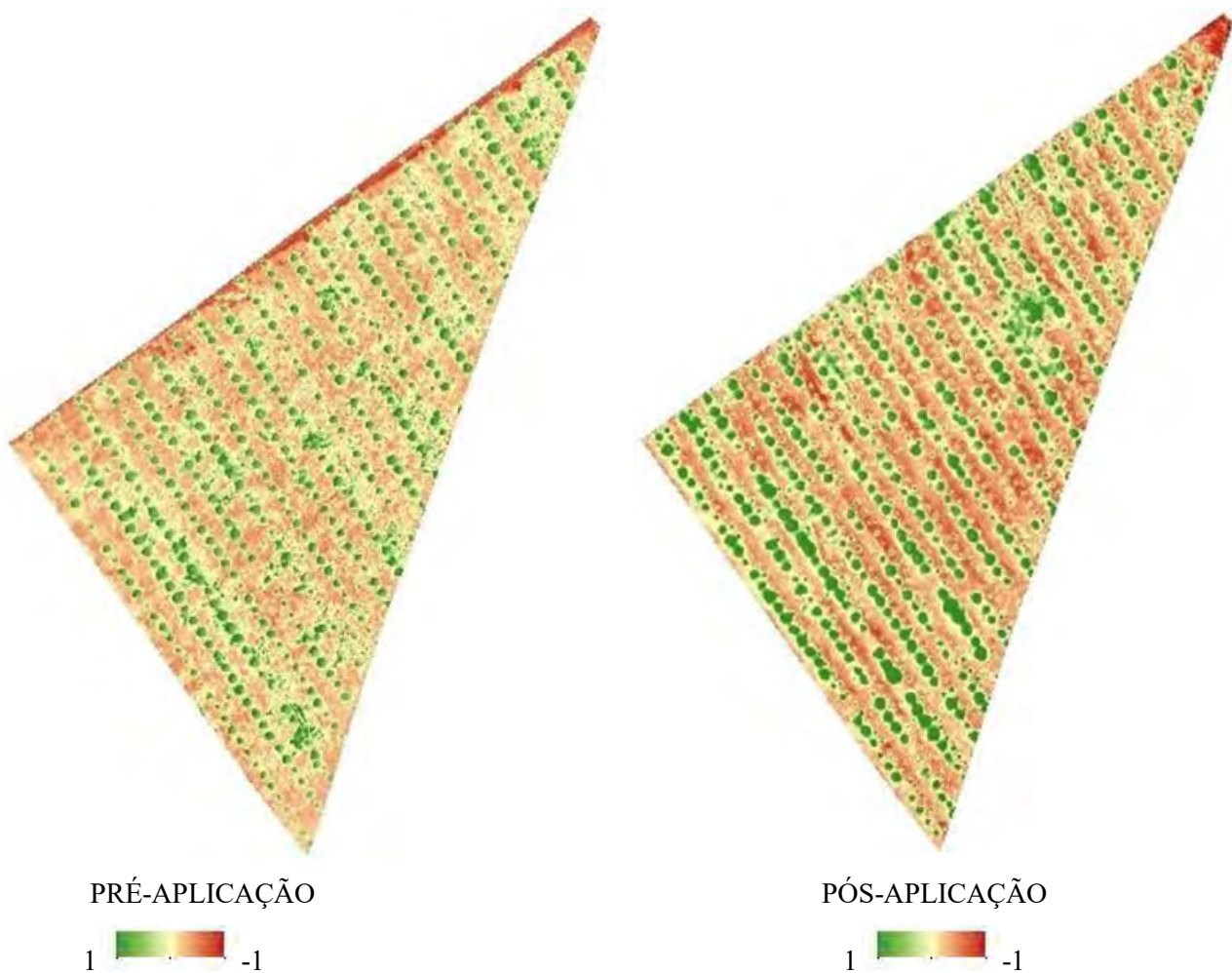


FIGURA 2. Mapas de NDVI do talhão B para os períodos pré-aplicação (NOVEMBRO) e 90 dias pós-aplicação (FEVEREIRO).

Na Figura 2 é possível verificar que a sanidade das brotações do período pré-aplicação apresentou comportamento distinto ao mapa da Figura 1. Nessas condições de valor de NDVI mais baixo (coloração esverdeada clara), a justificativa mais provável é que a aplicação de um herbicida pré-emergente ocorreu em um período próximo ao da presente aplicação (pós-emergente). Outra resposta para esse comportamento, é que em alguns plantios de eucalipto, na maioria das vezes as pulverizações podem produzir o efeito desejado em algumas épocas (dessecação total; valor de NDVI baixo), porém de forma não tão satisfatória ou eficiente em outras (dessecação parcial; valor de NDVI médio), causando um questionamento se houve uso da melhor tecnologia disponível em função da susceptibilidade dos clones ou em relação a fatores climáticos desfavoráveis (CUNHA et al., 2004).

Em relação ao mapa do período pós-aplicação, verificou-se em toda a extensão do mapa uma desuniformidade da biomassa (tamanho) das brotações, porém em termos de vigor vegetativo, as plantas apresentaram elevado índice de rebrota (NDVI alto; coloração esverdeada escura). Nessas condições de alta sanidade das brotações, é de se esperar uma intensa competição por água, luz e nutrientes com as mudas recém-plantadas nas entre linhas (SILVA et al., 2014), sendo necessário a adoção imediata de um método de controle nas brotações para não prejudicar o desenvolvimento das mudas.

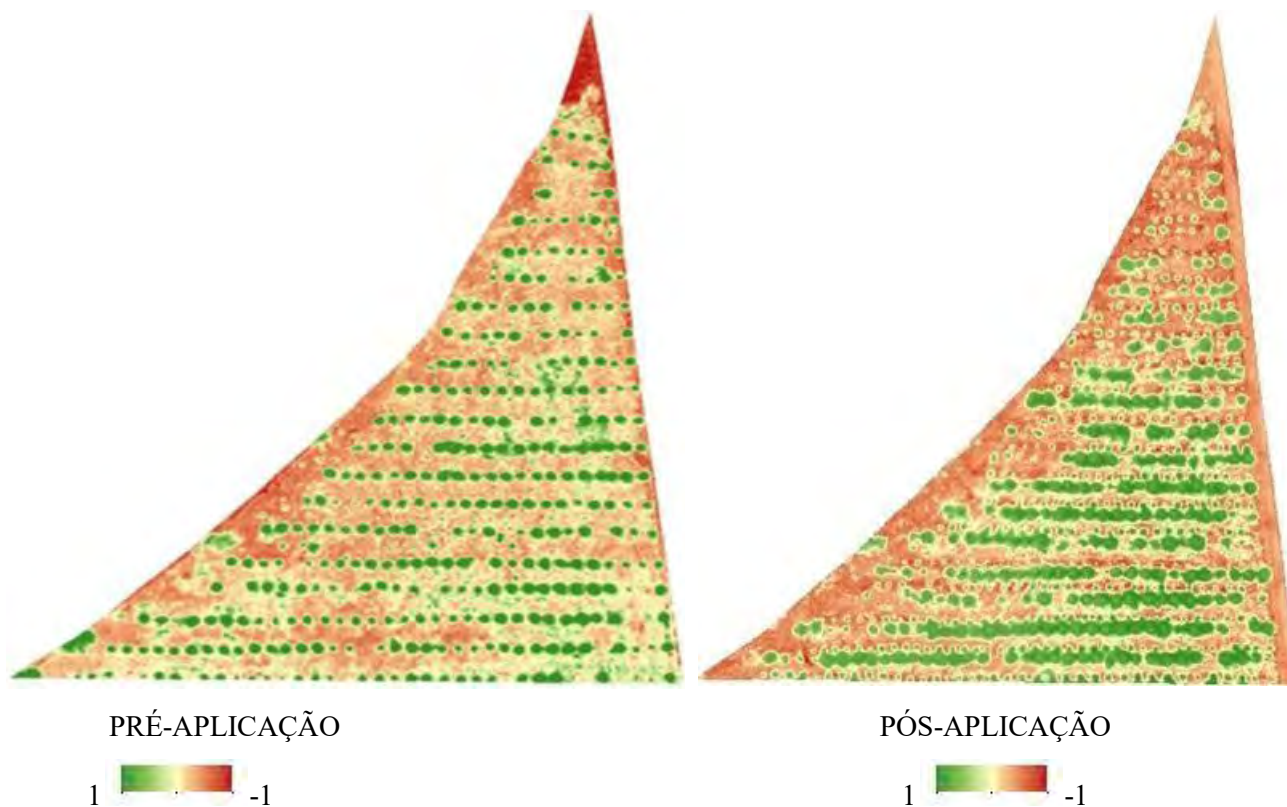


FIGURA 3. Mapas de NDVI do talhão C para os períodos pré-aplicação (NOVEMBRO) e 90 dias pós-aplicação (FEVEREIRO).

Na Figura 3 é possível verificar que o mapa do período pré-aplicação apresentou comportamento semelhante ao mesmo período do mapa da Figura 1, com exceção da homogeneidade das brotações. Essa falta de homogeneidade no talhão, pode prejudicar a pulverização e elevar o índice de rebrota em períodos posteriores de identificação de vigor vegetativo dos brotos, uma vez que, para uma adequada cobertura da área e distribuição o mais uniforme possível, é necessário conhecer as características de deposição proporcionadas pelo pulverizador, como a calibração da altura da barra de acordo com o porte das plantas (FERREIRA et al., 2009).

Em relação ao mapa do período pós-aplicação, esse talhão quando comparado com os demais do presente estudo, foi o que apresentou as brotações mais vigorosas, ou seja, maior índice de rebrota, principalmente no quadrante médio e inferior. Esse elevado valor de NDVI (elevado vigor vegetativo) e elevado porte das brotações pode ser a justificativa que complementa a hipótese levantada anteriormente sobre a heterogeneidade das brotações no mapa do mês de novembro.

Em linhas gerais, as imagens obtidas pelo VANT utilizadas na identificação do vigor vegetativo das brotações, permitiu evidenciar visualmente através da ferramenta de NDVI, as áreas onde houve redução e estabilidade da sanidade e, principalmente, as rebrotas que aconteceram no período de 90 dias após a aplicação de herbicida.

## CONCLUSÃO

O uso de VANTs permitiu identificar, visualmente, o comportamento das brotações de eucalipto após 90 dias de aplicação pelo método químico de erradicação.

O índice vegetativo (NDVI) apresentou-se como uma ferramenta essencial na distinção do vigor vegetativo das brotações.

Este estudo apresentou uma alternativa viável para a avaliação da sanidade das brotações em área silvicultural, contribuindo diretamente para o processo produtivo das florestas.

**AGRADECIMENTOS:** À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado. Ao laboratório de Mecanização e Agricultura de Precisão (LabMAP) pela ajuda nos processamentos dos dados. À Veracel Celulose S/A pela disponibilidade da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- BAGHESTANI, M. A.; ZAND, E.; SOUFIZADEH, S.; ESKANDARI, A.; POURAZAR, R.; VEYSI, M.; NASSIRZADEH, N. Efficacy evaluation of some dual purpose herbicides to control weeds in maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 936-942, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.
- FERREIRA, M. D. C.; DI OLIVEIRA, J. R. G.; DAL PIETRO, I. R. P. S. Distribuição da calda herbicida por pontas de pulverização agrícola utilizadas em áreas de reflorestamento com eucalipto. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 267-276, 2009.
- GALIZIA, L. F. C.; RAMIRO, G. A.; ROSA, C. J. C. Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 24, n. 45, 2016.
- HUNT, E. R. Jr.; HIVELEY, W. D.; FUJIKAWA, S. J.; LINDEN, D. S., DAUGHTRY, C. S. T., MCCARTY, G. W. Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring. **Remote Sensing**, v. 2, n. 1, p. 290-305, 2010.
- LALIBERTE, A. S.; GOFORTH, M. A.; STEELE, C. M.; RANGO, A. Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. **Remote Sensing**, v. 3, n.11, p. 2529-2551, 2011.
- RUZA, M. S.; DALLA CORTE, A. P.; HENTZ, A. M. K.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, C. A.; SCHOENINGER, E. R. Inventário de Sobrevivência de povoamento de Eucalyptus com uso de Redes Neurais Artificiais em Fotografias obtidas por VANTs. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 1, p. 83-88, 2017.
- SILVA, B. P.; MACHADO, Â. A.; FONSECA, E. D.; COSTA, M. F. Distribuição, diâmetro de gotas e fitotoxicidade de herbicidas aplicados em mudas de eucalipto com pontas de indução de ar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 3, p. 225-234, 2014.
- SUGIURA, R.; NOGUCHI, N.; ISHII, K.; Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. **Biosystems Engineering**, v. 90, n. 4, p. 369-379, 2005.
- TIBURCIO, R. A. S. **Desenvolvimento de pulverizador visando o controle de brotações na reforma de eucalipto**. 2014. 83 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.
- TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L.; VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; SOUZA, G. V. R. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 133-137, 2007.

## **VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE SOJA UTILIZANDO DUAS ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM**

**GISLAINE SILVA PEREIRA<sup>2</sup>, JULIO CEZAR FRANCHINI<sup>1</sup>, HENRIQUE DEBIASI<sup>1</sup>, ALVADI ANTONIO BALBINOT<sup>1</sup>; RAYANE VENDRAME DA SILVA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Embrapa Soja, Londrina/PR, Rod. Carlos João Strass, Distrito de Warta, C.P. 231, Fone: (43) 3371-6000

<sup>2</sup>Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina/PR, Fone: (43) 3371-4483, gislainepereira-@hotmail.com

<sup>3</sup>Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, Fone: (44) 3011-4040

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste espacial dos dados de resistência do solo à penetração (RP) em área de produção de soja para duas grades amostrais de diferentes densidades. O presente estudo foi conduzido em gleba comercial pertencente à Fazenda Santo Antônio localizada no Norte do Paraná. A gleba apresenta área de 16,8 ha, e é manejada sob sistema plantio direto (SPD), com o cultivo de soja no verão e milho consorciado com *Urochloa ruziziensis* no outono-inverno nos últimos três anos. Os dados de RP foram obtidos em 18/10/2017, imediatamente antes da semeadura da soja, por meio de penetrômetro digital acoplado a um quadriciclo. As leituras foram realizadas até a profundidade de 0,3 m, com estratificação a cada 0,05 m, obtendo-se 6 camadas. Foram comparadas duas estratégias de avaliação da RP: 1) realização de leituras em 80 pontos com grade espaçada de 35 x 60 m, com 5 repetições por ponto (80P5R); e 2) avaliação de 420 pontos com grade de 20 x 20 m e uma repetição por ponto (420P1R). Os valores de efeito pepita (Co), variância total (Co+C1), variância estrutural (C1) e do alcance (Ao) foram obtidos através dos semivariogramas de cada camada estudada, estimados pelo programa VESPER. Com os dados krigados foram gerados mapas com o software Surfer 9.0. Os resultados evidenciam que a grade mais intensa (420P1R) implicou na superestimativa dos valores de RP, e conseqüentemente, do estado de compactação. A estratégia de avaliação envolvendo densidade amostral de 80P5R proporcionou melhor ajuste espacial dos dados de RP em relação à opção de 420P1R, indicando que a estimativa mais precisa por ponto é mais importante que o número total de pontos. Assim, a variação da estratégia de amostragem para determinação da resistência do solo, alterando o número de pontos e de repetições, modifica a interpretação do estado de compactação do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** geoestatística, dependência espacial, plantio direto

### **SPATIAL VARIABILITY OF SOIL RESISTANCE IN A SOYBEAN PRODUCTION AREA USING TWO SAMPLING STRATEGIES**

**ABSTRACT:** Spatial adjustment of soil penetration resistance (PR) data in a soybean production area with two sampling grids of different densities was evaluated in this work. The study was conducted in the northern region of Paraná at Fazenda Santo Antônio. The area has 16.8 ha under no tillage system (NT), with soybean cultivation in the summer and maize intercropped with *Urochloa ruziziensis* in autumn-winter period for the last three years. The PR data were collected just before soybean sowing (10/18/2017), with a digital penetrometer coupled to a quadricycle. Readings were performed in the 0.0-0.3 m layer, with 0.05 m resolution. Two PR evaluation strategies were tested: 1) 80 points in a 35 x 60 m grid, with 5 replicates per point (80P5R); and 2) 420 points in a 20 x 20 m grid with one replicate per point (420P1R). The values of nugget effect (Co), along with total variance (Co + C1), structural variance (C1) and range (Ao) values were given through the semivariograms of each layer, according to VESPER program. Maps were generated using Surfer 9.0 software from krigated data. Results showed the most intense grid (420P1R) implied in overestimation of the PR values altogether with soil compaction state. The 80P5R strategy provided a better spatial fit of the PR data, indicating that the most accurate estimative per point is far more relevant than the

total number of points. As result, changes in sampling strategy to evaluate soil resistance using variations in the number of points and replicates, tends to modify the interpretation of soil compaction effects on plants.

**KEYWORDS:** geostatistic, spatial dependence, No-tillage

**INTRODUÇÃO:** A resistência do solo à penetração (RP) é um parâmetro indicativo do estado de compactação do solo (Tavares Filho e Ribon, 2008). Porém, em nível de lavoura, este parâmetro apresenta grande variabilidade espacial (Debiasi et al., 2012), sendo, portanto, interessante que seja utilizada uma abordagem geoestatística dos dados (Oliveira et al., 2014). Com base na variabilidade espacial da RP, pode-se gerar zonas de manejo específicas, favorecendo a execução de práticas de conservação do solo em áreas compactadas (Dalchiavon et al., 2011). Neste contexto, o número de pontos amostrados (Debiasi et al., 2012) e de repetições (Tavares Filho e Ribon, 2008) influenciam a variabilidade dos dados de RP, determinando que o esquema de amostragem tenha grande influência no resultado final da avaliação. Deste modo, a hipótese a ser testada no presente trabalho é de que o tamanho da grade amostral, determinado pelo número de pontos avaliados em uma área de produção de soja, é mais importante do que o número de repetições por ponto para a redução da variabilidade aleatória e aumento da dependência espacial dos valores da RP. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste espacial dos dados de resistência do solo em área de produção de soja para duas grades amostrais de diferentes densidades.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente estudo foi conduzido em gleba comercial pertencente à Fazenda Santo Antônio, localizada no município de Cambé, no Norte do Paraná (23° 03' S e 51° 20' O). O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférrico de textura argilosa (Santos et al., 2006). A gleba apresenta área de 16,8 ha, e é manejada sob sistema plantio direto (SPD), com o cultivo de soja no verão e milho consorciado com braquiária ruziziensis no outono-inverno nas últimas três safras. Os dados de RP foram obtidos em 18/10/2017, imediatamente antes da semeadura da soja, por meio de penetrômetro digital equipado com cone de 130 mm<sup>2</sup> de área da base e 30° de ângulo em relação vertical, acoplado a um quadriciclo. As leituras foram realizadas na camada de 0,0-0,3 m, com resolução de 0,05 m. Foram comparadas duas estratégias de avaliação da RP: 1) realização de leituras em 80 pontos com grade espaçada de 35 x 60 m, com 5 repetições por ponto (80P5R); e 2) avaliação de 420 pontos com grade de 20 x 20 m e uma repetição por ponto (420P1R). Na mesma ocasião, foram extraídas amostras de solo em 20 pontos regularmente distribuídos na gleba, nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, para a determinação do conteúdo gravimétrico de água. Os valores de efeito pepita (Co), patamar (Co+C1), contribuição (C1) e do alcance (Ao) foram obtidos através dos semivariogramas de cada camada estudada, estimados pelo programa VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error). Com os dados krigados foram gerados mapas com o software Surfer 9.0 (Surface Mapping System, Golden Software Inc). O índice de dependência espacial (IDE %) foi obtido conforme Cambardella et al. (1994). O IDE permite classificar a dependência espacial em: forte (IDE <25%); moderada (25 ≤ IDE ≤ 75%) ou fraca (IDE >75%).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Independentemente da estratégia de avaliação, a camada superficial apresentou menor grau de compactação que as demais (RP < 1,5 MPa) (Figura 1). Já os maiores valores de RP foram observados nas camadas entre 0,06 - 0,20 m, para ambas grades amostrais. Os mapas gerados a partir da grade amostral com 420P1R apresentaram maior intervalo de variação dos valores de RP em todas as camadas comparativamente à avaliação com 80P5R, o que foi resultado da redução dos valores mínimos e, principalmente, do aumento dos valores máximos de RP. Por exemplo, na camada de 0,06-0,10 m, a RP variou entre 2,8 e 3,4 MPa na avaliação com 80P5R, e entre 2,1 e 4,4 MPa na amostragem com 420P1R. Em consequência, houve pequeno aumento nos valores médios krigados de RP na grade de 420P1R em relação a de 80P5R nas camadas acima de 0,2 m. Nas camadas de 0,21-0,25 m e 0,26-0,30 m, os valores de RP foram similares entre as estratégias de amostragem. As diferenças mais importantes entre as estratégias de avaliação ocorreram na camada de 0,06-0,10 m (Figuras 1A e 1B). Considerando a avaliação com 420P1R, 38% da área apresentou RP ≥ 3,5 MPa na camada de 0,06-0,10 m, valor considerado crítico às plantas em solos manejados sob SPD (Moraes et al., 2014). Já na amostragem com 80P5R, toda a área apresentou valores de RP < 3,5 MPa, evidenciando que a alteração do número de pontos e de repetições por ponto modificou a interpretação dos efeitos do estado de compactação da camada de 0,06-0,10 no crescimento das plantas.

Também foram observadas diferenças importantes na variabilidade espacial da RP entre as estratégias de amostragem na camada de 0,11-0,15 m. Com 420P1R, 67% da área mapeada apresentou RP ≥ 4 MPa e 33% RP entre 3,5 e 4,0 MPa. Por outro lado, com 80P5R, os valores de RP ≥ 4 MPa nessa camada foram

reduzidos a apenas 24% da área mapeada, com os restantes 76% apresentando RP entre 3,0 e 4,0 MPa. Este resultado evidencia que a grade mais intensa, porém sem repetições por ponto, implicou na superestimativa dos valores de RP, e consequentemente, do estado de compactação.

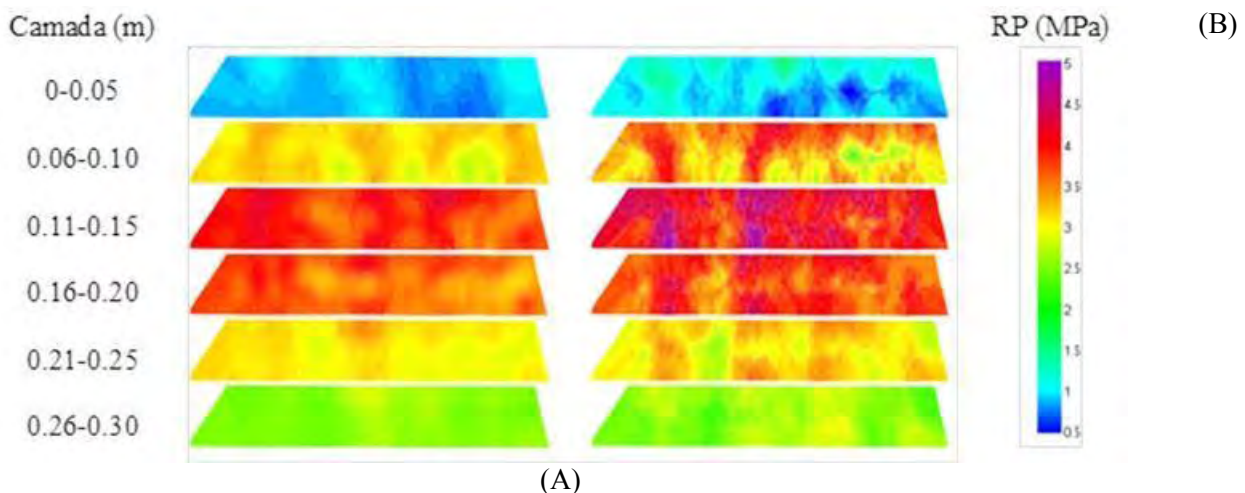


FIGURA 1. Mapas de krigagem da resistência do solo à penetração (em MPascal) em diferentes camadas para (A) 80 pontos de amostragem com 5 repetições e (B) 420 pontos de amostragem em área sob cultivo de soja.

O conteúdo gravimétrico médio de água do solo no momento das avaliações não apresentou dependência espacial estruturada, sendo equivalente  $0,27$  e  $0,29 \text{ kg kg}^{-1}$  nas camadas de  $0,0-0,1$  e  $0,1-0,2$  m, respectivamente. Para todas as camadas avaliadas nas duas estratégias de amostragem, houve dependência espacial dos dados de RP (Tabela 1). A densidade amostral de 80P5R apresentou menores valores para o efeito pepita quando comparada à densidade amostral de 420P1R, o que mostra uma maior variabilidade aleatória nos dados de RP com uma repetição por ponto. O alcance representa a distância acima da qual não há dependência espacial entre as amostras, sendo os menores valores encontrados na densidade amostral de 80P5R. O IDE foi considerado fraco para todas as camadas avaliadas na amostragem de 420P1R (Tabela 1). Já a avaliação 80PR resultou em maior dependência espacial dos dados de RP em todas as camadas. Nas camadas entre  $0,06$  e  $0,20$  m, a dependência espacial passou de “fraca” com 420P1R, para “moderada” com 80P5R. Esse resultado deve ser ressaltado, uma vez que é essa camada que geralmente apresenta o maior grau de compactação no SPD e, portanto, é a de maior interesse no monitoramento da RP (Debiasi et al., 2012).

TABELA 1. Modelo e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais de resistência do solo a penetração em função do número de repetições em área cultivada com soja.

Estratégia	Camada (m)	Modelo	<sup>1</sup> Co	C1	(Co+C1)	Ao (m)	IDE (%)	Classe Espacial
80 c/ 5 rep.	0,00-0,05	Esf.	0,05	0,01	0,06	117,10	80,72	Fraca
80 c/ 5 rep.	0,06-0,10	Esf.	0,31	0,12	0,43	107,20	73,11	Moderada
80 c/ 5 rep.	0,11-0,15	Esf.	0,25	0,14	0,39	77,71	64,98	Moderada
80 c/ 5 rep.	0,16-0,20	Esf.	0,24	0,14	0,38	83,70	63,16	Moderada
80 c/ 5 rep.	0,21-0,25	Esf.	0,17	0,04	0,21	112,20	80,99	Fraca
80 c/ 5 rep.	0,26-0,30	Esf.	0,07	0,02	0,09	136,50	75,98	Fraca
420	0,00-0,05	Esf.	0,33	0,06	0,39	124,10	85,03	Fraca
420	0,06-0,10	Esf.	1,79	0,13	1,92	92,32	93,30	Fraca
420	0,11-0,15	Esf.	1,49	0,09	1,58	189,80	94,39	Fraca
420	0,16-0,20	Esf.	1,00	0,08	1,09	192,30	92,20	Fraca
420	0,21-0,25	Esf.	0,45	0,07	0,51	149,60	86,78	Fraca
420	0,26-0,30	Esf.	0,23	0,02	0,25	184,00	91,90	Fraca

<sup>1</sup>Co=efeito pepita; C1=contribuição ou variância estrutural; (Co+C1) = variância total; Ao=alcance; IDE(%)=Índice de dependência espacial.

**CONCLUSÃO:** Concluiu-se que a estratégia de avaliação envolvendo densidade amostral de 80P5R proporcionou melhor ajuste espacial dos dados de RP em relação à opção de 420P1R, indicando que a estimativa mais precisa por ponto é mais importante que o número total de pontos. A variação da estratégia de amostragem para determinação da RP, alterando o número de pontos e de repetições, modifica a interpretação do estado de compactação do solo.

## REFERÊNCIAS

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society American**, v.58, p.1501-1511, 1994.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, p.8-19, 2011.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; OLIVEIRA, F.A.; MACHADO, T.M. Ajuste de grades amostrais para o mapeamento da resistência a penetração de um Latossolo Bruno. In: INAMASU, B.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H. Ed. Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2012. p.138-142.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrodox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 288-298, 2014.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, C.C.; AQUINO, R.E.; MARQUES JUNIOR, J.; FREITAS, L.; SOUZA, Z.M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. **Revista Ciências Agrárias**, v.57, p. 287-296, 2014

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A.A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.487-489, 2008.



## VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL A PARTIR DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS 1961-1990 E 1981-2010

ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA <sup>1</sup>, EDUARDO LEONEL BOTTEGA<sup>2</sup>, CLARISSA MORAES DA SILVA<sup>3</sup>, TIAGO TONDOLO LINK<sup>3</sup>, IRAJÁ JANTSCH DE SOUZA <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola, Prof<sup>a</sup>., Coordenadoria Acadêmica UFSM-CS, UFSM, Cachoeira do Sul – RS, Fone: (51) 3724-8427, zanandraboff@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof., Coordenadoria Acadêmica UFSM-CS, UFSM, Cachoeira do Sul – RS.

<sup>3</sup> Estudante do Curso de Engenharia Agrícola UFSM – CS, UFSM, Cachoeira do Sul – RS.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A análise de dados climáticos permite a previsão de áreas com ocorrência do estresse calórico e auxilia na tomada de decisões quanto ao manejo ambiental adequado. O presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do índice de temperatura e umidade (ITU) no estado do Rio Grande do Sul a partir das normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010. O estudo foi realizado para os meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março), em dezoito municípios do estado. Os dados meteorológicos médios mensais de temperatura máxima do ar (Tmax) e de umidade relativa mínima do ar (URmin), utilizados para o cálculo do ITU na Tmax, foram obtidos no site do INMET. A análise geoestatística foi realizada utilizando o software GS+ e os mapas foram confeccionados com o software KrigMe. Os valores de ITU são mais elevados no período de 1981-2010 em comparação ao período anterior (1961-1990), incrementando a área do estado que está sob estresse calórico para 100% do território e a severidade do mesmo chegando a valores extremos ( $ITU \geq 84$ ). A espacialização do ITU nas diferentes regiões contribuiu para a análise do conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul e serve como um subsídio técnico para a adoção de práticas de condicionamento térmico ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** ITU, conforto térmico, geoestatística.

### SPACE VARIABILITY OF THE TEMPERATURE AND MOISTURE INDEX IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL FROM CLIMATOLOGICAL STANDARDS 1961-1990 AND 1981-2010

**ABSTRACT:** The analysis of climatic data allows the prediction of areas with occurrence of caloric stress and helps in the decision making regarding the appropriate environmental management. The present work had the objective of analyzing the spatial variability of the temperature and humidity index (THI) in the state of Rio Grande do Sul from the climatological normals 1961-1990 and 1981-2010. The study was conducted for the summer months (december, january, february and march) in eighteen municipalities of the state. The mean monthly maximum air temperature (Tmax) and minimum relative humidity (URmin) monthly data, used to calculate ITU in Tmax, were obtained from the INMET website. The geostatistical analysis was performed using the GS + software and the maps were made with KrigMe software. The THI values are higher in the period 1981-2010 compared to the previous period (1961-1990), increasing the area of the state that is under caloric stress to 100% of the territory and the severity of it reaching extreme values ( $THI \geq 84$ ). The spatialization of the THI in the different regions contributed to the thermal comfort analysis in the state of Rio Grande do Sul and serves as a technical subsidy for the adoption of environmental thermal conditioning practices.

**KEYWORDS:** THI, thermal comfort, geostatistics.

**INTRODUÇÃO:** O zoneamento bioclimático, por meio do monitoramento das condições climáticas, permite a previsão de áreas com probabilidade de ocorrência do estresse calórico, auxiliando a tomada de

decisões quanto ao manejo ambiental, para minimizar o estresse calórico (MENDES et al., 2014). Para realizar uma análise bioclimática, diversos índices de conforto térmico estão disponíveis na literatura. No que tange à análise do conforto térmico em ambiente externo destaca-se o ITU (THOM, 1959; BUFFINGTON et al., 1982), que integra o efeito combinado da temperatura e da umidade relativa do ar. Além disso, o estudo de índices que apontam o conforto térmico é cada vez mais importante, em face aos prognósticos de mudança climática global. As projeções do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), apontam que a Terra sofrerá um aumento da temperatura média das superfícies até o ano 2100 de 0,9 a 1,7 °C no cenário mais otimista, e, de 2,6 a 4,8 °C no cenário mais pessimista (IPCC, 2013). Para Sirohi e Michaelowa (2007), as mudanças no clima podem intensificar o estresse térmico em decorrência de alterações no balanço de energia térmica entre o animal e o ambiente, o qual é influenciado pelos fatores ambientais (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) e mecanismos de termorregulação (condução, radiação, convecção e evaporação). Em face dessa problemática da possível mudança climática, a divulgação pelo INMET, em abril de 2018, das normais climatológicas referentes ao período de 1981 a 2010, possibilita a realização de estudos que avaliem as alterações no padrão climático em relação ao período de 1961 a 1990, e, a partir de então verificar se os prognósticos de mudança climática se confirmam. A Organização Meteorológica Mundial (OMM), define normais climatológicas como valores climáticos médios calculados para um período relativamente longo e uniforme (INMET, 2018). A espacialização do conforto e desconforto térmico em diferentes locais pode ser realizada com o auxílio da geostatística (OLIVEIRA et al., 2018). De acordo com Yamamoto e Landim (2013), os métodos geostatísticos fornecem um conjunto de técnicas necessárias para entender a aparente aleatoriedade dos dados. Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do ITU no estado do Rio Grande do Sul, a partir das normais climatológicas de dois períodos: 1961 a 1990 e 1981 a 2010.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado para os meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março), em dezoito municípios do estado do Rio Grande do Sul, localizados em diferentes regiões. Na figura 1 é apresentado o mapa de localização, bem como os municípios avaliados no estudo.

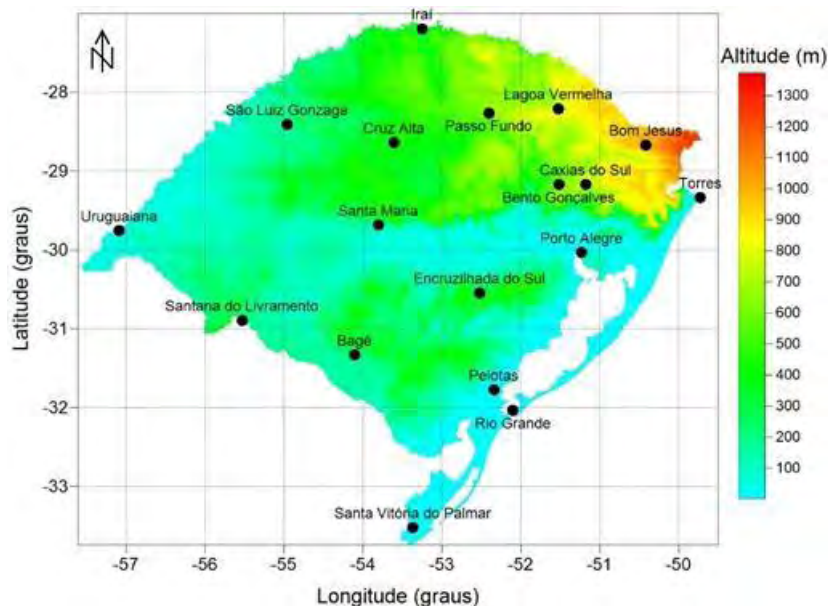


FIGURA 1. Mapa do estado do Rio Grande do Sul e localização geográfica dos municípios estudados.

Os dados meteorológicos médios mensais de temperatura máxima do ar ( $T_{max}$ ) e de umidade relativa mínima do ar ( $UR_{min}$ ), utilizados para o cálculo do ITU na  $T_{max}$ , foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de 1961 a 1990 e de 1981 a 2010 (normais climatológicas). Utilizou-se a  $T_{max}$  e a  $UR_{min}$ , porque a temperatura e a umidade relativa do ar apresentam um curso inverso, devido ao fato de que o ar mais quente tem maior capacidade de reter umidade. Assim, quando a temperatura do ar é máxima a umidade relativa do ar é mínima e vice-versa. O ITU foi calculado pela Equação 1, proposta por Buffington et al. (1982).

$$ITU = 0,8 T_{max} + UR_{min} \frac{T_{max}-14,2}{100} + 46,3 \quad (1)$$

em que,

ITU: índice de temperatura e umidade, adimensional;

T<sub>max</sub>: temperatura máxima do ar, média do mês °C;

UR<sub>min</sub>: umidade relativa mínima do ar, média do mês (%).

A dependência espacial do ITU foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 2.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

em que,

$\hat{\gamma}(h)$ : Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h Distância de separação entre pares de pontos, m;

N (h): Número de pares experimentais de observações Z(x<sub>i</sub>) e Z (x<sub>i+h</sub>) separados por uma distância h.

Foram testados os seguintes modelos: linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A). Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático de variabilidade espacial do ITU. A interpolação dos mapas foi realizada utilizando o método da krigagem ordinária. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, foram utilizados 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variogramas. A análise geostatística foi realizada utilizando o software GS+ e os mapas foram confeccionados com o software KrigMe.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 2 pode-se observar os valores médios mensais da T<sub>max</sub> e da UR<sub>min</sub>, obtidos das normais climatológicas de 1961 a 1990 (anterior) e de 1981 a 2010 (atual), para os diferentes municípios.

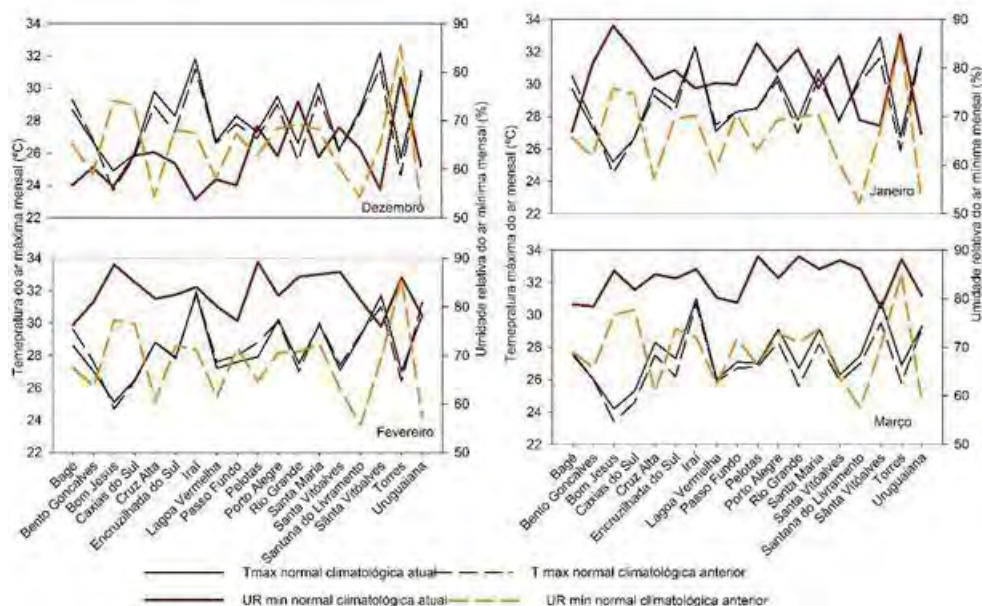


FIGURA 2. Valores médios mensais de umidade relativa mínima do ar e de temperatura máxima do ar de dois períodos para diferentes municípios do Rio Grande do Sul.

Os valores de Tmax médios para o período e para os municípios são praticamente os mesmos nas duas normais climatológicas, sendo estes de 28,5°C e 28, 4°C para o período de 1961 a 1990 e de 1981 a 2010, respectivamente. O mês de janeiro é o mais quente do período de verão e, os municípios de Uruguaiana e São Luiz Gonzaga são os meses mais quentes, dentre os avaliados. Houve um incremento médio de 17% nos valores de URmin no período de 1981 a 2010 em comparação ao período anterior (1961-1990). Tal fato pode ser atribuído ao incremento observado no número de dias com chuva no período de 1981 a 2010 em comparação ao de 1961 a 1990 (Figura 3), já que não houve aumento na Tmax conforme os prognósticos de mudança climática.

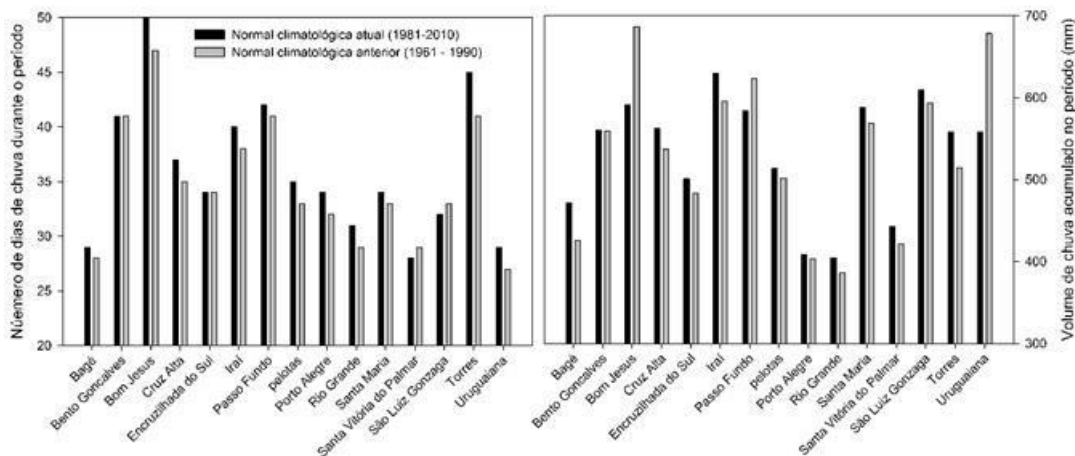


FIGURA 3. Número de dias com chuva superior a 1 mm e volume acumulado de chuva obtido das normais climatológicas (1961-1990 e 1981-2010).

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros referentes aos ajustes dos semivariogramas. Dentre os avaliados, o modelo Gaussiano foi o que proporcionou melhor ajuste aos valores de semivariância experimental observada estimados para o ITU.

TABELA 1. Parâmetros dos semivariogramas teóricos referente à modelagem da dependência espacial para os valores do índice de temperatura e umidade (ITU) considerando as normais climatológicas atual (1981-2010) e anterior (1961-1990).

ITU	Meses	Modelo	Parâmetros geoestatísticos				
			a <sup>(1)</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>(2)</sup>	C <sub>0</sub> <sup>(3)</sup>	SQR <sup>(4)</sup>	R <sup>2(5)</sup>
Atual	Dezembro	Gaussiano	514,54	12,9	3,8	2,4	0,94
	Janeiro	Gaussiano	455,64	11,19	4,29	0,18	0,99
	Fevereiro	Esférico	565,66	8,93	3,41	2,36	0,86
	Março	Exponencial	198,93	9,66	4,22	2,51	0,76
Antigo	Dezembro	Gaussiano	371,18	12,30	3,71	6,11	0,88
	Janeiro	Esférico	580,11	9,86	3,18	6,50	0,77
	Fevereiro	Esférico	558,99	7,64	3,64	3,64	0,68
	Março	Exponencial	92,24	7,88	0,93	16,20	0,27

<sup>1</sup>Alcance (km); <sup>2</sup>Patamar; <sup>3</sup>Efeito pepita; <sup>4</sup>Soma de quadrados do resíduo; <sup>5</sup>Coefficiente de determinação.

Na Figura 4, observa-se por meio da espacialização do ITU no RS, que a maior parte do território está sob estresse calórico no período de verão. Oliveira et al. (2017), realizaram o zoneamento bioclimático do estado do Rio Grande do Sul e identificaram condições ambientais muito quentes a extremamente quentes, no período primavera/verão, com maior severidade nas regiões de menor altitude, podendo trazer consequências graves à saúde do trabalhador rural e condição de perigo para os animais. Os valores de ITU são mais elevados no período de 1981 a 2010 em comparação ao período anterior, incrementando a área do estado que está sob estresse calórico (para 100%) e a severidade do mesmo (ITU ≥ 84). No mês de janeiro, os valores de ITU > 80 presentes em 44% do território no período de 1961 a 1990 aumentam para uma área de 78% do território no período mais recente. Para Varejão-Silva (2005), variações do teor de umidade do ar, associadas

às da temperatura estabelecem o conforto ambiental, mas a umidade relativa do ar é o principal fator responsável pela sensação de desconforto. De modo que, o aumento na URmin verificado nas últimas normais climatológicas em comparação a anterior, mesmo não sendo acompanhada do incremento da Tmax, aumentou a área e a severidade do estresse calórico no RS.

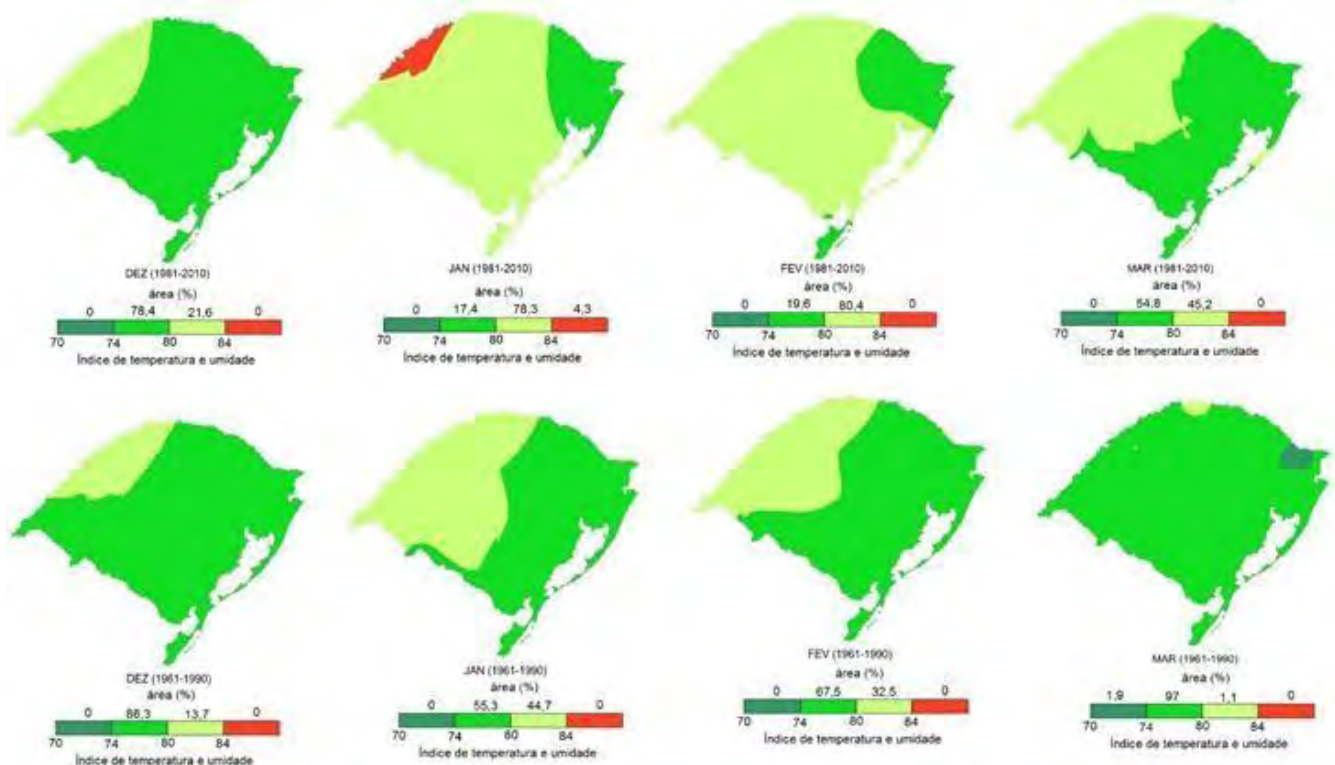


FIGURA 4. Mapas temáticos do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) referente aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março para o estado do Rio Grande do Sul.

**CONCLUSÃO:** Os valores de ITU são mais elevados no período de 1981 a 2010 em comparação ao período anterior (1961 a 1990), incrementando a área do estado que está sob estresse calórico para 100% do território e a severidade do mesmo chegando a valores extremos ( $ITU \geq 84$ ). A espacialização do ITU nas diferentes regiões contribuiu para a análise do conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul e serve como um subsídio técnico para a adoção de práticas de condicionamento térmico ambiental.

## REFERÊNCIAS

- BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. Shede management systems to reduce heat stress for dairy cows. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 16p. PAPER 82-4061, 1982.
- IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, Geneva, Switzerland, 2013.
- MENDES, A.M.P. Índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático para ovinos da raça Dorper no Estado de Pernambuco. 2014. 161p. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L. ; SILVA, C. M. ; RODRIGUES, L. R. ; KNIES, A. E. . Zoneamento bioclimático do estado do Rio Grande do Sul para o conforto térmico de animais e do trabalhador rural. **Ambiência**, v. 13, p. 423-438, 2017.
- OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L. ; SILVA, C. M. ; SOUZA, I. J. ; LINK, T. T. Variabilidade especial do índice de temperatura e umidade em cenários de mudança climática no RS. In: Lúcio de Paula Amaral. (Org.). **Livro digital trabalhos completos do IV Congresso Sul Americano de agricultura de precisão e máquinas precisas**. 1ª Edição. 1ed. Santa Maria: CESPOL, p. 178-188. 2018.
- SIROHI, S.; MICHAELOWA, A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. **Climatic Change**, v.100, p.120-134, 2007.

THOM, E.C. **The discomfort index**. Weatherwise, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital. Recife. PE. Brasil. 2005.

YAMAMOTO, J. K.; LAMDIM, P. M, B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos. 215p. 2013.

## **VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA CULTIVADA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**EDMILSON FERREIRA BORGES<sup>1</sup>, ANDERSON DA SILVA UMBELINO<sup>2</sup>, MARCOS PAULO DE OLIVEIRA MARTINS<sup>3</sup>, ELTON FIALHO DOS REIS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis (GO), edmilsonborjes@hotmail.com.

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis (GO).

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis (GO).

<sup>4</sup> Professor Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis (GO).

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e produtividade da soja. A cultivar semeada foi TMG 1264 RR, com densidade populacional de 240000 plantas ha<sup>-1</sup>. O trabalho foi realizado em uma área comercial no município de Anápolis GO. Para as análises dos atributos químicos foram retiradas amostra de solo na camada de 0 - 0,20 m. Para avaliar a variabilidade foi utilizada uma malha amostral, com 61 pontos espaçados de 90 m x 90 m, onde foram avaliados a produtividade em 1 m<sup>2</sup> e os atributos químicos pH (H<sub>2</sub>O), Cálcio (Ca), Alumínio (Al), Potássio (K), Fósforo (P), Capacidade de troca de cátions (CTC). As variáveis obtidas foram analisadas pela geoestatística e classificados segundo o grau de dependência espacial. Logo após, utilizando o método de interpolação por krigagem ordinária foram estimados os valores para locais não amostrados, permitindo a confecção de mapas de isolinhas. As variáveis que apresentaram dependência espacial foram: produtividade, Ca, CTC, P e Al, porem o alumínio apresentou alcance inferior a 90 m impossibilitando assim a elaboração do mapa por meio da krigagem ordinária. As variáveis, pH e K apresentaram efeito pepita pura (EPP). O uso da geoestatística e a elaboração dos mapas de isolinhas permitem a visualização das zonas de manejo onde ocorrem os maiores e menores níveis dos atributos químicos avaliados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, Krigagem ordinária, Dependência espacial

### **SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND PRODUCTIVITY OF SOYBEANS CULTIVATED IN DIRECT PANTHER SYSTEM**

**ABSTRACT:** The present work had as objective to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes and soybean yield. The cultivar used was TMG 1264 RR, with a population density of 240000 plants ago-1. The work was carried out in a commercial area in the municipality of Anápolis GO. For the analyzes of the chemical attributes, soil samples were taken from the 0-0,20m layer. To evaluate the variability, a sample mesh was used, with 61 spaced points of 90 mx 90 m, where the productivity in 1 m<sup>2</sup> was evaluated and the chemical attributes pH (H<sub>2</sub>O), Calcium (Ca), Aluminum (Al), Potassium (K), Phosphorus (P), Cation exchange capacity (CTC). The obtained variables were analyzed by geostatistics and classified according to the degree of spatial dependence. Then, using the ordinary kriging interpolation method, the values for non-sampled sites were estimated, allowing the construction of isoline maps. The variables that presented spatial dependence were: productivity (Ca), (CTC), (P) and (Al), but aluminum had a range of less than 90 m, thus making it impossible to draw up the map by means of ordinary krigagem. The variables, (pH) and (K) presented pure pith effect (PPS). The use of geostatistics and the elaboration of the maps of isolines allow the visualization of the management zones where the highest and lowest levels of the evaluated chemical attributes occur.

**KEYWORDS:** Geostatistics, Ordinary kriging, Space dependence

**INTRODUÇÃO:** A utilização de sistemas conservacionistas para a produção agrícola tem sido uma constante nos últimos anos. A necessidade de sustentabilidade, preservação ambiental, melhoria da qualidade de solos agrícolas e redução dos custos de produção, tem contribuído para o crescimento do mesmo. O sistema de plantio direto (SPD), por exemplo, é eficiente para o atendimento de tais exigências, proporcionando aumento de rendimento dos sistemas produtivos, quando comparado aos sistemas de preparo convencional (LIMA et al., 2013). A modernização de técnicas de cultivo com mecanização e uso intensivo do solo contribui para modificação dos atributos físicos e químicos, conseqüentemente, influenciando na produção, no equilíbrio dos recursos naturais e na dinâmica da água no solo (MATIAS et al., 2015). Devido à evolução da agricultura começou-se a utilizar as técnicas da agricultura de precisão, na qual as dosagens de corretivos e fertilizantes são aplicadas de forma variável, baseadas no conhecimento da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo (CARNEIRO et al., 2016). Este trabalho objetivou-se avaliar a dependência espacial da produtividade e dos atributos químicos do solo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Barcelos, propriedade comercial, localizada no município de Anápolis - GO. A cultura da soja foi semeada com espaçamento de 0,45 m entre linhas com população de plantas de 240000 plantas por ha<sup>-1</sup>, com uma área de topografia com pouca declividade, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro com textura argilosa. Para isso construiu-se uma malha amostral utilizando um receptor global *positioning system* (GPS), com sistema de correção diferencial em tempo real (WGS84). A malha amostral foi dividida em 61 pontos dentro da área de 55 ha<sup>-1</sup>, com os pontos espaçados de 90 x 90 m entre si. Onde foram coletadas amostras de solo para a determinação dos atributos químicos como: pH, Ca, Al, P, K e CTC. A produtividade da cultura da soja foi feita em uma área de 1 m<sup>2</sup>, antes da colheita, em cada ponto amostral. O rendimento de grãos foi avaliado na área útil de cada ponto, sendo o peso originalmente obtido e corrigido para 13% de umidade. Para determinação dos atributos químicos do solo, foram retiradas cinco amostras em torno de cada ponto em uma profundidade de 0 - 0,20 m, e homogeneizadas, em seguida foram levadas para laboratório comercial. Os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva, tomando por base as seguintes medidas: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente assimetria, curtose e o coeficiente de variação, utilizando o Microsoft Excel. Para o cálculo dos semivariogramas e seus respectivos ajustes foi utilizado o software geoestatístico GS+ 7.0 (Gamma Design Software®), verificando dentre os modelos de semivariogramas fornecidos pelo software (linear, esférico, exponencial e gaussiano), qual melhor se ajustou ao modelo experimental. Os modelos foram escolhidos tendo como base de escolha o maior valor de R<sup>2</sup> e na menor soma de Quadrados de Resíduos (RSS) gerados em cada modelo. Os modelos foram classificados de acordo com a validação cruzada e a classificação do Grau de dependência espacial (GDE) será de acordo com a proposta por (DALCHIAVO et al., 2012). Após a escolha do melhor modelo que se ajuste os dados coletados foi possível a construção dos mapas de isolinhas pelo software GS +, que realiza as interpolações utilizando-se o método da krigagem ordinária.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na análise descritiva (TABELA 1), verificou-se que os valores de média e mediana foram semelhantes, a assimetria e a curtose apresentaram valores próximos à zero, indicando uma aproximação da distribuição normal exceto para a variável alumínio. A variabilidade dos atributos químicos pode ser classificada em função do seu coeficiente de variação (CV). Na área estudada os CV foram muitos altos (CV > 30%) para os valores de Al e P, alto (20 < CV < 30%) para Ca e K, médio (10 < CV < 20%) para produtividade e CTC, e baixo (CV < 10%) para pH, segundo classificação de PIMENTEL-GOMES (1985). As variações dos atributos químicos do solo são conseqüências de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, provocadas pelas adubações e calagens sucessivas e irregulares com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BOTTEGA et al., 2013). A produtividade apresentou coeficiente de assimetria negativa (-0,39) (TABELA 1). Os demais atributos químicos do solo apresentaram distribuição assimétrica positiva. O coeficiente de assimetria é utilizado para a caracterização de quando e como a distribuição de frequências se afasta da simetria. Se o valor encontrado para assimetria for igual à zero, a distribuição é simétrica; se o valor for positivo, a distribuição é assimétrica à direita; e se o valor for negativo, é assimétrica à esquerda (CARNEIRO et al., 2016). A maioria dos atributos apresentaram coeficientes de assimetria positivos, sendo o maior valor observado para variável Al com 1,95. A produtividade apresentou média de 5,12 t ha<sup>-1</sup>, sendo a mínima de 2,10 t ha<sup>-1</sup> e máxima de 7,00 t ha<sup>-1</sup> (TABELA 1).



TABELA 1. Análise descritiva da produtividade da soja e dos atributos químicos do solo na camada de 0-0,2 m em Latossolo Vermelho-Escuro. **Descriptive analysis of soybean yield and soil chemical attributes in the 0-0.2 m layer in Red-Dark Latosol**

Estatística	Média	Med	D. Padr	Curtose	Assi	Mín	Máx	CV (%)
Produt (t ha <sup>-1</sup> )	5,12	5,19	0,92	0,87	-0,39	2,10	7,00	18,05
pH (CaCl <sub>2</sub> ) ( Un. )	4,78	4,80	0,18	0,55	0,10	4,30	5,30	3,85
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,30	2,30	0,60	0,55	0,28	0,80	3,80	26,05
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,69	0,00	0,10	4,35	1,95	0,00	0,50	151,26
CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	6,51	6,30	1,03	1,03	0,53	3,80	9,80	15,83
P (mg/dm <sup>3</sup> )	161,64	150,00	111,95	-0,74	0,51	8,00	390,00	69,26
K (mg/dm <sup>3</sup> )	109,61	100,00	22,30	0,41	0,58	56,00	166,00	20,34

Produt t ha<sup>-1</sup> - Produtividade t ha<sup>-1</sup>; (pH) -potencial hidrogeniônico; (Ca) - Cálcio; (Al) - Alumínio; (K) - Potássio; (P) - Fósforo; (CTC) - Capacidade de troca de cátions; Med - Mediana; D. Padr - Desvio Padrão; Assi - Assimetria; Mín - Mínimo; Máx - Máximo; CV(%) - Coeficiente de variação.

Os parâmetros de ajuste dos semivariogramas foram determinados pelas ferramentas geoestatísticas para avaliar a dependência espacial dos atributos químicos e os alcances da autocorrelação espacial, foi comparada para os diferentes atributos avaliados. No estudo dos semivariogramas o alcance é um parâmetro importante, que indica a distância máxima em que o atributo está correlacionado espacialmente, delimitando a extensão da correlação espacial entre as amostras (DALCHIAVON et al., 2012). Diferentes valores de alcance foram encontrados para a produtividade e os atributos químicos avaliados. Na (TABELA 2) pode-se observar que os valores do alcance obtidos foram de 876,00 m para produtividade, 904,00 m para Ca, 353,00 m CTC, 1246 m P e 89,00 m Al sendo alcance menor que a distância entre pontos 90 m impossibilitando assim a elaboração do mapa do Al. O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou ao semivariograma dos atributos químicos e da produtividade. A variável que apresentou melhor ajuste ao semivariograma foi CTC com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,94. Efetuada por meio dos semivariogramas a análise geoestatística permitiu detectar diferentes escalas de variabilidade espacial, que é entendida como a tendência a que o valor de uma variável associada à determinada localização assemelha-se ao valor de suas amostras vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral. O EPP indica variabilidade não explicada, podendo ser decorrente de erros de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada, é necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência espacial (MACHADO et al., 2007). A malha amostral do experimento com espaçamento de 90 x 90 m não satisfaz a geoestatística para os atributos pH e K que apresentaram EPP, com valores pontuais que não se assemelham a pontos vizinhos.

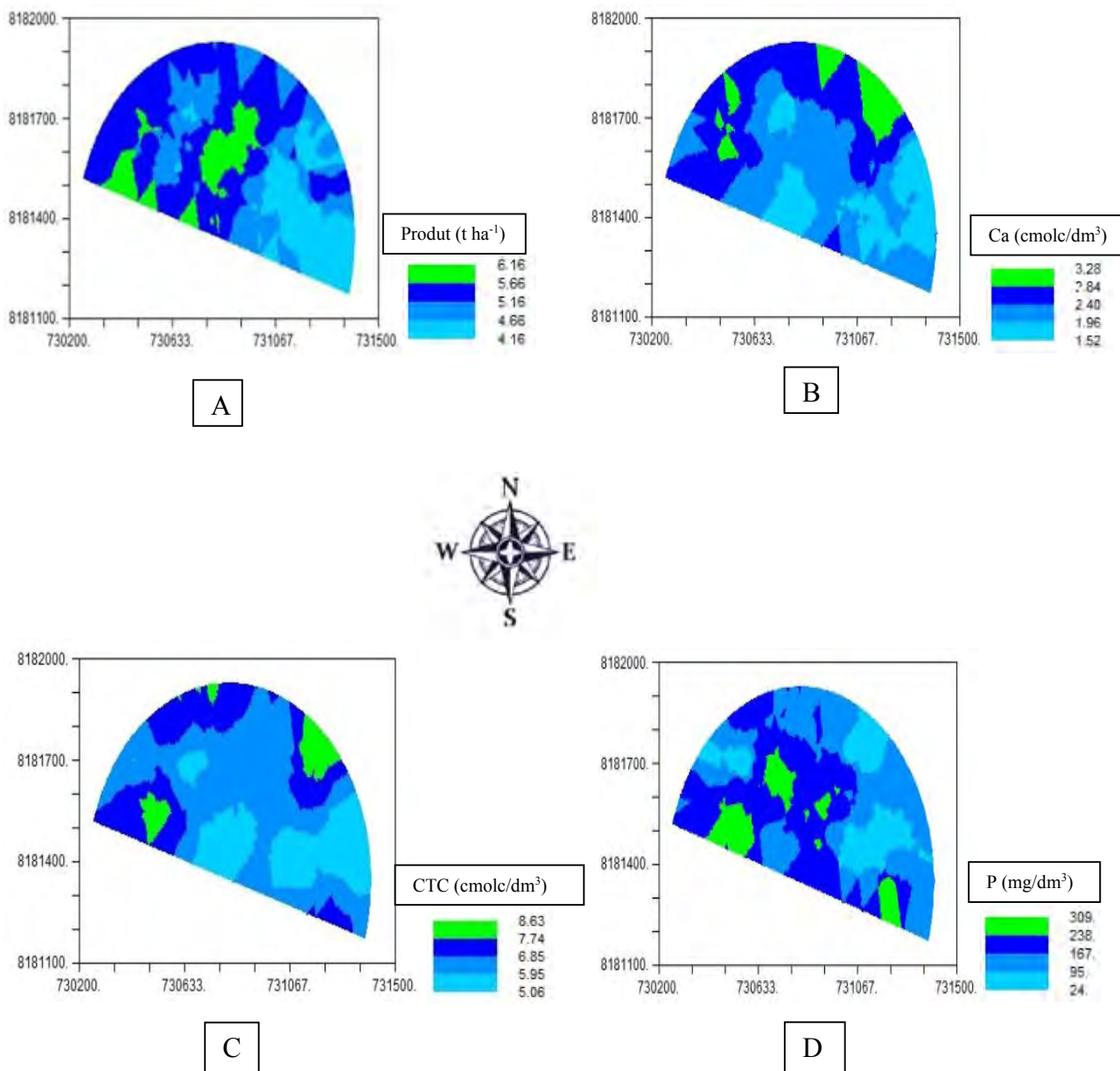
TABELA 2. Semivariogramas simples da produtividade da soja e dos atributos químico do solo na camada de 0 - 0,2 m em Latossolo Vermelho-Escuro. **Simple semivariograms of soybean yield and soil chemical attributes in the 0-0.2 m layer in Red-Dark Latosol**

Geoestatística	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	RSS	GDE
Produz (t ha <sup>-1</sup> )	Exponencial	0,60	1,34	876,00	0,81	0,04	99,55
pH (CaCl <sub>2</sub> ) ( Un. )	EPP	—	—	—	—	—	100,00
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Exponencial	0,26	0,56	904,00	0,67	0,02	99,53
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Exponencial	0,003	0,01	89,00	0,24	2,6x10 <sup>5</sup>	99,70
CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Exponencial	0,44	1,43	353,00	0,94	0,04	99,69
P (mg/dm <sup>3</sup> )	Exponencial	9880,00	19770,00	1246,00	0,71	9x10 <sup>6</sup>	99,50
K (mg/dm <sup>3</sup> )	EPP	—	—	—	—	—	100,00

Produz t ha<sup>-1</sup> - Produtividade t ha<sup>-1</sup>; (pH) -potencial hidrogeniônico; (Ca) - Cálcio; (Al) - Alumínio; (K) - Potássio; (P) - Fósforo; (CTC) - Capacidade de troca de cátions; C<sub>0</sub> – Efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub> – Patamar; A – Alcance; R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação; RSS – Soma do resíduo; GDE – Grau de dependência espacial.

Os mapas da variabilidade espacial da produtividade e dos atributos químicos do solo são apresentados na (FIGURA 1). Para a avaliação da produtividade e da fertilidade do solo são fundamentais os mapas de distribuição obtidos por meio da interpolação dos dados, pelo método da krigagem ordinária, o que permite a visualização zonas de especificas de manejo, as quais são informações importantes para o aumento da precisão na agricultura, e possibilita a aplicação de insumos com taxas variadas, visando à homogeneização da fertilidade do solo e maximizando a produtividade (CARNEIRO et al., 2016). Na (FIGURA 1A) podemos identificar altos valores de produtividade para região noroeste do mapa, valores estes variando de 5,16 a 6,16 t ha<sup>-1</sup>. Para (FIGURA 1B) os maiores valores de Ca se delimitou nas extremidades da região noroeste à nordeste, com variação de 2,84 a 3,28 (cmolc/dm<sup>3</sup>) e na região centro e sudeste com valores inferiores a 2,84(cmolc/dm<sup>3</sup>). Na (FIGURA 1C) encontra-se valores altos de CTC apenas em pequenas regiões no nordeste e noroeste variando de 6,85 a 8,63 (cmolc/dm<sup>3</sup>), com predominação de valores inferiores a 6,85 (cmolc/dm<sup>3</sup>) em grande área do mapa. Para a (FIGURA 1D) encontra-se altos valores de P para região noroeste e sul com valores variando de 167 a 309 (mg/dm<sup>3</sup>).

FIGURA 1. Mapas da produtividade da soja e dos atributos químico do solo na camada de 0-0,2 m.  
Soil productivity and soil chemical attributes maps in the 0-0.2 m layer



**CONCLUSÃO:** O conhecimento da variabilidade espacial com o uso de ferramentas geoestatísticas permite utilizar de técnicas que visam padronizar os valores médios dos indicadores da fertilidade do solo. A elaboração dos mapas possibilitou identificar áreas com valores inferiores e superiores dos atributos químicos e da produtividade, definindo-se as zonas de manejo. O maior alcance registrado para os atributos em que se encontrou dependência espacial foi de 1246,00 m, na variável P, e o menor, de 89,00 m, para a variável do Al. Todos os dados se ajustaram ao semivariograma de modelo exponencial exceto os dados dos atributos pH e K, que apresentaram EPP.

**AGRADECIMENTOS:** Agradeço a Fazenda Barcelos, à Universidade Estadual de Goiás - Campus Henrique Santillo, e todos integrantes do Grupo de estudo Centro de Ensino Mecanização Agrícola-UEG (CEMA).

## REFERÊNCIAS

- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.1-9, 2013.
- CARNEIRO, J.S.D.S.; SANTOS, A.C.M.D.; FIDELIS, R.R.; SILVA NETO, S.P.D.; SANTOS, A.C.D.; SILVA, R.R.D. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n.2, 2016.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p. 453-461, 2012.
- LIMA, J.S.D.; SILVA, S.D.A.; SILVA, J.M.D. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p, 16-23, 2013.
- MACHADO, L.D.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; FERREIRA, C.V. Variabilidade especial de atributos químicos do solo em área sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, p, 591-599, 2007.
- MATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; ANDRADE, F.R.; BAPTISTEL, A.C. Variabilidade especial de atributos químicos em latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 17-26, 2015.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985.

## **VARIABILIDADE ESPACIAL E ADEQUAÇÃO DE DOSES DE HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**ALBERTO K. NAGAOKA<sup>1</sup>, FERNANDO C. BAUER<sup>2</sup>, GUNTHER H. GRUDTNER<sup>3</sup>, STEFANO G. KRETZER<sup>4</sup>, GUILHERME L. BOMM<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFSC, Florianópolis – SC, Fone: (048)37215440, alberto.nagaoka@ufsc.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, CCA/UFSC, Florianópolis – SC.

<sup>3</sup>Graduando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, CCA/UFSC, Florianópolis – SC.

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, mestrando na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC

<sup>5</sup>Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** As plantas invasoras representam grande empecilho à boa condução e lucratividade das lavouras. Um método de controle largamente utilizado é o químico, por meio de herbicidas. Essas plantas apresentam distribuição heterogênea e demandam diferentes formas de manejo e variação nas dosagens de herbicida. A agricultura de precisão fornece instrumentos para que seja possível tratar os fatores de produção de forma localizada. Este trabalho objetivou avaliar a distribuição das invasoras na área de cultivo visando facilitar o manejo e adequar as doses de herbicidas. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Ressacada – UFSC, Florianópolis/SC, numa área de 0,6 ha. Construiu-se uma malha regular contendo 18 pontos amostrais, nos quais foram amostradas as plantas invasoras, dentro de um quadro com lados de 1m. Identificaram-se as principais espécies de plantas daninhas, contabilizando o número de indivíduos de cada espécie e estimou-se o percentual de cobertura do solo por essas plantas. A partir dos dados obtidos foram elaborados mapas de distribuição das espécies daninhas e do grau de infestação considerando o número de indivíduos amostrados em cada ponto e o percentual de cobertura. Da análise desses dados foi possível elaborar um mapa de ocorrência e distribuição permitindo a adequação das doses de herbicida.

**PALAVRAS-CHAVE:** aplicação localizada, plantas espontâneas, mapas de prescrição.

### **SPATIAL VARIABILITY AND DOSES OF HERBICIDES IN CONTROLLING WEEDS IN NO-TILL SYSTEM**

**ABSTRACT:** Weed plants represent a great hindrance to good driving and profitability of crops. A widely used control method is through chemical herbicides. These plants exhibit heterogeneous spatial distribution and require different forms of management and variation in the dosages of herbicide. The precision agriculture provides tools to treat the factors of production. This work aimed to evaluate the distribution of the invasive growing area to facilitate the management and adequate doses of herbicides. The work was conducted on the Experimental Farm of the Hangover-UFSC, Florianópolis/SC, in an area of 0.6 ha. Has built up a regular grid containing sample points, in which 18 were sampled the invasive plants, within a framework with sides of 1 m. Identified the main weed species, accounting for the number of individuals of each species and it has been estimated the percentage of soil cover for these plants. From the data obtained were drawn up maps of the distribution of weed species and degree of infestation considering the number of individuals sampled at each point and percentage of coverage. The analysis of

the data it was possible to draw up a map of occurrence and distribution allowing the adequacy of doses of herbicide.

**KEYWORDS:** localized application, spontaneous plants, prescription maps.

**INTRODUÇÃO:** As plantas daninhas representam grande empecilho à boa condução e produtividade das lavouras, seja competindo por espaço, luz, água e nutrientes, ou interferindo nas operações, como na colheita (MORAES et al., 2008). Um método de controle dessas plantas largamente utilizado é o químico, por meio de herbicidas, havendo diversos produtos indicados para diferentes espécies e situações. Sabe-se que as plantas daninhas podem apresentar distribuição desuniforme na lavoura e, de tal modo, a dose de herbicida a ser recomendada também pode variar ao longo da área (THOMAS et al., 2014). A agricultura de precisão (AP) disponibiliza as ferramentas necessárias para o correto tratamento da desuniformidade espacial, mapeando-a e permitindo um manejo localizado (VOLL et al., 2005), tornando possível uma redução nos custos, como observa Baio (2001) em seu trabalho avaliando o uso da AP para o controle de daninhas, onde encontrou uma economia de herbicida de 31,6% comparando o manejo localizado com a aplicação em área total. Técnicas de mapeamento da variabilidade de plantas daninhas são importantes ferramentas para que melhores decisões sejam tomadas dentro dos sistemas de produção (SHIRATSUCHI, 2001). Esse trabalho teve como objetivo elaborar um mapa de prescrição para o manejo localizado de plantas daninhas em área experimental.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Ressacada da UFSC no município de Florianópolis, SC, em uma área de aproximadamente 6.000 m<sup>2</sup>, nas coordenadas geográficas 27°41' latitude Sul e 48°32' longitude Oeste, com altitude média de 2,5 metros do nível do mar. Foram coletados dados do número de indivíduos e do percentual de cobertura do solo por plantas daninhas presentes dentro do perímetro de um quadro com área de 1,0 m<sup>2</sup>, amostrados em 18 pontos distribuídos numa grade regular de amostragem. O herbicida RoundUp® Original foi utilizado como referência para a prescrição, realizada a partir da análise de mapas da distribuição espacial de indivíduos pertencentes aos gêneros *Cyperus* sp. e *Cynodon* sp., cujas doses indicadas para seu controle são maiores comparadas às outras espécies encontradas na área (ROUNDUP ORIGINAL). As demais espécies amostradas também foram consideradas para a determinação das doses, contabilizando-as na soma total de plantas por m<sup>2</sup> e no percentual de cobertura do solo, o qual foi estimado a campo. Os itens avaliados tiveram sua distribuição espacial estimada por meio de Krigagem realizada com auxílio do Software FalkerMap Plus, assim como a elaboração dos mapas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A infestação de plantas daninhas e sua distribuição na área do experimento podem ser visualizadas nos mapas apresentados na Figura 1. Observa-se que a densidade de plantas e o percentual de cobertura do solo encontrados são variáveis ao longo do campo. Os pontos com maior número de indivíduos amostrados formam uma faixa que vai de noroeste a oeste, descendo a sudoeste. Em grande parte da área, um maior número de indivíduos coincide com maior percentual de cobertura do solo. Já em outros pontos, os dois mapas divergem como na região centro-sul da área, onde há um menor número de indivíduos, porém, com maior cobertura do solo. Esta divergência é devida ao estágio mais avançado de desenvolvimento das plantas presentes nesta região.

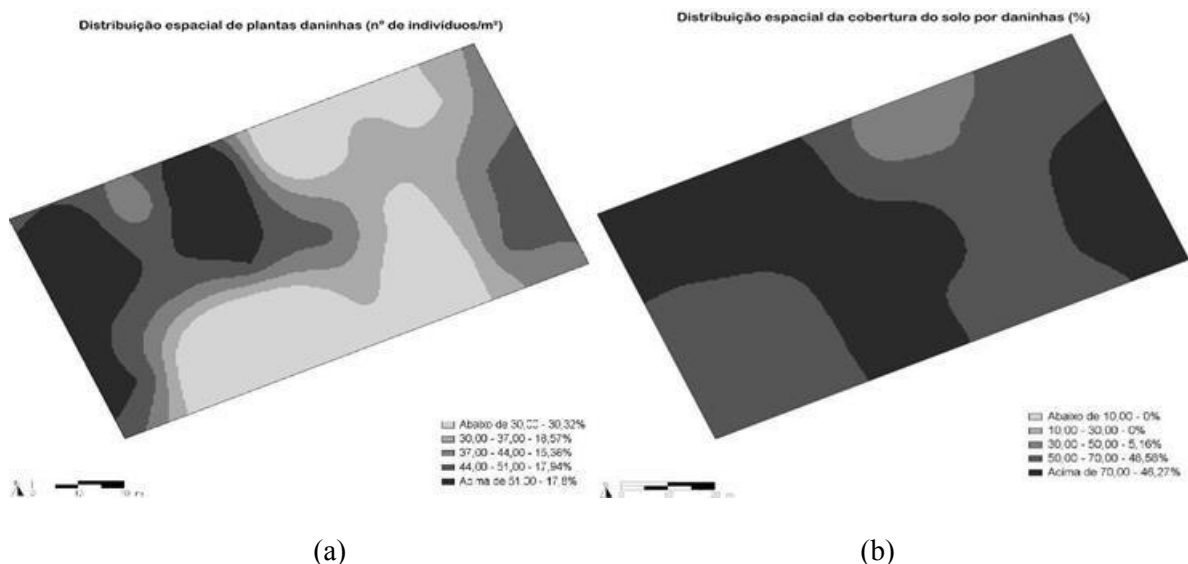


FIGURA 1. (a) Mapa da distribuição espacial das plantas daninhas (em nº de indivíduos m<sup>-2</sup>) e (b) Mapa da distribuição espacial do percentual de cobertura do solo (%).

A Figura 2 apresenta, respectivamente, os mapas da distribuição espacial dos indivíduos dos gêneros *Cynodon* e *Cyperus*. A primeira apresentou maiores densidades nas regiões noroeste e nordeste, com níveis intermediários compondo uma faixa que passa da região sul ao norte da área, enquanto a segunda teve como principal ponto de infestação na região oeste, com menores incidências nas demais regiões.

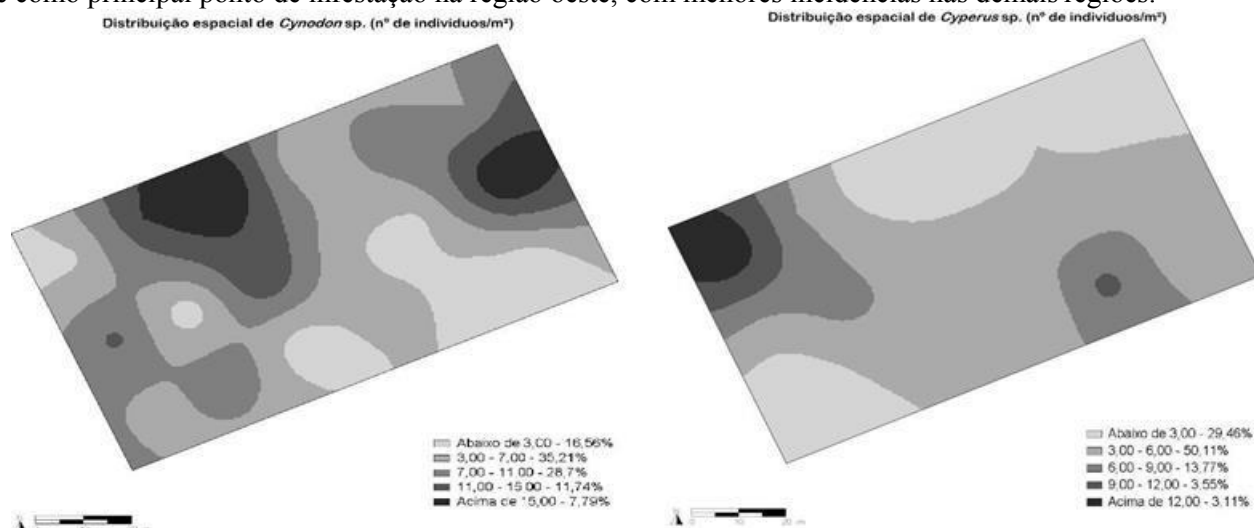


FIGURA 2. (a) Mapa da distribuição espacial de *Cynodon* e (b) Mapa da distribuição espacial de *Cyperus*, em nº de indivíduos m<sup>-2</sup>.

Analisando o conjunto dos mapas é possível observar que, partindo do centro da área em direção ao oeste, um maior grau de infestação coincide com maiores incidências de indivíduos desses dois gêneros, demandando maior dose de herbicida, sendo recomendado 5 L ha<sup>-1</sup> para essa região. Para a faixa entre sul e norte da área, que apresenta níveis intermediários de *Cynodon*, foi recomendou-se dose de 4 L ha<sup>-1</sup>. A região nordeste foi adicionada a essa faixa de prescrição, pois, apesar de apresentar uma mancha com alta incidência de *Cynodon* e alto percentual de cobertura do solo, a densidade de daninhas presentes apresentaram níveis intermediários e a incidência de *Cyperus* foi baixa. A região leste apresentou baixo grau de infestação, com presença moderada de *Cyperus*, sendo recomendada dose de 3,5 L ha<sup>-1</sup>. A partir dessas recomendações, foi elaborado o mapa de prescrição para a aplicação de herbicida (Figura 3). Nota-se que todas as dosagens recomendadas, foram baseadas na bula do herbicida.

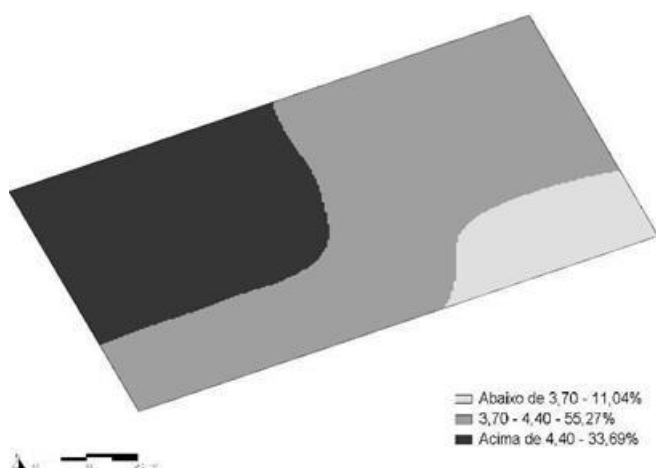


FIGURA 3. Mapa de prescrição das dosagens de herbicida (L ha<sup>-1</sup>).

**CONCLUSÃO:** O mapeamento das plantas daninhas permitiu avaliar a sua distribuição espacial na área, tornando possível a elaboração de um mapa de prescrição para o manejo localizado das mesmas.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Laboratório de Mecanização Agrícola e o Laboratório de Instrumentação Agrícola (Depto. de Engenharia Rural/ UFSC e ao Laboratório de Solo, Água e Tecidos Vegetais do Centro de Ciências Agrárias da UFSC) que possibilitaram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BAIO, F. H. R. **Aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas**. 2001. 133 f. Tese (Mestrado) - Curso de Agronomia, Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo., Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-16092002-145226/en.php>>. Acesso em: 10 jul. 2016
- MORAES, P. V. D. et al. Agricultura de precisão no controle de plantas daninhas. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 15, n. 1, p. 01–14, 2008.
- ROUNDUP ORIGINAL: glifosato. Monsanto do Brasil Ltda. Bula de defensivo agrícola.
- SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial de plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.
- THOMAS, J. P. et al. Espacialização de plantas espontâneas em culturas anuais sob manejo de plantio direto e agricultura de precisão. In: congresso brasileiro de engenharia agrícola, 43., 2014, Campo



Grande - MS. **Resumo Expandido.** Campo Grande: Sbea, 2014. p. 1 - 4. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0287-2.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

VOLL, E. et al. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo.** Londrina: Embrapa Soja, 2005. 85 p. Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2009-09/26148/1/daninhas\\_doc\\_260.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2009-09/26148/1/daninhas_doc_260.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2016.

## **VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DO MILHO SILAGEM EM PEQUENA PROPRIEDADE**

**PHILIP DOS SANTOS LEMOS<sup>1</sup>, ANDERSON DA SILVA UMBELINO<sup>2</sup>, EDMILSON FERREIRA BORGES<sup>3</sup>, MARCOS PAULO DE OLIVEIRA MARTINS<sup>4</sup>, ELTON FIALHO DOS REIS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, (62) 993673152, philiplemos\_@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET Anápolis.

<sup>3</sup> Graduando em engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET Anápolis.

<sup>4</sup> Mestrando em engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET Anápolis.

<sup>5</sup> Engenheiro agrícola, Prof. Doutor, Universidade Estadual de Goiás, CCET Anápolis.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** O conhecimento da variabilidade espacial-temporal auxilia na determinação de estratégias de manejo que possam otimizar a produtividade das culturas. Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espaço-temporal e as correlações da produtividade do milho silagem ao longo dos anos. Os dados foram coletados em uma área de 6 ha de produção de milho silagem nas safras de 2015/16 (cultivo convencional) 2016/17 e 2017/18 (semeadura direta). Com auxílio de um receptor GPS foi construída uma grade amostral de 37 x 37 m, totalizando 40 pontos. Para determinar a produtividade de massa seca foram coletadas plantas em um metro quadrado no centro de cada ponto da grade amostral, a krigagem e o Grau de Dependência Espacial (GDE) foram analisados pelo software GS+ versão 7.0, já as correlações foram feitas em planilhas eletrônicas. Os resultados mostraram que a produtividade apresentou dependência espacial muito alta explicada pelo modelo gaussiano e esférico. Técnicas geoestatísticas permitiram gerenciar o manejo da produtividade, originando possíveis zonas de manejo com necessidades de correção físicas do solo, que podem ser analisados em futuros estudos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, dependência espacial

### **SPATIAL AND TIME VARIABILITY OF SILAGE CORN YIELD IN A SMALL PROPERTY**

**ABSTRACT:** The knowledge of temporal variability helps in the determination of management strategies that can optimize crop productivity. The objective of this work was to evaluate the spatial and temporal variabilities of silage corn yield. Data were collected over a 6 ha area of silage corn in the 2015/16 (conventional management) crops 2016/17 and 2017/18 (no-till). Using a GPS receiver, a sample grid of 37 x 37 m was constructed, totaling 40 points. In order to determine dry mass yield, plants were collected in a square meter in the center of each point of the sample grid, kriging and spatial dependence index were analyzed by software GS + version 7.0, however the correlations were made in Excel software. The results showed that the productivity presented high spatial dependence explained by the Gaussian and spherical model. Geostatistical techniques have allowed management of productivity management, resulting in possible management areas with soil correction needs, which can be analyzed in future studies.

**KEYWORDS:** Geostatistics, space dependence

**INTRODUÇÃO:** O princípio básico da agricultura de precisão consiste em aumentar a produtividade das culturas, considerando a variabilidade espaço-temporal dos fatores de produção de forma a proporcionar o manejo adequado, respeitando os princípios de sustentabilidade (RIA, et al., 2015). Na geoestatística, a variabilidade espacial pode ser representada por mapas, confeccionados a partir de estimativas da variável estudada, sendo essa técnica definida como interpolação por krigagem, e a partir de estimativas de duas

variáveis que se correlacionem (primária e secundária), denomina-se co-krigagem. Essas técnicas podem ser descritas como métodos que minimizam a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço. Essas técnicas de montagem são embasadas em estimadores de variáveis regionalizadas, envolvendo estimação de pontos, ou áreas, e admitindo que as amostras são normalmente distribuídas e estacionárias. Dessa forma, são capazes de prever o fenômeno em estudo (Tragmar et al., 1985). Assim, as interpolações por krigagem e por co-krigagem estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado por meio da krigagem como se não existisse. Portanto, pode-se construir um gráfico de valores estimados versus valores observados para todos os pontos. Do conjunto de duplas (valores estimados e valores observados) de todas as amostras, calculam-se dados estatísticos básicos (média, variância dos desvios) com o objetivo de aferir a qualidade do modelo escolhido para o semivariograma. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a variabilidade espaço-temporal e as correlações da produtividade da cultura do milho para silagem.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido em uma pequena propriedade produtora de leite, com área de 6 hectares de milho para silagem, na Fazenda Piancó localizada no município de Anápolis-GO. Foi construída uma grade amostral utilizando um receptor GPS com sistema de correção diferencial em tempo real (WGS 84), totalizando 40 pontos de espaçamentos 37 x 37 m. Os dados foram coletados nas safras 2015/16 sob cultivo convencional, 2016/17 e 2017/18 com semeadura direta. Na colheita foram coletadas todas as plantas em um metro quadrado em torno de 5 m de cada ponto da grade amostral, onde foi mensurado o teor de matéria seca. Para determinar a massa seca, foram pesadas as plantas depois trituradas, pesadas e levadas à estufa, 65°C por 72 horas. A análise de dispersão dos dados foi avaliada pela estatística descritiva e a relação entre as variáveis analisadas pela correlação linear de Pearson, ambos procedimentos realizados em planilhas eletrônicas. A dependência espacial foi avaliada pela geoestatística utilizando o semivariograma ajustado no software GS+ versão 7.0, de acordo com o maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e menor soma de quadrado de resíduos (SSRQ). Quando apresentada dependência espacial foram elaborados os mapas de variabilidade espacial pelo método de krigagem ordinária.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A estatística descritiva para as variáveis analisadas é apresentada na Tabela 1. Observa-se que os valores das medidas de tendência central (média e mediana) apresentam similaridade para as variáveis estudadas, indicando uma distribuição de frequência do tipo normal. Observou-se que houve queda sucessiva da produtividade média nestes 3 anos: 1º ano, 49 t ha<sup>-1</sup>; 2º ano, 25,74 t ha<sup>-1</sup>; e, 3º ano, 13,4 t ha<sup>-1</sup>. Os coeficientes de variação variaram de 17,1 a 34,08 % sendo os valores classificados como altos (> 20 %), e médios de (10% < CV < 20%), conforme Gomes (2000).

TABELA 1. Estatística descritiva, produtividade de massa seca na safra 2015/16 (PR2015/16); produtividade de massa seca na safra 2016/17 (PR 2016/17); produtividade de massa seca na safra 2017/18 (PR 2017/18); produtividade média dos 3 anos (PR Média 3 anos).

Parâmetros Estatísticos	PR2015/16 (t ha <sup>-1</sup> )	PR 2016/17 (t ha <sup>-1</sup> )	PR 2017/18 (t ha <sup>-1</sup> )	PR Média 3 anos (t ha <sup>-1</sup> )
Média	49,095	25,746	13,407	29,416
Mínimo	21,195	10,941	6,792	13,570
Máximo	65,691	43,502	19,811	40571
Mediana	49,659	26,224	13,338	29,368
Assimetria	-0,563	-0,010	0,298	-0,365
Curtose	-0,429	-0,797	0,472	1,782
D. Padrão	11,316	8,775	2,724	5,031
Variância	128,043	77,001	7,422	25,315
CV(%)	23,048	34,082	20,319	17,104

C.V- Coeficiente de variação;

Observa-se na tabela 2 que a produtividade do 1º ano apresentou correlação negativa entre a produtividade do 2ºano mostrando que tenderam a ter comportamentos diferentes já o 1ºano com 3ºapresentou correlação positiva mostrando que tenderam a ter comportamentos parecidos originando assim possíveis zonas de manejo, que podem ser analisados em futuros estudos.

TABELA 2. Tabela de correlações de Pearson entre as variáveis analisadas produtividade de massa seca na safra 2015/16 (PR2015/16); produtividade de massa seca na safra 2016/17 (PR 2016/17); produtividade de massa seca na safra 2017/18 (PR 2017/18); produtividade média dos 3 anos (PR Média 3 anos).

Tabela de correlações	PR (t ha <sup>-1</sup> ) 2015/16	PR (t ha <sup>-1</sup> ) 2016/17	PR (t ha <sup>-1</sup> ) 2017/18	PR. Média 3 anos
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> ) 2015/16	1			
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> ) 2016/17	-0.044022166	1		
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> ) 2017/18	0.426974416	-0.046332359	1	
Produtividade Média 3 anos	0.801141477	0.539986029	0.473643307	1

O primeiro ano teve uma correlação positiva com o 3° e negativa com o 2° mostrando assim que possivelmente começaram a se estabilizar as zonas manejo nestes 3 anos analisados. Na Tabela 3 é possível verificar os parâmetros dos modelos matemáticos que se ajustaram às produtividades. Os dados apresentaram grau de dependência espacial muito alto (DALCHIAVON et al., 2012), em que, a produtividade na safra 2015/16 e 2017/18 foi explicada pelo modelo gaussiano, já o modelo esférico para safra 2016/17.

TABELA 3. Modelos teóricos dos semivariogramas ajustados para as variáveis da produtividade de massa seca na safra 2015/16 (PR2015/16); produtividade de massa seca na safra 2016/17 (PR 2016/17); produtividade de massa seca na safra 2017/18 (PR 2017/18); produtividade média dos 3 anos (PR Média 3 anos).

Parâmetros	Geoestatística						
	Modelo	Co	Co + C1	a	R2	RSS	GDE %
PR 2015/16 (t <sup>-1</sup> ha)	Gaussiano	48	506,90	274,50	0,92	7170	90,53
PR 2016/17 (t <sup>-1</sup> ha)	Esférico	28,9	183,30	183,30	0,88	948	84,23
PR 2017/18 (t <sup>-1</sup> ha)	Gaussiano	4,96	29,91	390,80	0,79	28,6	83,94
PR Média 3 anos (t <sup>-1</sup> ha)	Esférico	4,46	27,78	131,40	0,78	55,10	82,14

Co – efeito pepita; Co+ C1 – patamar; a – alcance (m); GDE = Co/(Co+ C1) – grau de dependência (%). GDE – Grau de dependência espacial (muito baixa < 20%; baixa 20 a 40%; c) média 40 a 60%; d) alta 60 a 80%; muito alta 80 a 100% e efeito pepita puro 100%) segundo classificação proposta por Dalchiavon et al. (2012).

Técnicas geoestatísticas permitiram gerenciar o manejo da produtividade gerando mapas, originando possíveis zonas de manejo com necessidades de correção do solo, que podem ser analisados em futuros estudos. Observando a figura 1A e 1C as regiões verde-claras apresentaram maior produtividade mostrando as correlações apresentadas na tabela 3. Analisando os mapas e a tabela 2 observou-se que houve queda sucessiva da produtividade média ao longo dos 3 anos.

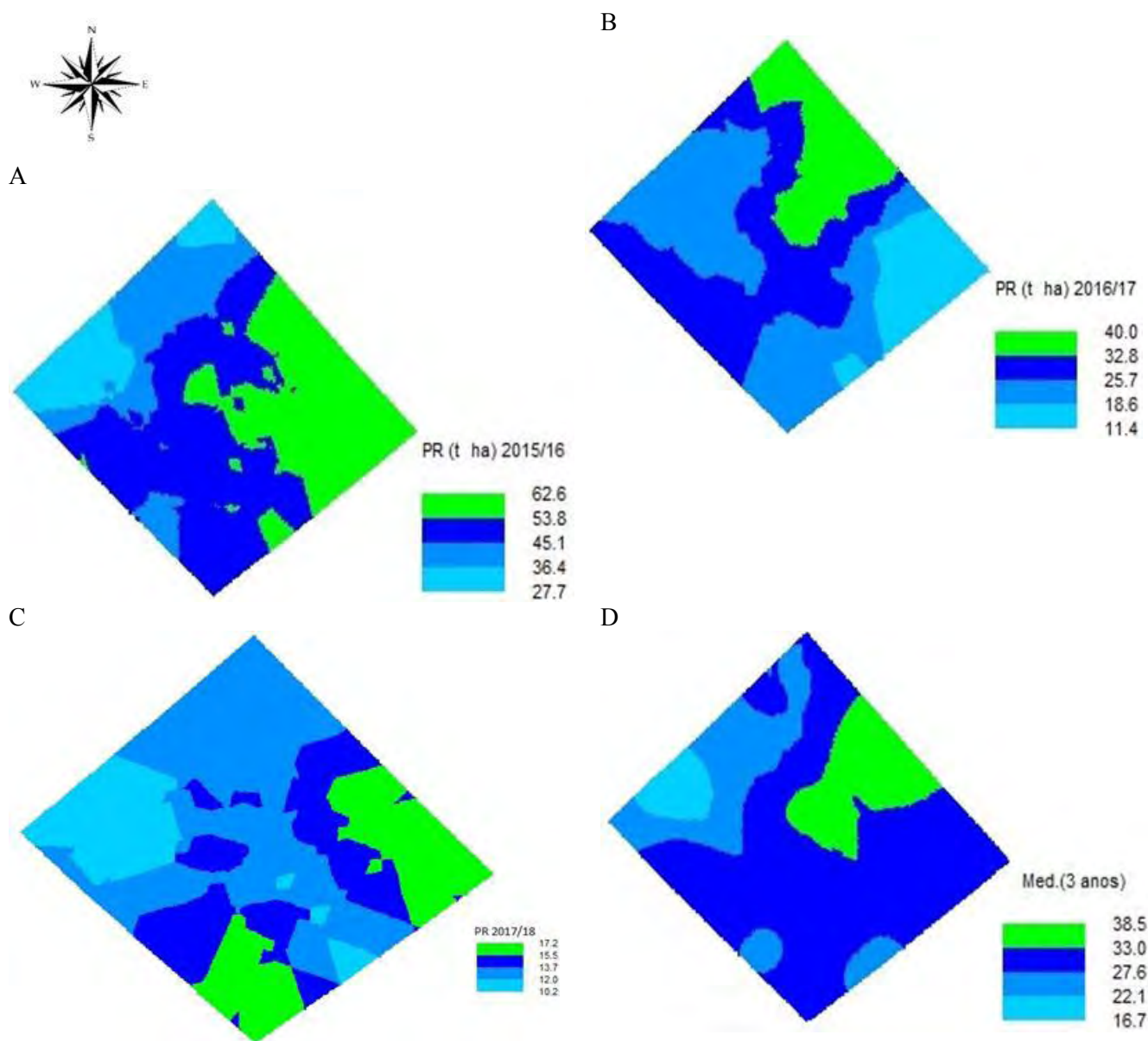


FIGURA 1: Mapas de contorno da produtividade de massa seca safra 2015/16 t ha<sup>-1</sup>(A), produtividade de massa seca safra 2016/17 t ha<sup>-1</sup> (B), produtividade de massa seca safra 2017/18 t ha<sup>-1</sup> (C), produtividade média dos 3 anos t há<sup>-1</sup> (D).

**CONCLUSÃO:** Os resultados mostraram que a produtividade apresentou grau de dependência espacial muito alto explicada pelo modelo gaussiano para as safras 2015/16, 2017/18 e esférico para safra 2016/17. A produtividade de massa seca apresentou correlação negativa a cada ano de estudo, não constatando predominância de classes de produtividade na área pesquisada ao longo dos anos.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimentos a Universidade Estadual de Goiás

## REFERÊNCIAS

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. Revista Ciência Agrônômica. Fortaleza, v. 43, n. 3, July/Sept. 2012.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 14 ed. Piracicaba, 2000, 477p. MILANI, L. SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v. 28, p. 591 - 598, 2006.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, n. 01, p. 1 - 8, 2010.

RIA, W. O.; CRUZ, J. C.; FASCINA, M.; KOVALESKI, J. L. Tecnologias aplicadas ao agronegócio agricultura de precisão. **Revista Gestão do Conhecimento**, Castelo Branco, v.7, n.7, 2015.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv.Agron., 38:45-94, 1985.

Promoção e realização



Patrocínio Diamante



Patrocínio Ouro



Patrocínio Prata



Apoio



Organização

