



MAPAS DE PRODUTIVIDADE DE SOJA EM OPERAÇÕES CONDUZIDAS COM MÚLTIPLAS COLHEDORAS: ESTRATÉGIA DE OPERAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Rodrigo Sinaidi Zandonadi¹

¹ Professor, Universidade Federal de Mato Grosso, campus de Sinop - rodrigo.zandonadi@ufmt.br

Estudos do uso de mapas de produtividade no Brasil podem ser encontrados no final da década de 90 relacionados a estudos realizados em lavoura de milho (Balastreire et al., 1997 apud Eitelwein et al., 2016). Nas safras 2013/2014 e 2014/2015, um levantamento conduzido em regiões de grande destaque na produção de soja em Mato Grosso relata que 27% das máquinas avaliadas estavam equipadas com sistema de direcionamento automático e com sistemas de mapeamento de produtividade (SMP), mas não eram utilizados nas operações (Zandonadi e Rufato 2021). Relatos da não utilização da ferramenta revelavam dificuldade em conduzir as calibrações necessárias dos sensores e falta de habilidade e de ferramentas para o devido processamento e tratamento de dados para a geração dos mapas. Desde então, o grupo de pesquisa LAPMec (Laboratório de Agricultura de Precisão e Mecanização - UFMT, Sinop) vem conduzindo trabalhos em parceria com produtores, buscando soluções em processos que viabilizem a utilização de SMPs para a geração de mapas tecnicamente viáveis, principalmente na cultura de soja da região norte e médio-norte de Mato Grosso.

Ao mesmo tempo, o avanço em sistemas de conectividade, viabilizando o acesso à telemetria de dados, aliado às plataformas digitais para o gerenciamento das informações, facilitou substancialmente um dos grandes entraves: acessar e gerenciar os dados gerados pela máquina, especialmente

quando se trata de operações com múltiplos equipamentos trabalhando simultaneamente. No entanto, conectividade ainda não é regra nos campos de produção (especialmente em regiões do centro-oeste) e mesmo em operações onde conectividade e telemetria são uma realidade, a prioridade é dada ao monitoramento de questões operacionais das máquinas em campo, ficando os dados agrônômicos coletados (ex. SMP) muito aquém da qualidade necessária para uso efetivo. As dificuldades impostas pelos processos de calibração de sensores, associadas às características críticas das lavouras de soja no período de colheita nas lavouras mato-grossenses devido à época com altos índices pluviométricos, continuam causando problemas, assim como o padrão de organização da operação de colheita.

Diante do exposto, o objetivo desta nota técnica foi apontar os principais problemas que afetam o uso dos SMPs e apresentar o resultado de um estudo de caso realizado utilizando procedimento para contornar os problemas apontados.

Calibração do sensor de fluxo de massa:

Recomenda-se que seja feita a calibração deste sensor no início da colheita de cada cultura e refazer calibrações sempre que mudar de variedade/híbrido ou ainda, mudança significativa na umidade do produto. No caso das lavouras mato-grossenses, a dinâmica de

operação dificulta a aplicação dessas recomendações. Várias máquinas trabalham juntas no mesmo talhão, pois a janela para a semeadura da segunda safra é curta, o que demanda uma operação de colheita rápida. Nesse cenário, vários talhões podem ser trabalhados em um mesmo dia e, conseqüentemente, várias variedades demandam novas calibrações.

A umidade também influencia a resposta dos sensores de fluxo de massa (majoritariamente sensores do tipo prato de impacto), embarcados nas colhedoras, pois altera as propriedades físicas dos grãos, assim como a relação massa-volume. O sensor de umidade, se corretamente calibrado, proporciona a compensação para a umidade padrão, mas não consegue compensar ou corrigir a influência que a alteração das propriedades físicas causa na resposta do sensor, sendo necessárias calibrações dos sensores de fluxo para diferentes faixas de umidade do grão que está sendo colhido.

Embora o processo de calibração do sensor de fluxo de massa não seja complexo, realizar o processo várias vezes ao dia em todas as máquinas da frota causa grande transtorno na operação, especialmente em épocas em que a jornada de trabalho efetivo disponível (devido às condições climáticas) pode ser de apenas 2,5 a 3,0 h.dia¹ (Koellen e Zandonadi, 2018).

Calibração do sensor de umidade:

O sensor de umidade também deve ser calibrado, obviamente, conforme a variação do padrão de umidade do produto. Embora o procedimento de calibração do sensor de umidade seja bem mais simples (quando comparado ao fluxo de massa), ainda assim é

um transtorno, pois demandaria constantes mensurações de umidade com um equipamento de referência. Outra questão é que o sensor pode apresentar comportamento errático e, quando a calibração é feita no meio de um trabalho, fica-se sem saber se o comportamento mudou por conta de uma recalibração ou qualquer outro motivo que tenha interferido no sistema.

Organização da frota:

Um dos grandes desafios para se trabalhar com dados de produtividade em lavouras de soja do Mato Grosso é a forma de organização da frota de colheita em operação. Muitas das propriedades não usam veículo transbordo (carretões) na colheita de soja, o que, além de baixar consideravelmente a eficiência de campo das colhedoras, pode favorecer o aumento das perdas de grãos e comprometer a qualidade dos mapas de produtividade. Na Figura 1A, observa-se uma imagem aérea que exemplifica uma operação de colheita sem suporte logístico (carretões), com manobras fora da área de cabeceira e com largura de plataforma inadequada. Essa situação dificulta consideravelmente o tratamento dos dados gerados pelo SMP, pois as máquinas podem não estar sujeitas às mesmas variações de produtividade, já que trabalham majoritariamente em áreas distintas de um mesmo talhão. Na Figura 1B é apresentado um mapa com a distribuição de quatro máquinas na operação de colheita, verificando-se que não existiu uma sequência organizada de faixas de trabalho. Essa situação é na verdade a maior dificuldade para o que está sendo proposto nessa nota técnica.

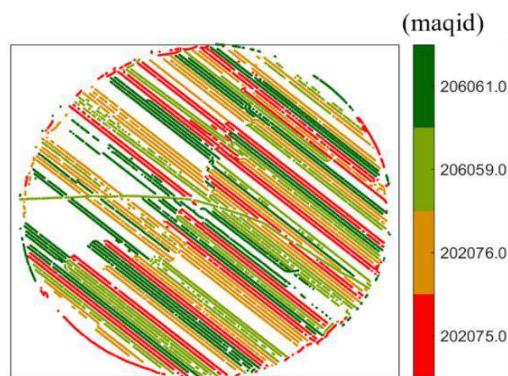


Figura 1. Operação de colheita de soja sem o devido planejamento (A) Posição das diferentes máquinas dentro do talhão (B) .

Procedimento adotado:

A Fazenda Gobbi (Tabaporã-MT), faz o uso de transbordo nas operações de colheita de soja atingindo alto nível de eficiência de campo (Kollen e Zandonadi 2018) e permitindo que as máquinas trabalhem em pistas adjacentes sequenciais, conforme imagem apresentada na Figura 2. Essa organização faz com que as máquinas trabalhem sempre em regiões próximas entre si, ou seja, estejam sujeitas às mesmas (ou pelo menos semelhantes) variações de produtividade no espaço. Isso permite que, caso exista diferença na média de produtividade entre as máquinas, se faça a normalização dos dados utilizando a média geral do talhão, de modo que a média de todas as máquinas se iguale à média geral do talhão. B.



Figura 2. Colheita de soja realizada com a mesma orientação das linhas da cultura (Fazenda Gobbi, Tabaporã - MT), em faixas adjacentes sequenciais.

Resultados:

A operação de colheita da safra 25/26 da Fazenda Gobbi foi conduzida com cinco colhedoras John Deere, sendo duas STS9770 e três S770, todas equipadas com SMP e conectadas à plataforma *Operations Center*. Os dados foram exportados da plataforma no formato .shp e reprocessados utilizando algoritmos desenvolvidos no programa Matlab (The MathWorks.2024).

O procedimento de filtragem e normalização pela média do talhão foi realizada e os resultados são apresentados em três exemplos a seguir: (i) Máquinas com variação de dados semelhantes entre si; (ii) Máquinas apresentando discrepância no padrão de variação de dados e (iii) Mapa geral de produtividade geral da fazenda.

Máquinas com variação de dados semelhante entre si

Os dados brutos de produtividade (apenas com extremos filtrados para velocidade, umidade, largura e produtividade) de um talhão de 147,4 ha são apresentados na Figura 3A, e a organização das máquinas (faixas trabalhadas) pode ser verificada na Figura 3B. Na Figura 3C, são apresentados os dados de produtividade filtrados por máquina, utilizando limites estatísticos (média $\pm$ 2,5 desvios-padrão), com descarte da região de cabeceira, enquanto na Figura 3D é apresentado o mapa de produtividade normalizado pela média do talhão.

Os gráficos de caixas com dados de produtividade agrupados por máquina são apresentados na Figura 4, na qual se observa o comportamento dos dados após a filtragem de

pontos extremos, a aplicação de um filtro estatístico e a normalização dos dados pela média do talhão, respectivamente.

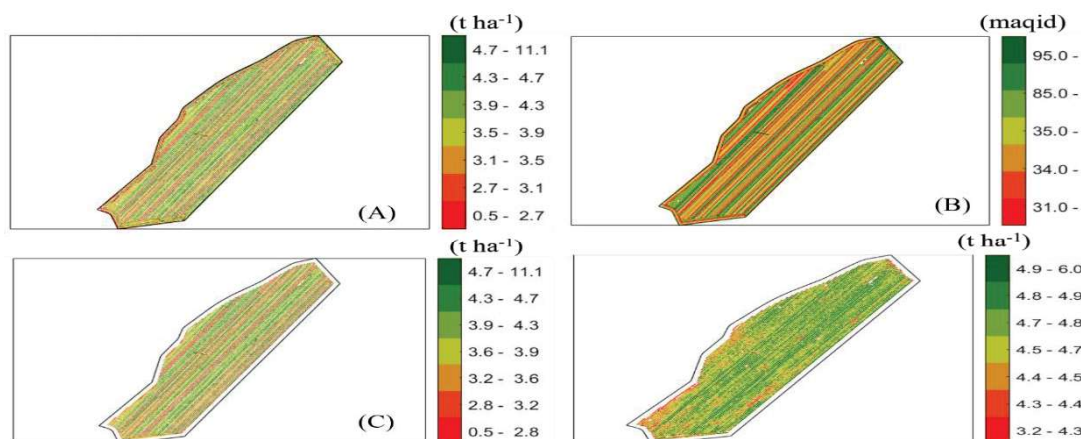


Figura 3. Mapa de produtividade de soja com pontos extremos filtrados (A); mapa mostrando a organização das máquinas no talhão (B); dados de produtividade após a aplicação do filtro estatístico e o descarte da área de cabeceira (C); e dados normalizados pela média do talhão (D).

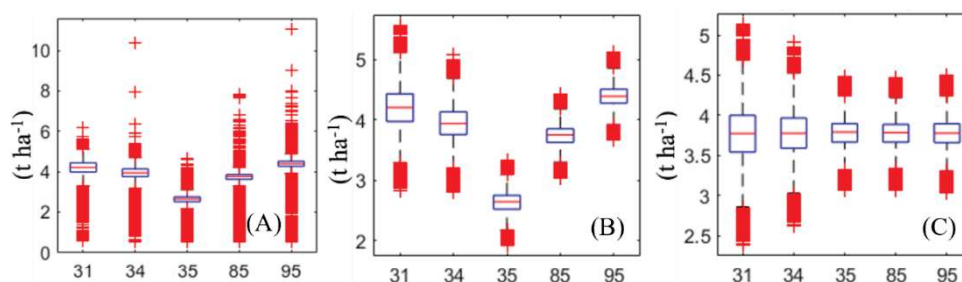


Figura 4. Gráficos de caixas com dados de produtividade agrupados por máquina, com apenas dados extremos filtrados, filtro estatístico e dados normalizados pela média, respectivamente.

Observe que a faixa entre os percentis 25 e 75 das máquinas 35 a 95 (Figura 4C) é muito parecida e que, embora as máquinas 31 e 34 apresentem uma faixa um pouco maior (dos percentis 25 a 75), ainda é um comportamento que não prejudica a estratégia de normalização. De fato, o mapa de produtividade normalizado (Figura 3D) permite identificar diferentes padrões de produtividade no talhão, o que é impossível de identificar a partir dos dados apenas filtrados (Figura 3C).

Máquina com discrepância no padrão de variação de dados

Os dados apresentados na Figura 5 são referentes a um talhão de 51.3 ha em que uma

das máquinas apresentou discrepância no padrão da variação de dados de produtividade. Os gráficos de caixas com dados de produtividade agrupados por máquina são apresentados na Figura 6 onde pode ser observado o comportamento dos dados após filtragem de pontos extremos, aplicação de filtro estatístico e normalização de dados pela média do talhão.

Observe que a máquina 95 apresenta uma faixa de percentis de 25 a 75, discrepante em relação às outras máquinas. Observando o mapa (Figuras 5B e 5D), é possível identificar que as anomalias nos dados de produtividade após a normalização coincidem com a máquina 95.

A seguir, são apresentados os resultados de produtividade agrupados por

máquina (Figura 7A) e o mapa de produtividade (Figura 7B), após o descarte da máquina 95, evidenciando a melhora na representação espacial do padrão de produtividade no talhão.

Note que as faixas sem informação (devido ao descarte de dados) podem ser

facilmente interpoladas caso necessário. Observe que, se a máquina 95 tivesse trabalhado em uma parte do talhão, longe das outras máquinas, perderia a referência e o padrão errático dos dados de produtividade poderia ser interpretado como um problema no campo.

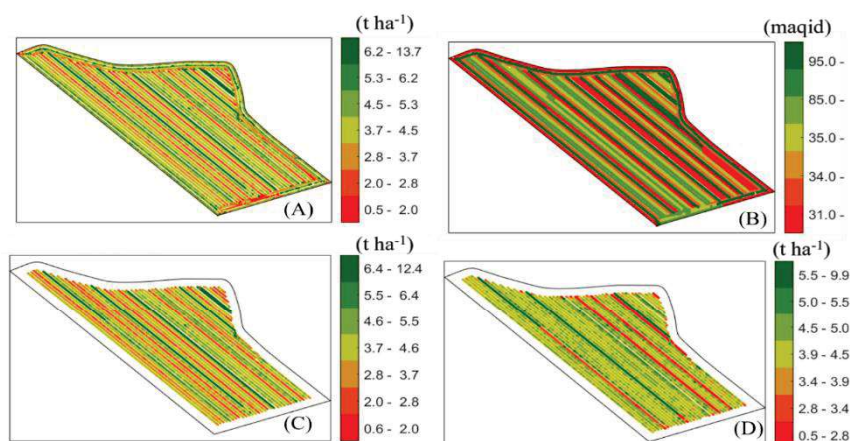


Figura 5. Mapa de produtividade de soja com pontos extremos filtrados (A); mapa mostrando a organização das máquinas no talhão (B); dados de produtividade aplicados o filtro estatístico e descarte de área de cabeceira (C) e dados normalizados pela média das máquinas (D).

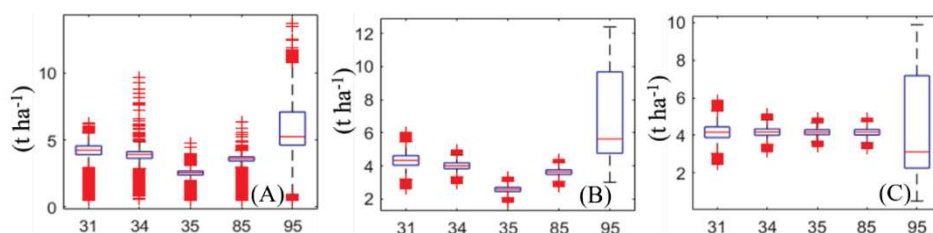


Figura 6. Gráficos de caixas com dados de produtividade agrupados por máquina, com extremos filtrados, filtro estatístico e dados normalizados pela média das máquinas, respectivamente.

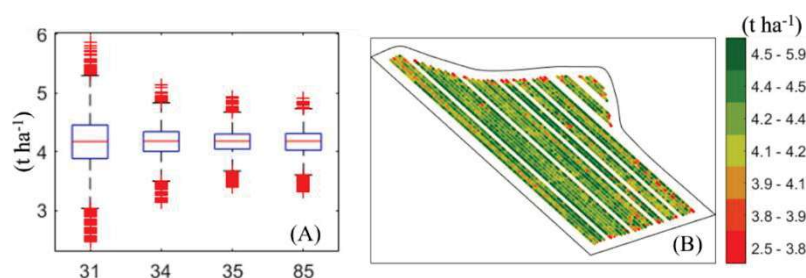


Figura 7. Gráficos de caixas com dados de produtividade normalizados e mapa de produtividade após descarte da máquina 95 em (A) e (B), respectivamente.

Mapa geral da fazenda.

O processamento automático de todos os talhões da fazenda foi realizado após ajustar os parâmetros de filtragem de dados e descarte de máquinas que apresentavam algum tipo de anomalia nos dados gerados (ex.: máquina 95 apresentada acima). O mapa geral de produtividade de soja 25/26 apenas filtrado e

filtrado normalizado é apresentado na Figura 8 A e B, respectivamente, ambos com áreas de cabeceira descartadas. Pode-se observar que as anomalias nos padrões de produtividade foram minimizadas após o tratamento. Note nos talhões enumerados (1 a 8) que as “listras” avermelhadas deixaram de ser observadas após a normalização dos dados. Nas Figuras 9A a D,

são apresentados os talhões números 5 e 1 (da Figura 8) com mais detalhes, mudança nos padrões de produtividade, ficando mais

evidentes a regiões de alta e baixa produtividade dentro dos talhões.

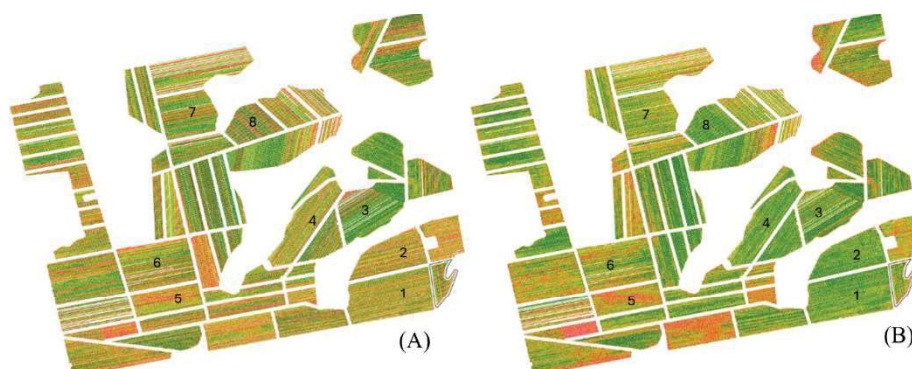


Figura 8. Mapa colheita de soja 25/26 Fazenda Gobbi gerados a partir de dados filtrados (A) e dados filtrados e normalizados (B)

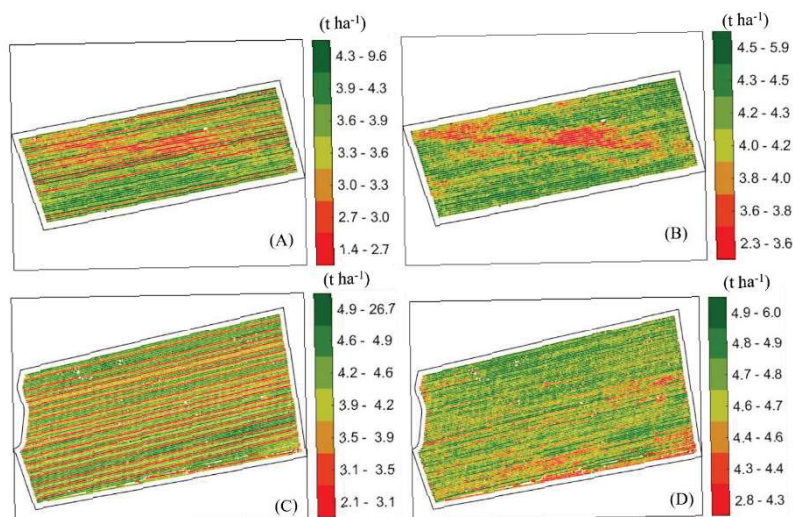


Figura 9. Mapas de produtividade apenas filtrados dos talhões 5 e 1 nas Figuras (A) e (C), respectivamente; e mapas de produtividade normalizados dos talhões 5 e 1 nas Figuras (B) e (D), respectivamente.

Conclusões

Foi apresentado um exemplo prático de como trabalhar com mapas de produtividade na cultura de soja em uma operação envolvendo múltiplas máquinas operando dentro dos talhões. Máquinas sempre trabalhando em pistas adjacentes permitem que a frota opere em condições semelhantes quanto à variabilidade de produtividade ao longo do talhão. Essa condição favorece a normalização dos dados de cada SMP, utilizando a média final do talhão, minimizando os erros de padronização da produtividade dos talhões trabalhados e produzindo mapas de melhor qualidade, mesmo com a calibração dos sensores apenas no início da safra.

Agradecimentos: Fazenda Gobbi por viabilizar o estudo e disponibilização de dados.

Referências

EITELWEIN, M. T.; SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; DAMIAN, J. M.; CHERUBIN, M. R.; CORASSA, G. M.; BASSO, C. J.; FLORA, L. P. D. Mapeamento da produtividade de grãos e utilização dos mapas. In: SANTI, L. S.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T. J. C. (Orgs). Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. 1 ed. Santa Maria, RS: CESPOL, 2016, cap. 5, p. 99-119.

KOELLN, F. H. B.; ZANDONADI, R. S. Estudo da logística na colheita mecanizada de soja, na região do noroeste mato-grossense. Em: 1º Simpósio mato-grossense de mecanização agrícola e agricultura de precisão- SIMAP. Sinop-MT, 2018.

THE MATHWORKS. MATLAB: versão 24.2.0 (R2024b). Natick: The MathWorks, Inc., 2024.

ZANDONADI, R.S. Sistema de Mapeamento de produtividade nas

colhedoras de grãos - Boas Práticas. Fichas Técnicas, v. 1, p. 1, 2021. Disponível em: <https://mtciencia.com.br/fichas-tecnicas-2/>. Acessado em 23/06/2026

ZANDONADI, R.S.; RUFFATO, S. Colheita mecanizada de soja no Mato Grosso: Perdas devido ao desempenho das colhedoras e aspectos operacionais. Research, Society and Development. v. 10, n.5. 2021.