

Análise da dinâmica temporal de índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI e IRECI através de imagens Sentinel-2a e MODIS

| **Janice Freitas Leivas**
Embrapa Territorial

| **Celina Maki Takemura**
Embrapa Territorial

| **Antônio Heriberto de Castro Teixeira**
Universidade Federal de Sergipe

| **Edlene Aparecida Monteiro Garçon**
Embrapa Territorial

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste trabalho foi gerar informações sobre a dinâmica temporal de diferentes índices de vegetação (IV), como NDVI, EVI, SAVI, IRECI, para a microrregião de Barreiras, polo da produção de grãos, no oeste da Bahia. **Métodos:** Foram obtidos IV com imagens de diferentes resoluções espaciais e temporais como Sentinel-2A (10m e revisita de 5 dias) e MODIS (250m e 16 dias). Foram obtidas imagens de 2016 a 2021 do sensor MODIS e do período de 2018 a 2021, do Sentinel-2A, através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Foi aplicada a metodologia MACD (*Moving Average Convergence Divergence*). **Resultados:** Com a técnica aplicada, foi possível verificar os pontos de inflexão das séries temporais dos índices de vegetação, possibilitando observar os períodos de valor máximo do vigor vegetativo, pontos de inflexão da curva e diminuição, indicando períodos de plantio, máximo desenvolvimento vegetativo e períodos de colheita de áreas agrícolas, em escala regional. **Conclusão:** Com os índices de vegetação analisados (NDVI, EVI, SAVI e IRECI) foi possível analisar a dinâmica temporal das áreas agrícolas, na microrregião de Barreiras. O MACD mostrou-se eficaz para o monitoramento do ciclo das culturas, podendo ser aplicado em áreas menores, permitindo acompanhar o desenvolvimento das culturas. Neste estudo, foram realizadas análises regionais, mas para resultados mais específicos, são recomendadas análises em áreas agrícolas específicas, como talhões e pivôs centrais, possibilitando inferências sobre o desenvolvimento das culturas, auxiliando na decisão agrícola.

Palavras-chave: Índices de Vegetação, Imagens de Satélite, Áreas Agrícolas, Análise Temporal, Pontos de Inflexão.

■ INTRODUÇÃO

Os índices de vegetação desempenham um papel preponderante no acompanhamento e monitoramento de culturas agrícolas, utilizando imagens de satélite multiespectrais. Vários sensores podem ser usados para obtenção de índices de vegetação. Neste estudo foram obtidas imagens dos satélites MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e do Sentinel-2A, que possuem diferentes resoluções espaciais e temporais. As imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, apresentam baixa resolução espacial, porém são disponibilizadas informações de alta periodicidade em uma escala global. O produto MOD13Q1 apresenta resolução espacial de 250 m e composições de imagens de 16 dias. É crescente o uso desse instrumento para mapear periodicamente atributos do meio ambiente, com notável destaque para o monitoramento da cobertura vegetal (RUDORFF *et al.*, 2007, LIESENBERG *et al.*, 2007; COUTO JUNIOR *et al.*, 2013; VERBESSELT *et al.*, 2010).

As imagens do satélite Sentinel-2A, disponibilizadas pela ESA (*European Space Agency*) possuem avanços consideráveis em suas especificações técnicas, principalmente em se tratando das resoluções espacial (10 m), espectral (12 bits) e temporal (5 dias). Para estudo ambientais, utiliza-se as bandas 2 (azul, 490 nm), 3 (verde, 560 nm), 4 (vermelho, 665 nm) e 8 (Infravermelho próximo, 842 nm) (ESA, 2015).

Cada sensor apresenta suas vantagens, o MODIS apesar de possuir menor resolução espacial e temporal que o Sentinel-2A (S2), possui a vantagem de disponibilidade contínua de imagens sem nuvens, permitindo o acompanhamento das culturas, mesmo em período chuvoso. Já as imagens do S2, permitem melhor discriminação dos alvos na superfície, devido à alta resolução espacial (10m), porém em longos períodos com presença de nebulosidade, fica a lacuna quanto à disponibilidade de imagens. Para preencher essa lacuna, neste estudo foi realizada a composição das imagens S2, com a finalidade de obter melhor resolução espacial e, conseqüentemente, melhor discriminação da superfície.

Com as imagens MODIS e Sentinel-2A, foram obtidos diferentes índices de vegetação como NDVI (*Normalized Difference Index Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), SAVI (*Soil-adjusted vegetation index*), IRECI (*Inverted Red-Edge Chlorophyll Index*) e NDI45 (*Normalized Difference Index Band 4 and Band 5*), usando diferentes bandas espectrais.

O índice de vegetação NDVI é amplamente usado para monitorar o crescimento e vigor vegetativo das culturas (JENSEN, 2009). O índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) leva em consideração o vermelho e infravermelho como o NDVI, porém utiliza a banda do azul para descontar influências atmosféricas (HUETE *et al.* (2002). . Outro índice bastante difundido é o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) que surgiu da necessidade de atenuar os efeitos causados pelo solo na captura dos dados (HUETE, 1988). Para o sensor

Sentinel-2A, outros índices de vegetação como IRECI (*Inverted Red-Edge Chlorophyll Index*) e o NDI45, que utilizam a banda Red-edge, servem para estimar o conteúdo de clorofila do dossel (GUYOT and BARET, 1988).

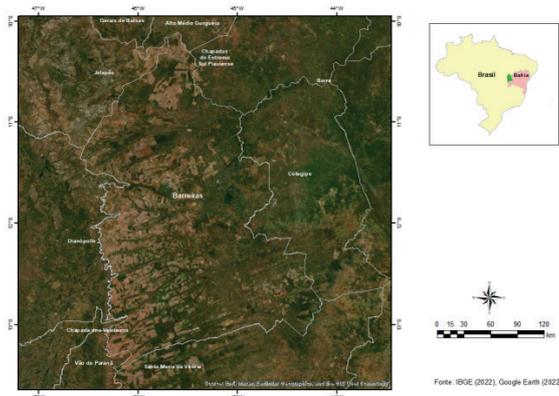
O objetivo deste estudo foi analisar o perfil temporal dos diferentes índices de vegetação, possibilitando analisar a dinâmica das culturas ao longo do ciclo agrícola, podendo ser implementados em plataforma de monitoramento agrícola, conforme a disponibilidade de imagens.

■ MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é a microrregião de Barreiras, no oeste da Bahia, compreendendo os municípios de Luiz Eduardo Magalhães, Barreiras, São Desidério, Formosa do Rio Preto, Catolândia e Baianópolis (Figura 1), pertencente ao polo de produção de grãos. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima no oeste da Bahia é Aw (tropical chuvoso, quente e inverno seco).

Figura 1. Localização da área de estudo, microrregião de Barreiras, no oeste da Bahia, Brasil.



Dados utilizados

O período analisado foi de janeiro de 2016 a dezembro de 2021, contemplando 138 imagens do satélite MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), com resolução espacial de 250 m e temporal de 16 dias (*tile* H13V10) e imagens do sensor Sentinel-2A (S2), sendo 10 *tiles* e 920 imagens, com resolução de 10m e 5 dias de revisita, bandas 4, 5, 6, 7 e 8, contemplando as bandas do visível (VIS), red-edge (RE) e infravermelho próximo (NIR). Também foram obtidos dados de precipitação pluviométrica diária das estações do INMET, disponibilizados via API (*Application Programming Interface*). O processamento das imagens e dados foi realizado usando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

Metodologia

Com as imagens MODIS e Sentinel-2, foram calculados os índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – *Normalized Difference Vegetation Index*), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – *Soil Adjusted Vegetation Index*), EVI (Índice de Vegetação Melhorado – *Enhanced Vegetation Index*), NDI45 (Índice de Diferença Normalizada B4 e B5 – *Normalized Difference Index B4 and B5*) e IRECI (Índice de Clorofila do Limite Vermelho Invertido – *Inverted Red-Edge Chlorophyll Index*).

O NDVI foi proposto por Rouse e colaboradores (1974) e é bastante utilizado até hoje para diversas finalidades, como detecção de áreas cobertas por vegetação e estimativas de biomassa, verificação do vigor e produção de culturas, estimativas de cobertura vegetal, dentre outras (ABREU COUTINHO, 2014; PARUELO *et al.* 2000). Muitos índices existentes utilizam princípios parecidos, como o NDI45 (DELEGIDO *et al.*, 2011), que substitui a banda do infravermelho próximo (NIR- *Near Infrared*) por bandas na faixa do *red-edge* e tem melhores relações com o índice de área foliar (LAI- *Leaf Area Index*) usando imagens simuladas do Sentinel-2A.

As equações 1 e 2, referem-se aos índices de vegetação NDVI e NDI45, respectivamente:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} * (1 + L) \quad (2)$$

onde NIR é a reflectância na banda Infravermelho próximo, R é a reflectância na banda do vermelho e RE é a reflectância na banda Red-Edge.

O índice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), proposto por Huete (1988), acrescenta um fator de correção para a influência do solo, o que resulta em uma representação mais fiel da vegetação se comparado ao NDVI. O SAVI é uma alternativa para áreas densamente vegetadas, mostrando menos problemas de saturação.

Na equação 3, é apresentada a equação para o cálculo do SAVI:

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} * \quad (3)$$

onde L corresponde ao fator de correção (L), que pode variar de 0 (áreas com muita vegetação) a 1 (áreas com pouca vegetação), sendo usado como 0,25, em áreas agrícolas.

O índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) desenvolvido por Huete e colaboradores (2002), compensa os efeitos da atmosfera na banda do vermelho utilizando a banda do azul pra correção. Na equação 4 é apresentado o cálculo do EVI:

$$EVI = \frac{NIR - R}{NIR + c1 * R - c2 * B + L} \quad (4)$$

onde c1 e c2 são os coeficiente de correção, sendo igual a 6 e 7,5, respectivamente e B, refere-se à reflectância da banda azul.

O IRECI (*Inverted Red-Edge Chlorophyll Index*, criado por Frampton e colaboradores (2013), foi desenvolvido especialmente para a aplicação em imagens do Sentinel-2 usando as bandas do vermelho, red-edge e do NIR, apresentado na equação 5:

$$IRECI = \frac{NIR - R}{\frac{RE1}{RE2}} \quad (5)$$

onde RE1 e RE2 correspondem às reflectâncias das faixas red-edge mais próximas da faixa do vermelho (R) e do infravermelho (NIR).

Foram realizados 219 mosaicos dos *tiles* das imagens Sentinel-2A, para o período de 2018 a 2021, sendo realizadas composições (MVC – *maximum value composite*) dessas imagens, com a finalidade de eliminar as nuvens e coincidir com a resolução temporal das imagens MODIS, porém persistindo a resolução espacial de 10 m.

Para análise dos resultados, foi aplicada a técnica (MACD – *Moving Average Convergence Divergence*) (GAO *et al.* (2020a, 2020b), com a finalidade de obter a tendência de aumento ou diminuição dos índices, possibilitando inferir sobre as condições médias das culturas. Foram obtidos dados de precipitação pluviométrica diária das estações do INMET, disponibilizados via API (*Application Programming Interface*). O processamento das imagens e dados foi realizado usando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

■ RESULTADOS

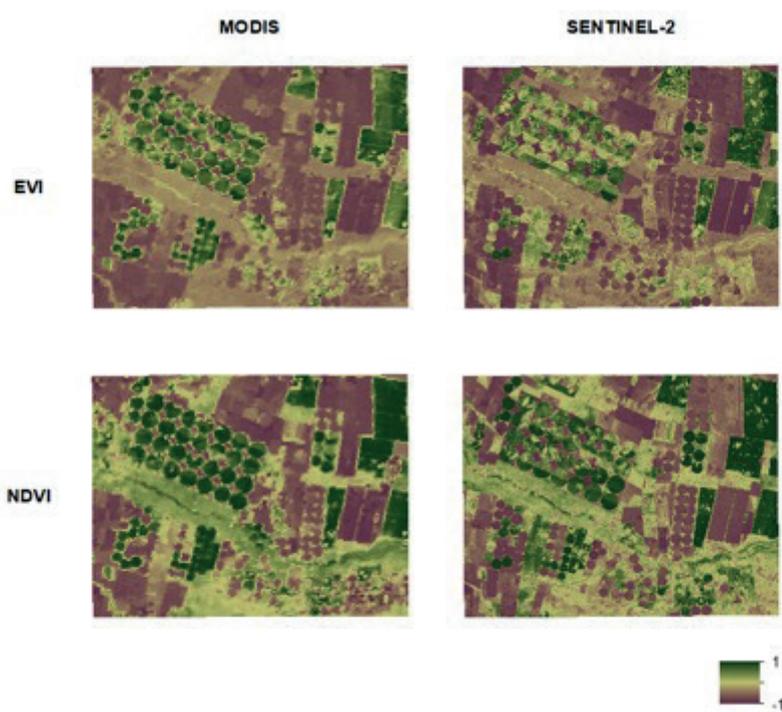
Na Figura 2, são apresentados os índices de vegetação (IV) NDVI e EVI, obtidos em março de 2020, com imagens de diferentes resoluções espaciais (MODIS e Sentinel-2A). Observa-se que as imagens Sentinel-2A (S2) possibilitam melhor discriminação da superfície, com destaque aos pivôs centrais e talhões bem definidos.

Como as imagens S2 analisadas são composição de 16 dias, para coincidir com a resolução temporal das imagens MODIS e eliminar as nuvens, as imagens das datas específicas (puras, ou seja, sem composição), essas feições são mais evidentes. Porém como o

número de imagens Sentinel-2A, sem nuvens é muito baixo, o processamento de composição de máximo valor é uma técnica que auxiliou para monitoramento de áreas ao longo do ciclo das culturas. Observa-se que os valores de NDVI e EVI mais próximos de 1 (tons de verde) referem-se à vegetação com maior vigor (áreas irrigadas por pivôs centrais) e valores próximos a zero, referem-se à superfície de solo exposto ou com baixa cobertura vegetal (tons marrom). Fica evidente que o NDVI se torna saturado e aparece mais homogêneo, não expressando algumas diferenças, que são detectadas claramente no EVI. Isso ocorre devido ao fato que o NDVI satura em áreas com alta densidade de vegetação e o EVI reduz a interferência da atmosfera, permitindo que a leitura seja precisa, destacando o sinal da vegetação, especialmente em áreas com alta densidade de biomassa.

Salienta-se que as imagens MODIS, apesar de apresentarem resolução espacial moderada (250 m), é uma alternativa interessante em razão das características: cobertura global diária, elevada acuidade radiométrica, facilidade de aquisição, larga faixa de imageamento (imagens disponibilizadas gratuitamente, em cenas de 1.200 x 1.200 km) e disponibilidade de bandas espectrais próprias para o monitoramento da vegetação (Huete *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2004).

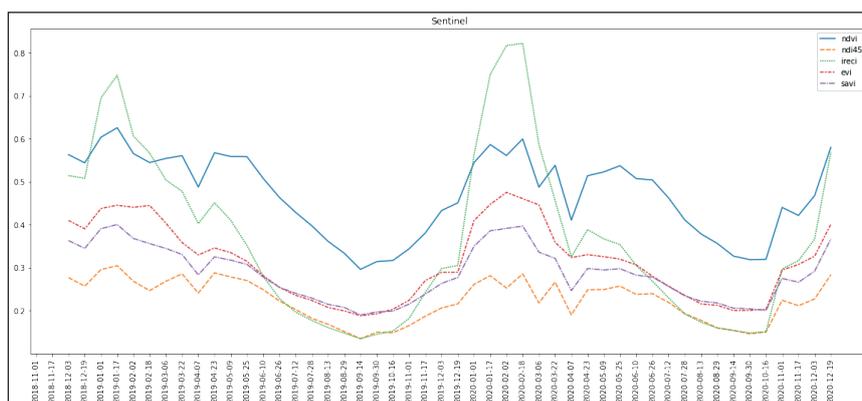
Figura 2. NDVI e EVI obtidos de imagens MODIS e Sentinel 2A, composição referente a primeira quinzena de março de 2020.



Na figura 3, observa-se a evolução temporal de diferentes índices de vegetação, obtidos com imagens S2, no oeste da Bahia, de dezembro de 2019 a abril de 2020. Observa-se que as culturas estão em pleno desenvolvimento vegetal, com elevados índices de vegetação (IV). A cultura predominante neste período é a soja, sendo também plantadas áreas de algodão, que possuem o ciclo mais longo que a soja, sendo colhido entre abril e setembro.

Portanto, o pico dos IVS infere-se, nesse período, que seja soja. No período de abril a agosto, observa-se declínio das curvas, sendo devido à colheita das culturas, como milho safrinha ou algodão, conforme calendário agrícola. Observa-se que a curva do IRECI possui pico mais elevado que os demais IVs, pois esse índice leva em consideração o conteúdo de clorofila do dossel, utilizando a banda RedEdge do S2, obtendo-se maiores valores no período de pleno desenvolvimento da soja. O índice SAVI minimizou os efeitos do solo exposto na estimativa do vigor das plantas, já que distingue áreas de solo de áreas de vegetação e pondera pesos diferentes para cada uma das classes, tornando mais evidente e menos expressivo o efeito do solo, sendo possível verificar isso através da curva mais suavizada que o NDVI e EVI. Segundo Huete *et al.* (2002), o EVI é mais responsivo às variações estruturais do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), tipo de dossel, fisionomia da planta e a arquitetura do dossel.

Figura 3. Distribuição temporal dos índices de vegetação obtidos através de imagens Sentinel-2A, no período de novembro de 2018 a dezembro de 2020.

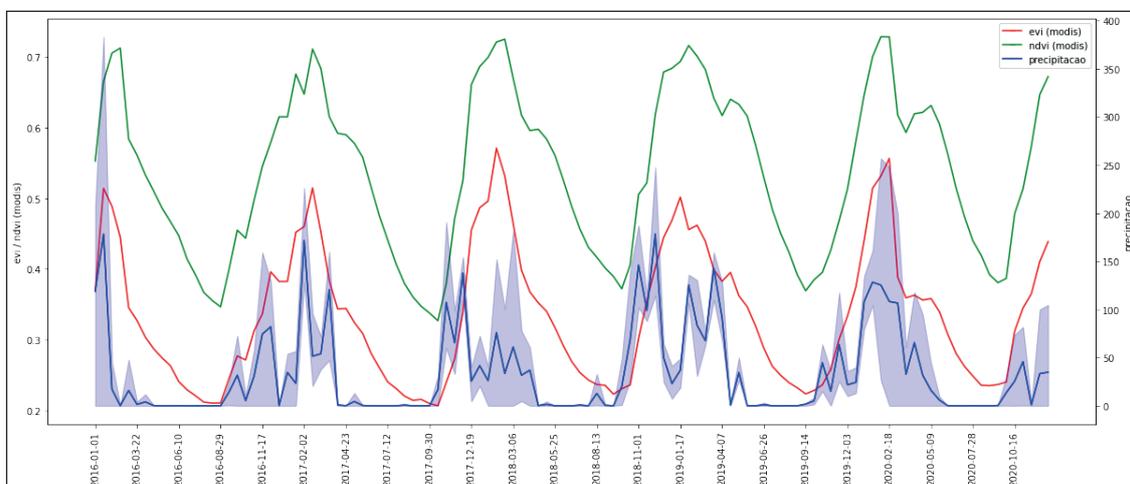


Na figura 4, observam-se as curvas dos índices de vegetação NDVI e EVI, coincidindo com o calendário agrícola da região, com plantios de soja em outubro e novembro e o desenvolvimento e enchimento de grãos no verão, com colheita entre fevereiro e março, cujas datas observam-se declínio das curvas. Na safra de 2019/2020, observa-se que ocorreu baixa precipitação pluvial nos meses de novembro a meados de janeiro, período importante para o desenvolvimento das culturas de verão. Comparando os IVs, observa-se que o EVI apresentou um melhor desempenho para a discriminação sazonal da cobertura vegetal, por ser mais sensível a pequenas variações do IAF.

Em meados de fevereiro ao início de março, o NDVI apresentou valores baixos (menores que 0,4), indicando presença de solo exposto, possivelmente devido à colheita da cultura plantada sob os pivôs centrais (soja). Analisando a variação temporal, pode-se inferir que, a partir do calendário agrícola, ocorreu plantio de milho segunda safra, alcançando valores próximos a 0,7 e com decréscimo em agosto e setembro, período de colheita do milho safrinha. O perfil temporal de NDVI e EVI apresentou baixos valores no início do ciclo, seguido

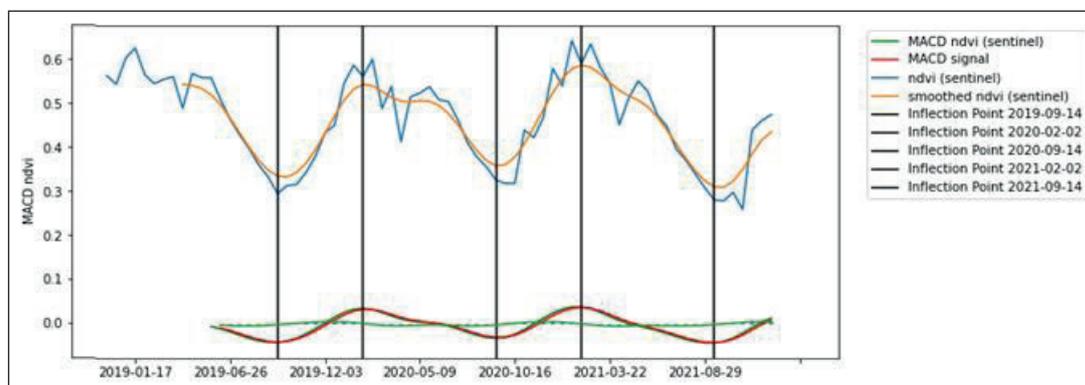
de incrementos nos valores dos índices, atingindo o máximo valor próximo ao florescimento da cultura e decrescendo a seguir, por consequência da senescência das plantas.

Figura 4. Distribuição temporal da precipitação e dos índices NDVI e EVI obtido através de imagens MODIS, no período janeiro de 2016 a dezembro de 2021.



Na Figura 5, observa-se a média móvel convergente e divergente (MACD) do NDVI, sendo um indicador para detectar a tendência crescente ou decrescente nas séries temporais, obtidas com imagens Sentinel-2A, permitindo analisar os pontos de inflexão das curvas de NDVI. Com essa técnica é possível analisar a tendência da safra atual, e detectar datas de transição que mostram mudanças substanciais, a partir dos pontos de inflexão das curvas, como períodos de plantio (ponto de inflexão de setembro de 2019, 2020 e de 2021), desenvolvimento máximo e períodos de colheita (fevereiro de 2019, 2020 e 2021) permitindo inferências sobre as condições das culturas agrícolas. Gao *et al.* (2020a, 2020b) usaram o *Moving Average Convergence Divergence* (MACD) como um indicador para detectar a tendência crescente ou decrescente nas séries temporais VEN μ S, Sentinel-2 e HLS.

Figura 5. Distribuição temporal do NDVI obtidos através de imagens Sentinel-2A, no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2021, aplicando a técnica MACD.



■ DISCUSSÃO

Com essa técnica é possível analisar a tendência da safra atual, e detectar datas de transição que mostram mudanças substanciais, a partir dos pontos de inflexão das curvas, como períodos de plantio (ponto de inflexão de setembro de 2019, 2020 e de 2021), desenvolvimento máximo e períodos de colheita (fevereiro de 2019, 2020 e 2021) permitindo inferências sobre as condições das culturas agrícolas. Gao *et al.* (2020a, 2020b)) usaram o MACD como um indicador para detectar a tendência crescente ou decrescente nas séries temporais VEN μ S, Sentinel-2 e HLS (Harmonized Landsat Sentinel-2).

Com a metodologia MACD (Moving Average Convergence Divergence) foi possível verificar os pontos de inflexão dos perfis temporais dos índices de vegetação, possibilitando observar os períodos de máximo valor, pontos de inflexão da curva e decréscimo, indicando os períodos de plantio, desenvolvimento vegetativo e enchimento de grãos e posterior colheita das áreas agrícolas, em escala regional. O MACD mostrou-se eficaz para monitoramento das culturas, podendo ser aplicada em áreas menores e acompanhar o desenvolvimento das lavouras.

Neste estudo foram realizadas análises regionais, porém para resultados mais específicos, recomendam-se análises em agrícolas específicas, como talhões e pivôs, possibilitando realizar inferências sobre o desenvolvimento das lavouras, com técnicas de agricultura de precisão, auxiliando na tomada de decisão agrícola.

As abordagens baseadas em tendências não dependem da curva da cultura ou das condições de anos anteriores e não precisam de informações sobre o tipo de cultura, sendo promissoras no mapeamento oportuno dos estágios de crescimento das culturas. Como as abordagens baseadas em tendências são baseadas nas observações mais recentes, elas não podem prever a fenologia, apenas detectam tendências ascendentes ou descendentes de séries temporais e confirmam as tendências usando o impulso crescente ou decrescente e os limiares dos índices de vegetação.

As abordagens baseadas em tendências usam apenas observações atuais. No entanto, mapear a fenologia da cultura quase em tempo real é um desafio, pois as observações de sensoriamento remoto nem sempre são sensíveis aos estágios de crescimento da cultura. A precisão da detecção da fenologia da cultura depende da frequência e disponibilidade de observações sem nuvens durante a estação de crescimento. Conjuntos de dados de satélite recentes, como HLS (Harmonized Landsat Sentinel-2), são promissores para mapear a fenologia das culturas dentro da estação em grandes áreas, sendo possível realizar aplicações operacionais em um futuro próximo.

Vale ressaltar que por serem imagens gratuitas, cobertura global, alta resolução temporal e uma boa resolução espacial e espectral na faixa *Red-edge*, o Sentinel 2 é um dos programas mais promissores para estudos sobre vegetação da atualidade.

Com os índices de vegetação analisados (NDVI, EVI, SAVI e IRECI) foi possível analisar a dinâmica temporal das áreas agrícolas, na microrregião de Barreiras. A técnica MACD mostrou-se eficaz para o monitoramento do ciclo das culturas, podendo ser aplicado em áreas menores, permitindo acompanhar o desenvolvimento das culturas. Neste estudo, foram realizadas análises regionais, mas para resultados mais específicos, são recomendadas análises em áreas agrícolas menores, como talhões e pivôs centrais, possibilitando inferências sobre o desenvolvimento das culturas, auxiliando na decisão agrícola.

■ CONCLUSÃO

Analisando-se conjuntamente os dados espaciais e temporais dos diferentes índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI e IRECI), conclui-se que a metodologia mostrou-se eficaz no monitoramento das condições espectrais das culturas, em escala regional, permitindo realizar inferências sobre os estágios de desenvolvimento das culturas agrícolas. Com o conhecimento da cultura plantada em cada talhão ou pivô, o produtor rural pode acompanhar o desenvolvimento e vigor da sua lavoura.

Os resultados deste estudo podem auxiliar no monitoramento das lavouras, auxiliando na tomada de decisão sobre o estado e estágios de desenvolvimento das culturas, contribuindo para o manejo e o uso racional dos recursos hídricos para fins de irrigação.

■ REFERÊNCIAS

1. ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Revista Vértices**, v. 16, n. 2010, p. 173–198, 2014.
2. COUTO JUNIOR, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, . de S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 1, 2013.
3. DELEGIDO, J. et al. Evaluation of Sentinel 2 red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. *Sensors*, v. 11, n. 7, p. 7063-7081, 2011.
4. ESA. European Space Agency. **Sentinel-2 User Handbook Document. Technical Report issue 1 revision 2**. 2015.
5. FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.10, p.1837-1860, 2004.

6. FRAMPTON, W. J. et al. Evaluating the capabilities of Sentinel 2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, p. 83–92, 2013.
7. Gao, F; Anderson, M.; Daughtry, C.; Karnieli, A.; Hively, D., Kustas, W. “A within-season approach for detecting early growth stages in corn and soybean using high temporal and spatial resolution imagery,” **Remote Sensing of Environment**, vol. 242, article 111752, 2020.
8. Gao, F; Anderson, M.; Hively, W. D. “Detecting cover crop end-of-season using VEN μ S and Sentinel-2 satellite imagery,” **Remote Sensing**, vol. 12, no. 21, p. 3524, 2020.
9. Guyot, G. Baret, F., 1988. Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l’etat des couverts vegetaux. In: **Proceedings**, 4th International Colloquium “Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing”, Aussois, 18–22 January 1988, Paris: ESA, ESA, Publication SP-287, pp. 279–286.
10. 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**, v.83, n.1-2, p.195-213, 2002.
11. HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
12. HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.
13. Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
14. LIESENBERG, V.; GALVÃO, L.S.; PONZONI, F.J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v.107, n.1-2, p.276-286, 2007.
15. PARUELO, J. et al. Estimation of primary products of subhumid range lands from remote sensing date. **Applied Vegetation Science**, v. 3, n. 2, p. 189–195, 2000.
16. ROUSE JR, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA**. Goddard Space Flight Center 3D ERTS-1Symp. v. 1, p. 309-317, 1974.
17. Rudorff, C.M.; Novo, E.M.L.M.; Galvão, L.S. 2007. Spectral mixture analysis of EO-1 Hyperion imagery focused on the spatial-temporal variability of the Amazon floodplain multicomponental waters. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. Florianópolis, Brasil. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
18. VERBESSELT, J.; HYNDMAN, R.; NEWNHAM, G.; CULVENOR, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.106-115, 2010.