



ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E EVI NO MONITORAMENTO DO CULTIVO DA SOJA NO MUNICÍPIO DE QUERÊNCIA – MT, SAFRA 2020/2021

Eduardo Cesar da Silva

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Alagoas, Brasil
prof.eduardocesar@gmail.com

Carline Biasoli Trentin

Professora Adjunta do Curso de Geografia da UFMT – Araguaia, Mato Grosso, Brasil
carlinebtrentin@gmail.com

Izaias de Souza Silva

Doutorando em Geografia pelo Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás - IESA-UFG, Goiás, Brasil
izaiasdesouzasilva.inpe@gmail.com

RESUMO – O estado de Mato Grosso é o maior produtor de soja do país, contribuindo para que a agricultura brasileira seja a responsável pelo equilíbrio na balança econômica. Em razão da crescente dependência econômica do país pela agricultura faz-se necessário uma produção em expansão, em contrapartida, aumenta o dever de se produzir com sustentabilidade, preservando ao máximo o meio ambiente. Nesse panorama, o Sensoriamento Remoto se junta às técnicas de manejo, auxiliando de forma satisfatória a agricultura a elevar seu patamar de produção. O presente trabalho tem como intuito o monitoramento do ciclo fenológico da cultura da soja, safra 2020/2021, por meio de imagens de Índices de Vegetação NDVI e EVI, em uma área experimental no município de Querência – Mato Grosso. Para este estudo foram gerados mapas de índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MSI a bordo do satélite Sentinel – 2 ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, utilizando o software QGIS. A partir do mapeamento foi possível monitorar o crescimento e desenvolvimento do cultivo e identificar parcelas com possíveis problemas no desenvolvimento da planta. Os Índices de Vegetação mostraram-se eficazes na discriminação do ciclo evolutivo da soja e na identificação de áreas com potenciais problemas de desenvolvimento, com melhor resultado para o EVI em relação ao NDVI, especialmente quando a cultura atinge um maior vigor vegetativo.

Palavras-chave: Agricultura. Sensoriamento remoto. Fenologia de culturas. Índices de vegetação.

NDVI AND EVI VEGETATION INDEXES IN THE MONITORING OF SOYBEAN CULTIVATION IN THE MUNICIPALITY OF QUERÊNCIA - MT, CROP 2020/2021

ABSTRACT – The state of Mato Grosso is the largest soybean producer in the country, contributing to Brazilian agriculture being responsible for the balance in the economic balance. Because of the country's growing economic dependence on agriculture, it is necessary to expand production, on the other hand, it increases the duty to produce itself with sustainability, preserving the environment as much as possible. In this panorama, Remote Sensing joins the management techniques, helping agriculture satisfactorily to raise its production level. The present work aims to monitor the phenological cycle of soybean, crop 2020/2021, through images of NDVI and EVI Vegetation Indices, in an experimental area in the municipality of Querência - Mato Grosso. For this study, maps of NDVI and EVI vegetation indices of the MSI sensor were generated on board the Sentinel - 2 satellite throughout the soybean development cycle, using the QGIS software. From the mapping it was possible to monitor the growth and

development of the crop and identify plots with possible problems in the development of the plant. The Vegetation Indexes proved to be effective in the discrimination of the soybean evolution cycle and in identifying areas with potential development problems, with a better result for the EVI in relation to the NDVI, especially when the crop reaches a higher vegetative vigor.

Keywords: Agriculture. Remote Sensing. Culture phenology. Vegetation Index.

INTRODUÇÃO

O cultivo de soja, safra 2019/2020, fez do Brasil o maior produtor dessa *commodities* de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021). Este desempenho se explica, sobretudo, pela quantidade de áreas disponíveis e o avanço da modernização na agricultura, com a introdução de novas tecnologias empregadas no campo visando extrair de modo sustentável, o máximo que o ambiente possa proporcionar.

Apesar da implementação de novas técnicas que buscam o aumento na produção, é notório o aumento da supressão da cobertura vegetal natural para incorporação de novas áreas produtivas, causando impactos ambientais e climáticos (DOMINGUES et al., 2014). O monitoramento das áreas de cultivo pode contribuir para uma agricultura mais sustentável, a fim de reduzir o desmatamento, além de corroborar com a constante necessidade de aumento da capacidade produtiva agrícola.

A implementação de novas tecnologias, como o *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), associada a mecanização do campo, têm possibilitado o aprimoramento da agricultura com maior precisão em larga proporção (COELHO e SILVA, 2009). Nesse sentido, a aplicação dos métodos inerentes ao Sensoriamento Remoto (SR) passou a ter papel fundamental no que se refere ao ganho crescente em produtividade em relação a área plantada (FORMAGGIO e SANCHES, 2017), apresentando alternativas para um modelo produtivo mais sustentável.

A particularidade do SR está na obtenção de dados de um alvo na superfície sem haver contato direto, sendo realizado por diversos meios: fotografias aéreas, Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), espectrorradiômetros de campo ou sensores acoplados em plataformas orbitais (NOVO, 2010). A utilização destes dados, ajudam a monitorar as fases fenológicas da vegetação, auxiliando no acompanhamento do estresse hídrico, de deficiências de nutrientes e na determinação do índice de área foliar, podendo assim, aferir estimativas de produção (BERNARDI et al., 2014).

A utilização de dados provenientes do SR ajuda, direta e indiretamente, na compreensão da dinâmica que envolve os estágios de desenvolvimento da planta. A fim de melhor compreender o ciclo fenológico da soja, os estágios de desenvolvimento podem ser divididos em dois momentos, o estágio vegetativo (V) e o estágio reprodutivo (R), com subdivisões em cada estágio (NEUMAIER et al., 2000).

A utilização do SR na agricultura conta com um extenso nicho de instrumentos que auxiliam na busca de maior produtividade, com destaque para os diversos Índices de Vegetação (IVs) desenvolvidos, que auxiliam no monitoramento dos aspectos biofísicos da vegetação. Esses índices procuram evidenciar os parâmetros biofísicos da planta por meio de informações de reflectância espectral captadas por sensores (FORMAGGIO e SANCHES, 2017).

Dentre os IVs mais utilizados no monitoramento do ciclo fenológico da soja, por exemplo, estão o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI). O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1974) e o EVI por Huete et al. (1997) que, com a utilização de bandas espectrais captadas por sensores, fornecem dados de uso e cobertura solo para confecção de mapas de reflectância, auxiliando no monitoramento da vegetação e no acompanhamento do ciclo fenológico da soja.

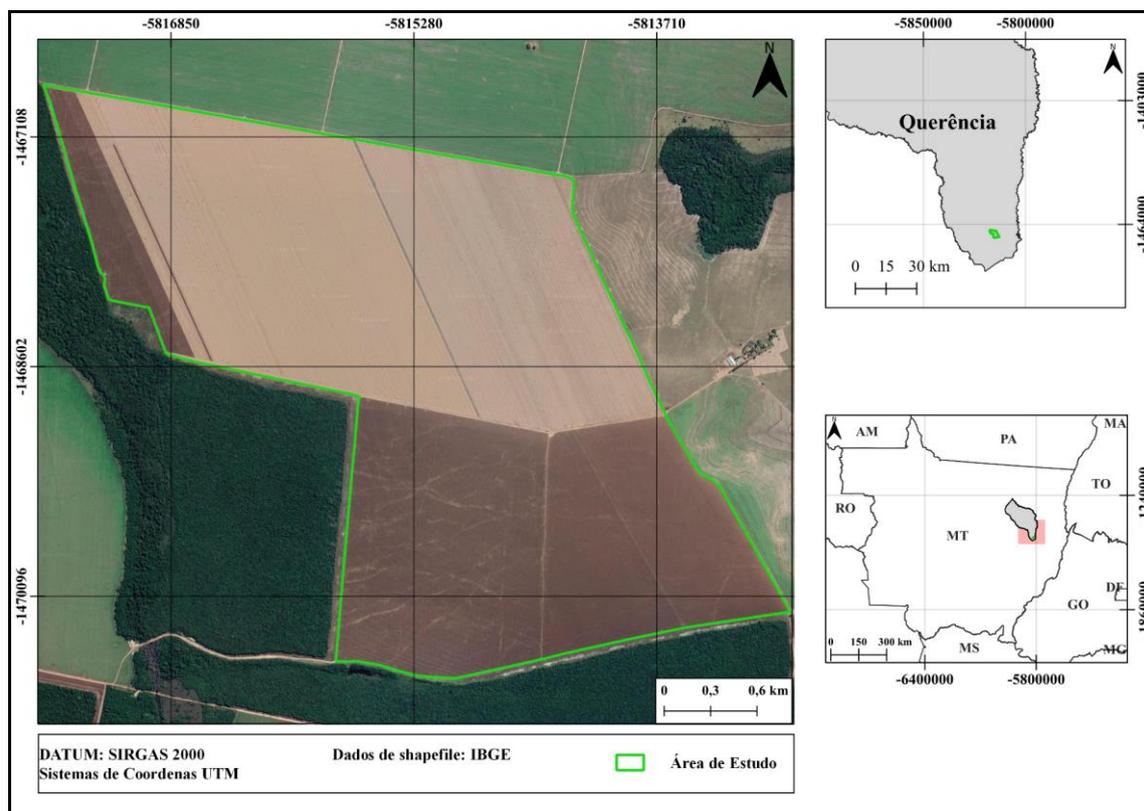
Diante desses aspectos, este trabalho tem como objetivo monitorar o ciclo fenológico da cultura da soja, safra 2020/2021, por meio de imagens de Índices de Vegetação NDVI e EVI, provenientes de dados de SR com alta resolução espacial, em uma área experimental no município de Querência – Mato Grosso.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Área de Estudo

A área de estudo situa-se ao sul do município de Querência, que de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990) está localizada na mesorregião nordeste do Estado de Mato Grosso (Figura 01). As coordenadas do ponto central da área são $-13^{\circ} 04' 45''$ de latitude e $-52^{\circ} 13' 47''$ de longitude.

Figura 01: Mapa de localização da área em estudo.



FONTE: IBGE (2021), Google Earth (2019). **Org.** O Autor.

A área situa-se em relevo com altitudes variando entre 381 e 405 metros (GOOGLE EARTH, 2019). A classe de solo predominante é o Latossolo (IBGE, 2019) e a média de precipitação é de aproximadamente 1800 mm ao ano. Segundo Trentin e Trentin (2017) o clima desta região no período de cultivo da soja é quente e chuvoso, sendo este fator determinante na escolha das datas de aquisição das imagens de satélite: do mês de novembro, logo após a semeadura, até o final do mês de janeiro, início do período de maturação da soja.

Materiais e Métodos

Para realização deste trabalho foram utilizados dois IVs: o NDVI e o EVI. Os IVs são alterações contínuas de bandas espectrais que conseguem distinguir níveis de refletância da vegetação,

sempre levando em consideração os componentes de cada planta. Formaggio e Sanches (2017, p. 80) ressaltam que o "potencial dos IVs para a agricultura é vasto em razão de propiciar a capacidade de avaliar a quantidade e as condições das plantas, em extensas áreas, de modo rápido, repetível e com fundamentação física".

O NDVI está associado com padrões de desenvolvimento e evolução das plantas e funciona como um indicador da consistência de biomassa verde (ROUSE et al., 1974), é calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do infravermelho próximo (ρ_{nir}) e vermelho (ρ_{red}), dividida pela soma destas mesmas faixas (ρ_{nir}) e (ρ_{red}), resultando em um valor no intervalo de -1 a +1. A premissa é a de que, quanto mais próximo de +1, maior será a presença de vegetação; e quanto mais próximo de -1, mais escassa é a vegetação, ou mesmo, a sua ausência (HUETE et al., 2002; JENSEN, 2009). É representado pela equação:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$$

Sendo:

ρ **NIR** = Reflectância na banda do Infravermelho próximo;

ρ **RED** = Reflectância na banda do vermelho;

Huete et al. (2002) expõe algumas vantagens e desvantagens que podem ser encontradas ao se trabalhar com o índice de vegetação NDVI. Este IV é bem sucedido na medida em que permite fazer comparações de sazonalidades e mudanças interanuais na evolução e mudanças na vegetação. Como desvantagens, o IV apresenta a não linearidade na correção de efeitos oriundos da influência de ruídos, como a radiação atmosférica e, também, alguns problemas com escala, referente à saturação que ocorre quando o nível de reflectância é elevado.

O EVI foi produzido para diminuir as influências da atmosfera e do solo de fundo do dossel no acompanhamento da vegetação, contendo um fator de ajuste para o solo (L) e dois coeficientes (C_1 e C_2), que descrevem o uso da banda do azul para correção da banda do vermelho quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis, melhorando a sensibilidade para altas biomassas (HUETE et al., 2002; JENSEN, 2009). É representado pela equação:

$$EVI = G * (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + C1 + \rho_{red} - C2 * \rho_{blue} + L)$$

Sendo:

G = fator de ganho, geralmente tem seu valor em 2,5;

C1 e C2 = coeficientes para ajuste das resistências dos efeitos dos aerossóis da atmosfera;

pNIR = reflectância na banda do infravermelho próximo;

pRED = reflectância na banda do vermelho;

pBLUE = reflectância na banda do azul;

L = fator de ajuste para os componentes abaixo do dossel.

Huete et al. (2002) destaca que o EVI foi desenvolvido para melhorar o sinal emitido pela vegetação, atuando no aprimoramento da sensibilidade em regiões de alta biomassa, reduzindo problemas com ruídos atmosféricos e com o fundo do dossel.

A fim de verificar o desenvolvimento temporal do ciclo fenológico da soja, assim como estruturar as alterações espaciais ocorridas, foram percorridas algumas etapas: (a) aquisição das imagens de satélites pelo site da *United States Geological Survey* (USGS); (b) importação das imagens para o *software* livre QGIS versão 3.16.6; (c) cálculo dos IVs através da calculadora raster e; (d) *layout* dos mapas com a observação espacial e temporal do desenvolvimento do cultivo de soja.

As imagens utilizadas neste estudo são provenientes do *MultiSpectral Instrument* (MSI) a bordo do satélite Sentinel-2, projetado pela *European Space Agency* (ESA), que tem como principal objetivo o monitoramento da vegetação. As imagens foram escolhidas de acordo com o menor nível de cobertura de nuvens para a área de estudo (Quadro 1).

Quadro 1: Características das imagens utilizadas no estudo.

Satélite	Plataforma	Sensor	Resolução Espacial	Data de aquisição
Sentinel-2	A	MSI	10 metros	11/11/2020
Sentinel-2	A	MSI	10 metros	01/12/2020
Sentinel-2	B	MSI	10 metros	05/01/2021
Sentinel-2	A	MSI	10 metros	23/01/2021

Fonte: USGS (2021). **Org.** O autor

O processamento digital das imagens e os cálculos dos IVs foi realizado em ambiente SIG, sendo utilizado o software QGIS versão 3.16.6. Foram instalados os programas complementares (plugins) *Semi-Automatic Classification*, para o pré-processamento das imagens adquiridas, fazendo a correção atmosférica; e o *Google Earth* para criação do polígono da área de pesquisa, auxiliando na elaboração do mapa de localização e de divisão dos talhões.

Para criação do mapa de localização da área de estudo, foram utilizados os dados vetoriais referente às malhas de divisão territorial a nível estadual e municipal, disponíveis no site do IBGE.

Ao importar as imagens para o software QGIS, criou-se um banco de dados georreferenciados e o programa *Semi-Automatic Classification* foi utilizado para realizar a correção atmosférica das imagens. Foram selecionadas apenas as bandas necessárias para fazer o cálculo dos IVs, banda 2 (Azul), banda 4 (vermelho) e banda 8 (infravermelho próximo).

Em seguida, utilizando a ferramenta *Google Earth*, criou-se um dado vetorial em formato *shapefile*, o qual foi utilizado como máscara para recortar as imagens apenas para a área em estudo com o propósito de evitar interferências nas etapas posteriores. Para a criação do *shapefile* da área de estudo, realizou-se a conversão das coordenadas geográficas padrão do QGIS para coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM).

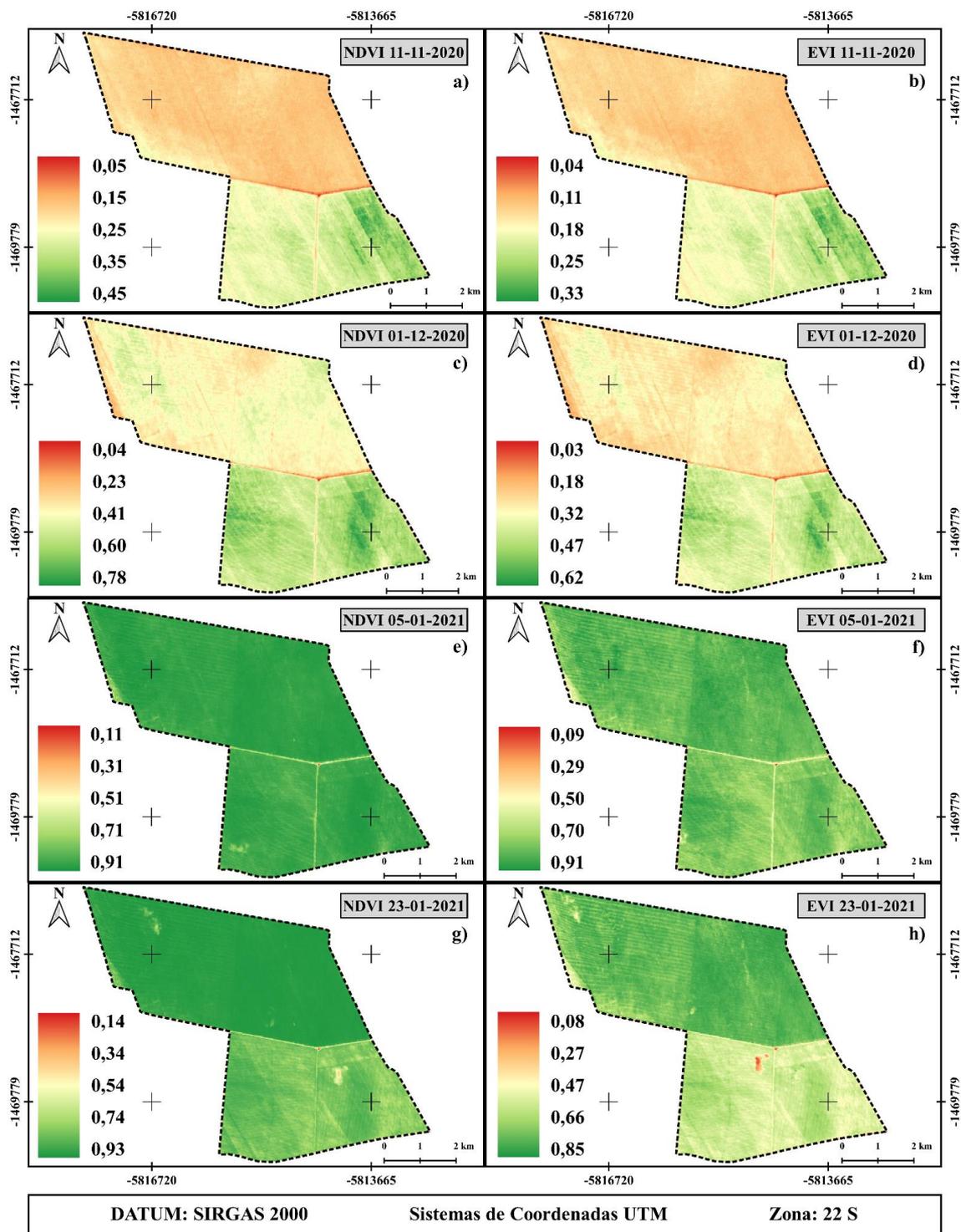
Por fim, criou-se os *layouts* de impressão dos mapas de acordo com a data das imagens, a fim de compreender melhor a variabilidade espacial e interferências no desenvolvimento da soja com a comparação dos dois IVs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os mapas foram organizados em duas colunas, sendo os de NDVI à esquerda e o EVI à direita, conforme as datas das imagens (Figura 02), a fim de destacar as alterações espaciais e temporais ocorridas. Para facilitar a leitura e identificar as áreas com possíveis déficits de desenvolvimento, a espacialização dos acontecimentos ocorridos no ciclo fenológico da soja foi descrita de acordo com os pontos cardeais: NO (Noroeste), NE (Nordeste), SE (Sudeste) e SO (Sudoeste).

As figuras 02a e 02b representam os mapas de NDVI e EVI, referentes ao dia 11/11/2020, correspondendo ao início do plantio. Ao observar os valores de reflectância, percebe-se que o plantio teve início no talhão localizado à SE, seguiu em direção ao talhão SO, posteriormente para o talhão NO e finalizando no talhão NE. Os dois IVs estão apontando em consenso onde se iniciou e terminou o plantio. Observou-se nessa data, que o NDVI realçou melhor o crescimento da planta, o que é corroborado por Risso et al. (2009) relatando que nesta fase, o NDVI consegue melhor discriminar a vegetação em relação ao solo, diferentemente do EVI.

Figura 02: Mapas de NDVI e EVI correspondentes a diferentes fases de desenvolvimento da soja



Org. O Autor.

Considerando que neste período está ocorrendo o início do ciclo de desenvolvimento vegetativo da soja, que geralmente inicia entre os meses de outubro e novembro, destaca-se a maior parte da área ainda com valores baixos dos IVs representando áreas de solo exposto. É neste período

que o NDVI encontra seus valores mais baixos de reflectância, conforme destacado por Huete et al. (2006).

Nota-se no talhão SE, uma tendência de valores de reflectância baixos quando se trata do período logo após a semeadura, nos estágios fenológicos VE (Emergência) e VC (Cotilédone desenvolvido), descrito por Adami (2010), considerando que uma maior parcela do terreno está com solo exposto, ou, com palhadas secas, como aponta Wagner et al. (2007). Da mesma forma, Schaparini et al. (2019) ressaltam que a resposta espectral do solo apresenta valores baixos de reflectância, assim como a cultura da soja sob influência de condições hídricas desfavoráveis.

De forma geral, os IVs seguem uma predisposição semelhante na resposta espectral dos alvos, sendo o NDVI com taxa de reflectância mais alta em relação ao EVI, como descrito por Adami (2010). Nesse sentido, é possível notar que os IVs conseguem indicar o sentido que as linhas de plantio seguiram, evidenciando áreas onde há menores valores de reflectância, prováveis déficits de evolução da planta.

Referente ao dia 01/12/2020 (Figura 02c e 02d), nota-se que tanto o NDVI quanto o EVI mostraram baixos valores de reflectância nos talhões NE e NO das imagens, evidenciando que o intervalo de plantio entre os talhões SO/SE e NE/NO reflete na dinâmica de crescimento da cultura, considerando os seus respectivos ciclos. Da mesma forma, nos dois IVs, nesta data, começa a ser possível identificar as linhas que indicam as curvas de nível nos talhões SO e SE das imagens, em formato circular, com menor índice de reflectância. Além disso, é perceptível que os dois IVs passaram a ter mais contraste na taxa de reflectância, com o NDVI tendo valores mais altos, como esperado.

Outra característica em destaque, encontra-se ao centro do talhão SE com NDVI e o EVI tendo níveis de reflectância similares. No entanto, ao comparar com ponto central entre os talhões SO e SE e a faixa inferior destes talhões, constata-se que pelo EVI é possível encontrar mais disparidades de evolução da soja.

A caracterização dessas áreas com baixos valores de reflectância, destaca as diferentes funcionalidades do NDVI em relação ao EVI. Enquanto o NDVI é mais sensível em captar a reflectância dos pigmentos da planta, recebendo pouca influência do fundo do dossel, o EVI capta a reflectância da planta interagindo com o solo (HUETE et al., 2002; JENSEN, 2009), destacando melhor as áreas em desconformidades.

Nesta fase de evolução da planta, conforme relatado por Santi et al. (2012) áreas com maiores discrepâncias na evolução das plantas podem estar relacionadas com a capacidade de infiltração de água no solo, sendo que, áreas com solos mais compactados (geralmente, onde ocorre a passagem de maquinários) tendem a sofrer mais com o desenvolvimento da soja em comparação a solos menos compactados.

Nas faixas laterais dos talhões SE e NO, o mapa de EVI destacou áreas com maiores diferenças de evolução da planta. Nestas áreas, o NDVI se mostra menos preciso para a identificação de áreas com possíveis diferenças no desenvolvimento da planta quando comparado ao EVI. Também é possível identificar áreas de contraste no mapa de EVI em relação ao NDVI em todos os talhões que tiveram o plantio nos mesmos dias. Referente ao EVI, nota-se uma pequena mancha localizada no talhão SE com baixo valor da resposta espectral da planta, se tratando de um sombreamento causado por nuvem.

Santi (2007) relata que a variabilidade espacial discriminando o crescimento da planta está correlacionada com a composição do solo, junto aos corretivos e fertilizantes usados para elevar ao máximo a produção de grãos. Nesse sentido, as diferenças nos valores de reflectância entre os IVs expõe que o crescimento da soja pode estar relacionado, dentre outros fatores, com elementos que compõe o solo e ao processo de fertilização, destacando-se a importância do monitoramento das lavouras a fim de corrigir possíveis problemas que possam afetar a produção.

Os mapas de NDVI e EVI referentes ao dia 05/01/2021 (Figura 02e e 02f) demonstram que o NDVI atinge seus valores mais altos na referida data, destacando certa homogeneidade, com alguma redução de reflectância nos talhões NO, SE e SO. O índice EVI apresentou valores mais baixos em relação ao NDVI, destacando melhor as áreas heterogêneas. Assim, o EVI apresentou uma melhor resposta na discriminação da cultura, realçando os talhões NO, SE e SO nos quais podem estar ocorrendo maiores déficits de evolução na cultura da soja.

Silva et al. (2017) observaram que o NDVI ao se aproximar dos valores mais altos de reflectância, demonstra uma vegetação extremamente densa. De acordo com Adami (2010), quando a soja entra em sua fase final de crescimento, com a copa da planta praticamente desenvolvida, o NDVI tende a se saturar e torna-se difícil aferir problemas de desenvolvimento a partir destas imagens. Além disso, pode-se considerar também o período com maior quantidade de chuvas na região, em que o cultivo de grãos como a soja, obtém os valores mais altos de NDVI (WAGNER et al., 2007).

Outra característica observada é uma pequena mancha localizada no talhão SO, caracterizada por uma nuvem na imagem de NDVI e seu sombreamento no EVI. Devido a utilização da banda do azul para a correção de interferência da atmosfera no EVI, este índice consegue captar melhor a reflectância da vegetação, ao contrário do NDVI que não possui correção para a atmosfera, a qual interfere nos valores de reflectância (HUETE et al., 2002).

Referente aos índices NDVI e EVI do dia 23/01/2021 (Figura 02g e 02h), percebe-se que há uma distinção entre os valores de reflectância para os dois IVs devido ao dessecamento da planta, iniciado pelos talhões SE e SO, preparando-os para colheita. É perceptível que o NDVI é mais lento na perda de valores de reflectância, devido a sua sensibilidade em relação a clorofila e outros fatores que influenciam na absorção da radiação solar na banda do vermelho (HUETE et al., 2002).

Em relação ao NDVI, nota-se nos talhões NO e NE, exceto em uma pequena área no talhão NO, que a vegetação alcança o nível máximo de reflectância aproximando do estado de saturação, dificultando assim a análise de pontos com divergências. Em contrapartida, o EVI demonstra maior capacidade em diferenciar áreas com menores índices de desenvolvimento, sendo seu uso mais recomendado para fase de desenvolvimento máximo da soja, o que é corroborado por Risso et al. (2009) e Risso et al. (2012).

Ao analisar os mapas de NDVI, é possível verificar um padrão de desenvolvimento da vegetação até a sua fase final de crescimento (Figura 02e), em que este índice chega ao nível de saturação e perde capacidade de aferir diferenças na fenologia da soja. Estas diferenças voltam a ser perceptíveis nas imagens de NDVI, nos talhões SO e SE (Figura 02g), quando inicia o processo de maturação da planta para colheita. Da mesma maneira, Silva et al. (2017) destacam que o NDVI atinge seu nível de saturação, mostrando a lavoura de forma homogênea, quando a soja chega ao máximo de seu desenvolvimento, no estágio VN (ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida).

Apesar de seguirem padrões similares, os mapas de EVI a partir da fase final de crescimento (Figura 02f), demonstram uma melhor diferenciação dos valores de reflectância com o desenvolvimento da soja em relação ao NDVI. Por se tratar de um índice que interage com o fundo do dossel em regiões com alta biomassa, a utilização do EVI torna mais evidente a discriminação de áreas indicando potencialidades divergentes na produção de grãos, descrito também por Silva et al. (2017).

As diferenças dos níveis de reflectância vistas durante o período fenológico da soja podem estar relacionadas à composição do solo, fertilização, controle de pragas, juntamente com as condições climáticas, entre outros fatores. Nesse sentido, Santi (2007) expõe sobre os fatores que influenciam no desenvolvimento da planta, com destaque para a qualidade e quantidade de matéria orgânica no solo, os atributos químicos de correção do solo, fertilizantes e a capacidade de retenção de água no solo.

Fontana et al. (1992) salientam que entre os problemas que mais afetam a produção agrícola, o déficit hídrico é o mais prejudicial, pois afeta toda cadeia de desenvolvimento da planta, reduzindo o processo de fotossíntese pela menor evolução de área foliar, assim como os demais atributos relacionados ao solo.

Nos anos em que a lavoura sofre com o baixo volume de chuva, a tendência é ocorrer uma maior variabilidade espacial, acarretando um baixo potencial produtivo de soja (AMADO et al., 2007), como também na dinâmica do perfil temporal relacionados aos IVs durante o ciclo fenológico da soja (SCHAPARINI et al., 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices de vegetação NDVI e EVI mostraram-se aptos para o acompanhamento do ciclo fenológico da soja, considerando que as imagens e o software utilizados são adquiridos de forma gratuita. Considerando a resolução espacial de 10 metros das imagens utilizadas, os mapas gerados demonstraram diferenças que podem indicar problemas durante a fase de desenvolvimento da soja, afetando a sua produção.

O EVI foi o índice que melhor realça os valores obtidos ao longo do período de crescimento da planta, principalmente no final do estágio reprodutivo da soja, com a copa da planta toda fechada. Nesse período, o NDVI não obteve boa qualidade em destacar áreas com deformidades, por ser um índice sensível à clorofila, tende a saturar mais rápido, não tendo boa discriminação onde a área plantada apresenta homogeneidade em relação à cultura, em suas respectivas fases de desenvolvimento.

Ao utilizar imagens de satélites em estudo de monitoramento da vegetação, o principal obstáculo é a presença de nuvens. Por se tratar do período chuvoso na região, foi observado em algumas imagens, a presença de nuvens em pequenas partes da área analisada. Para minimizar esse efeito atmosférico, a utilização conjunta dos IVs mostrou-se uma combinação satisfatória na obtenção de resultados, sendo o EVI mais sensível ao sombreamento e o NDVI à cobertura de nuvens.

O estudo demonstrou a capacidade dos IVs utilizados no monitoramento da cultura da soja durante seu período de desenvolvimento e a importância do sensoriamento remoto no monitoramento agrícola, como uma ferramenta que pode auxiliar no aumento da produção sem haver necessidade de expansão de novas áreas. Nessa perspectiva, os mapas gerados podem ser aplicados em diferentes áreas de agricultura, com a identificação de locais de atenção no cultivo, facilitando por exemplo, a aplicação de fertilizantes ou defensivos agrícolas em áreas específicas.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens MODIS. São José dos Campos: INPE, 2010.
- AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, ago. 2007.
- BERNARDI, A. C. C. et al. Agricultura de precisão: Resultados de Um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- COELHO, J. P. C.; SILVA J. R. M. Agricultura de precisão. Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, 2009.
- DOMINGUES, M. S. et al. A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. *Revista Presença Geográfica*, v. 1, n. 1, 2014.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), EMBRAPA Soja. Brasília. Banco de dados, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em: 17 de agos. de 2021.

FONTANA, D. C. et al. Alterações micro meteorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 27, n. 5, p. 661-669, 1992.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

HUETE, A. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, n. 59, p. 440–451, 1997.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, v. 83, p. 195-213, 2002.

HUETE, A. et al. Amazon rainforests greenup with sunlight in dry season. Geophys. Res. Lett, v. 33, n.6, 2006.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=22269> Acesso em: 17 agos. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/>. Acesso em: ago. 2021.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas. Rio de Janeiro: IBGE, 2019, p.179

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

NEUMAIER, N. et al. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, p. 19-44, 2000.

NOVO, E. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. Editora Blucher, 2010.

RISSE, J. et al. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 379-386.

RISSE, J. et al. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.47, n.9, p.1317-1326, 2012.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: 3º ERTS Symposium, NASA, 1974, p. 309–317.

SANTI, A. L. Improvement of the handling of the ground using the tools of the precision agriculture. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.

SCHAPARINI, L. P. et al. Análise comparativa entre índices de vegetação e sua relação com o balanço hídrico em soja. Agrometeoros, Passo Fundo, v.27, n.1, p.183-190, 2019

SILVA, D. V. R. et al. Variabilidade espacial de NDVI e EVI no estágio vegetativo da soja. Revista Agropampa, v. 2, n. 2, 2017.

TRENTIN, C. B; TRENTIN, A. B. Fenologia das pastagens no bioma Cerrado e sua relação com variáveis meteorológicas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, 28 a 31 de maio de 2017, INPE, Santos - SP, Brasil

USGS - United States Geological Survey. Earth Explorer. United States, 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: ago. 2021.

WAGNER, A. P. L. et al. de Área de Soja no Rio Grande do Sul Utilizando Imagens NDVI/MODIS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26EarthExplorer (usgs.gov) abril 2007, INPE, p. 457-464.