



ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) E SUAS APLICAÇÕES NA AGRICULTURA

André Luis Vian¹; Christian Bredemeier¹

¹ Professor, Faculdade de Agronomia, Grupo de Estudos em Agricultura Digital (GEAD), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). – andre.vian@ufrgs.br; bredemeier@ufrgs.br

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação de maior utilização para o monitoramento remoto da vegetação. Esse índice é calculado a partir da diferença entre a luz vermelha absorvida pelas plantas e a luz do infravermelho próximo refletida por elas, permitindo avaliar a atividade fotossintética e o vigor da cultura. Quanto maior o valor do NDVI, maior tende a ser a biomassa e a saúde das plantas, enquanto valores baixos podem indicar estresse hídrico, deficiência nutricional ou outros problemas.

No contexto da agricultura de precisão e digital atual, o NDVI desempenha um papel fundamental ao permitir o acompanhamento detalhado das lavouras ao longo do ciclo produtivo. Por meio de sensores embarcados em satélites, drones ou dispositivos portáteis, os agricultores podem monitorar grandes áreas de cultivo de forma rápida e eficiente, identificando variações no desenvolvimento das plantas e possibilitando a identificação de variabilidade e de proposição de medidas corretivas. A aplicação do NDVI na tomada de decisão contribui para um manejo agrícola mais

assertivo, auxiliando na detecção precoce de anomalias, no ajuste da adubação e da irrigação e na delimitação de áreas com potencial produtivo diferenciado. Dessa forma, a tecnologia não apenas melhora a eficiência operacional, mas também promove o uso mais sustentável dos recursos naturais, reduzindo desperdícios e impactos ambientais.

Mas de onde vem o NDVI?

Os índices de vegetação são “construídos” a partir da reflectância dos comprimentos de onda de diferentes porções do espectro eletromagnético, como das regiões do visível e do infravermelho próximo, onde se obtém informações sobre a estrutura e vigor da vegetação (Figura 1). Na região do visível (entre 400 e 680 nm aproximadamente), as principais estruturas que interagem com a radiação são os pigmentos de absorção da energia incidente (clorofila, antocianina, xantofila). Já na região do infravermelho próximo (NIR), as principais variáveis que afetam a quantidade de energia refletida são a biomassa de parte aérea, o índice de área foliar e quantidades de celulose, lignina e água presentes no dossel vegetativo. Com base nessas informações, é possível inferir sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas ao longo do ciclo.

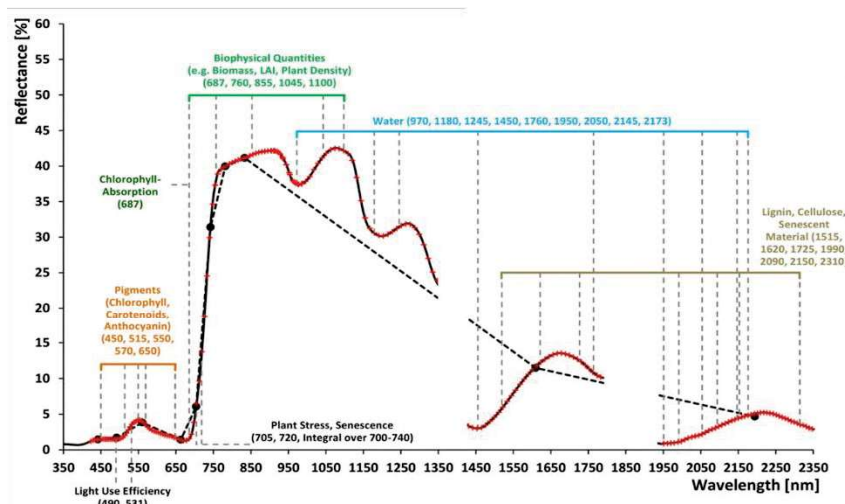


Figura 1. Curva espectral característica da vegetação e as interações das faixas espectrais com compostos de plantas. Adaptado de Hank et al. (2019).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um indicador quantitativo derivado de medições espectrais, fundamentado na resposta da vegetação à radiação eletromagnética em comprimentos de onda específicos. O NDVI é calculado a partir das informações de reflectância da vegetação com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

onde: *NIR* representa a reflectância no infravermelho próximo (aproximadamente 700–900 nm) e *Red* a reflectância na faixa do vermelho (cerca de 640–700 nm).

A vegetação saudável exibe elevada absorção na região do vermelho, decorrente da presença de clorofila, e acentuada reflectância no NIR, decorrente da estrutura celular e da morfologia foliar. Esse contraste espectral permite diferenciar áreas com cobertura vegetal ativa daquelas com solo exposto ou corpos d'água, que apresentam respostas espectrais menos dinâmicas nessas bandas. O índice varia numericamente de -1 a +1, sendo que valores superiores a 0,2 geralmente indicam presença de vegetação, enquanto valores mais próximos a zero ou negativos sugerem áreas com solo ou água (Jackson; Huete, 1991).

Proposta inicialmente por Kriegler et al. (1969), e consolidada a partir da década de 1970, a metodologia do NDVI destacou-se pela

capacidade de delimitar vegetação e identificar estresses precocemente, característica que a tornou relevante para agricultura comercial e em estudos de uso do solo. Essa aplicabilidade ampliou-se com o advento de sistemas de sensoriamento remoto capazes de gerar dados em múltiplas resoluções espaciais e temporais (Huang et al., 2020). Sensores embarcados em plataformas orbitais ou aéreas capturam dados brutos, que, após correções radiométricas e processamento, são convertidos no índice, subsidiando decisões em manejo agrícola (Jensen, 2007; Campbell; Wynne, 2011).

De quais plataformas podemos obter o NDVI?

A obtenção dos dados utilizados para o cálculo do NDVI pode ser realizada por meio de diferentes plataformas, cada uma oferecendo vantagens específicas em termos de resolução espacial, temporal e espectral. Sensores orbitais, como os acoplados aos satélites Landsat, Sentinel-2, MODIS, Planet Scope, entre outros, oferecem cobertura global e históricos de longo prazo, com resoluções espaciais que variam de 3 a 5 m (Planet Scope) a 250 m (MODIS), ideais para monitoramento em escala regional (Lillesand et al., 2015). Suas órbitas são sincronizadas com o ciclo solar para garantir uniformidade nas condições de imageamento.

Veículos aéreos não tripulados (VANTs) equipados com câmeras multiespectrais destacam-se na agricultura de precisão pela capacidade de fornecer imagens com alta resolução espacial e flexibilidade na coleta de dados, permitindo a obtenção de informações detalhadas sobre o estado das culturas em áreas específicas. Essas plataformas capturam imagens em bandas espectrais estreitas, permitindo gerar NDVI com detalhamento suficiente para identificar variabilidade do crescimento das plantas dentro do talhão e detecção de estresses (Zhang; Kovacs, 2012). A integração com algoritmos de processamento viabiliza correções radiométricas em tempo real, minimizando distorções por variações de altitude e ângulo de captura (Colomina; Molina, 2014).

Por fim, sensores portáteis, como GreenSeeker e SpectraVue, permitem coletas *in situ*, vinculando o valor do NDVI a parâmetros agrônômicos, como índice de área foliar e teor de nitrogênio da cultura. Baseados em emissão de luz por LEDs ou lasers nas bandas do vermelho e NIR, garantem alta acurácia pontual, sendo fundamentais para calibração de dados remotos e validação de modelos preditivos (Baret et al., 2007). Embora restritos à escala local, sua portabilidade os torna indispensáveis para diagnósticos localizados.

Principais aplicações do NDVI na agricultura

As possibilidades de aplicação do NDVI são inúmeras e têm sido fundamentais para o desenvolvimento da agricultura de precisão no Brasil, permitindo o manejo eficiente de grandes lavouras, especialmente em um país de dimensões continentais como o nosso, onde a

agricultura desempenha papel crucial na economia e torna o país um dos maiores produtores de alimentos no cenário mundial (Epiphany et al., 2010).

Assim como já mencionado, o NDVI se relaciona com a quantidade de clorofila e de biomassa das culturas e tudo o que interfere de forma direta e/ou indireta é possível de ser medido. Na Figura 2, são apresentadas algumas das possíveis aplicações do NDVI, destacando-se o monitoramento de lavouras ao longo do ciclo de desenvolvimento, que acaba sendo mais uma ação de acompanhamento visual e de orientação de atividades de diagnóstico.

Outra aplicação é a detecção precoce de estresses hídricos e de deficiências nutricionais, principalmente de nitrogênio, tornando possível a recomendação de taxas variáveis de fertilizantes (Molin; Amaral; Colaço, 2015). Atualmente, existem inúmeros modelos de recomendação em taxa variável de N para as culturas do trigo, milho e algodão e que são praticados em escala comercial no Brasil. Além disso, as aplicações incluem a utilização de mapas de NDVI para a composição de “layers” de zonas de manejo, para a colheita estratificada de sementes ou para estimativas de produtividade de grãos desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Uma nova oportunidade do NDVI atualmente é a estimativa de sequestro de carbono pelas culturas ao longo do ciclo de desenvolvimento, além de estimativas de emergência das plantas em lavouras baseado no índice de vegetação MSAVI (Índice de vegetação ajustado ao solo modificado), outro índice que vem ganhando destaque e que possui capacidade de “identificar” plantas em estádios iniciais.

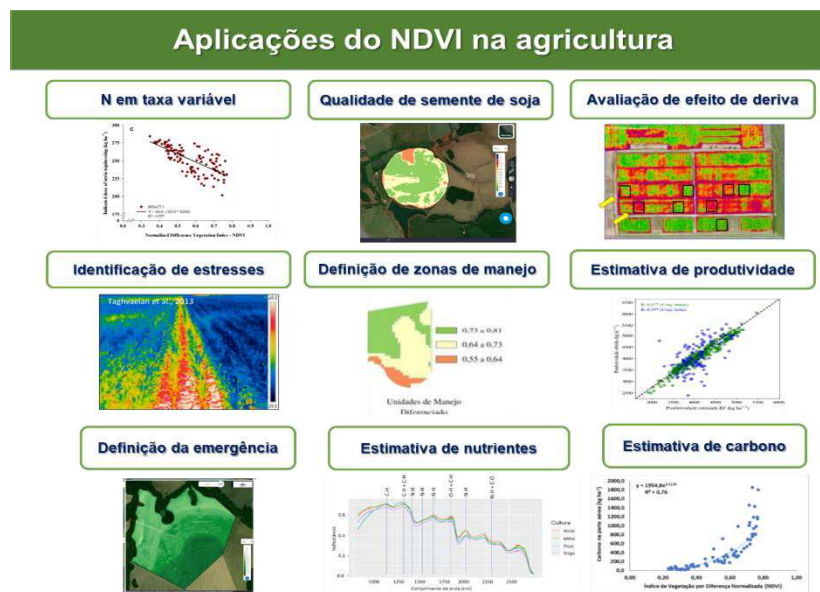


Figura 2. Aplicações do NDVI na agricultura. Fonte: André Luis Vian.

Também o uso de imagens de satélite que capturam os dados de NDVI, disponibilizadas diariamente, já é uma realidade para o monitoramento de estresse hídrico. Somado aos dados de temperatura de superfície (TS) também coletados por meio de satélite, é possível utilizá-los para avaliação da evolução de períodos de seca e sua severidade, em locais com informações meteorológicas escassas ou não acuradas (Cunha et al., 2017). Com isso, é possível aprimorar o manejo da irrigação, evitando desperdícios e aumentando a rentabilidade da lavoura.

De forma conjunta, o NDVI é utilizado como parâmetro para entender o desenvolvimento de outros índices de vegetação, como o LAI (índice de área foliar), do FAPAR (índice de radiação fotossinteticamente ativa interceptada) e do CWC (Conteúdo relativo de água no dossel vegetativo). Esses novos índices apresentam ótima relação com o NDVI e permitem avaliar informações específicas, além de simplesmente obter informações de clorofila e de biomassa.

Como forma de monitorar a ocorrência de pragas e doenças, o NDVI se mostra como uma alternativa para cultivos comumente acompanhados de forma manual. No cultivo da soja, o impacto gerado por uma doença, como a ferrugem asiática, pode ser crucial para uma

boa produtividade na safra, causando danos severos à lavoura, passíveis de observação por meio remoto. A redução de área fotossinteticamente ativa gera alteração no NDVI, sendo possível a criação de uma correlação entre o valor do NDVI calculado e a severidade da doença (Silva; Canteri; Moreira, 2024). Apesar disso, as mudanças aparentes no talhão somente são perceptíveis em um estágio muito avançado da doença/praga, não sendo recomendado o acompanhamento para controle por meio desta ferramenta.

Por fim, cabe citar a utilização do NDVI como forma de determinação da biomassa acumulada, com correlações já validadas em diversos cultivos, como trigo e cevada. Essa mensuração de biomassa da parte aérea é útil para estimativas de produtividade, gerando ganhos ao produtor por meio de um manejo mais localizado de acordo com a expectativa de rendimento, como no caso da adubação em taxa variável (Grohs, et al., 2011).

Limitações e cuidados com o uso de NDVI

Apesar de sua vasta aplicabilidade, a interpretação do NDVI requer cuidados para evitar diagnósticos imprecisos, pois diversos fatores podem influenciar seu valor. Uma das principais limitações quando usamos as plataformas satelitais é a sua sensibilidade a

condições meteorológicas, como a presença de nuvens e neblina, que podem afetar significativamente a precisão dos dados. Em dias nublados, a luz refletida pela vegetação pode ser dispersa, resultando em leituras distorcidas. Além disso, variações no ângulo solar ao longo do dia e das estações do ano podem alterar a forma como a luz interage com a vegetação, levando a mudanças nos valores do índice. Estudos em lavouras de soja mostraram que o NDVI tende a apresentar valores menores no início da manhã e final da tarde, quando a radiação solar incide com maior inclinação (Fontana *et al.*, 2019).

Outra limitação crucial é a saturação do NDVI em condições de alta densidade de biomassa (Fontana *et al.*, 2019). Em lavouras de soja com Índice de Área Foliar (IAF) superior a 5, o NDVI pode estabilizar-se em valores próximos a 0,9, tornando-se menos sensível a aumentos adicionais de biomassa. Nesses estágios mais avançados da cultura, outros índices, como o NDRE (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Red Edge), podem complementar a análise.

Embora o NDVI contribua de forma positiva para o monitoramento da vegetação, suas limitações relacionadas às condições meteorológicas, ângulo solar, saturação em alta biomassa e defasagens temporais devem ser consideradas na interpretação dos dados. Nesse sentido, é indispensável o acompanhamento presencial das lavouras, de modo a entender as medições do NDVI de forma contextualizada ao local, podendo observar as características e possíveis causas dos valores indicados. A observação direta no campo permite validar os dados de NDVI, identificar padrões e compreender as reais condições das plantas, auxiliando em um diagnóstico mais preciso e na tomada de decisões mais eficientes.

Conclusões

É evidente que a importância do índice de NDVI na agricultura vem crescendo ao longo dos anos, fazendo-se presente em diversos manejos realizados durante o ciclo da cultura, como forma de embasamento para escolhas

mais assertivas para a lavoura. Traz consigo economia de insumos, tempo e mão de obra, elevando o padrão de produção para um conceito mais sustentável e diminuindo os impactos ambientais. Esse crescimento na utilização da ferramenta tende a se consolidar, evidenciando a necessidade de validação de dados e de parâmetros para mensuração do desenvolvimento da lavoura.

O emprego de tecnologias como o NDVI, associadas ao emprego de inteligência artificial para tabulação e comparação de dados, são o caminho para uma gestão ainda mais eficiente e autônoma da fazenda. Essas informações, associadas a ferramentas de machine learning que permitem à máquina tomar decisões, aumentam a precisão dos manejos empregados, eliminando erros subjetivos, trazendo um monitoramento mais eficiente e, conseqüentemente, uma prática agrícola mais sustentável.

Referências

- BARET, F. *et al.* Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 58, n. 4, p. 869-880, 2007.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. *Introduction to remote sensing*. 5. ed. Nova York: Guilford Press, 2011.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdã, v. 92, p. 79-97, 2014.
- CUNHA, A. P. M. A. *et al.* Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no semiárido do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 69/1, 2017.
- EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; MAIA, J. C. S.; GALVÃO, L. S. *Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento agrícola*. 2010.
- FONTANA, D. C. *et al.* NDVI e alguns fatores de variabilidade. *Anais... XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2019.
- GROHS, D. S. *et al.* Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 4, 2011.
- HANK, T. B.; BERGER, K.; BACH, B.; CLEVERS, J. G. P. W.; GITELSON, A.; ZARCO-TEJADA, P.; MAUSER, W. Spaceborne Imaging Spectroscopy for Sustainable Agriculture: Contributions and Challenges. *Surveys in Geophysics* (2019), V. 40, P. 515 – 551. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9492-0>.
- HUANG, S. *et al.* A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, v. 32, n. 1, p. 1–6, 2020.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, dez. 1991.

JACÓBSEN, Lizandro Oliveira; FONTANA, Denise Cybis; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. Revista brasileira de meteorologia. Brasília. Vol. 19, n. 2 (2004), p. 129-140, 2004.

JENSEN, J. R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2015.

KRIEGLER, F. J. et al. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., 1969, Ann Arbor. Anais... Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan, 1969. p. 97-131.

LILLESAND, T. M. et al. Remote sensing and image interpretation. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

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

SILVA, R. G.; FREITAS, L. M.; SANTANA, D. J. NDVI aplicado ao manejo sustentável de pastagens em ILP. Agricultura Sustentável, v. 15, n. 3, p. 112-126, 2019.

SILVA, A. L.; CANTERI, M. G.; MOREIRA, G. G. Comparação de imagens aéreas com câmeras NIR usando veículos não tripulados (VANTs) para estimativa de severidade e desfolha de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. Summa Phytopathologica, v. 50, 2024.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision Agriculture, Berlim, v. 13, p. 693-712, 2012.