

# USO DO ÍNDICE NDVI PARA DETERMINAÇÃO FENOLÓGICA DA CULTURA DA SOJA

Vitória da Silva Estevam<sup>1</sup>  
Nívea Patrícia Ribeiro Reges<sup>2</sup>  
Marcos Paulo dos Santos<sup>3</sup>

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor de soja mundial, com destaque para a produção nos estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás. Ano após ano avanços veem sendo obtidos na produtividade brasileira. Esses avanços estão diretamente vinculados ao desenvolvimento de tecnologias de manejo e monitoramento das áreas de produção no país. Neste sentido técnicas de sensoriamento remoto para aquisição de informações de um determinado objeto sem a obrigação do contato direto têm sido amplamente integradas à agricultura, objetivando o monitoramento das lavouras e otimização no uso de agrotóxicos e insumos. Dentre os dados adquiridos por meio do sensoriamento remoto, estão os índices de vegetação que tem demonstrado boa relação com características fisiológicas e biofísicas da vegetação. Este tudo teve como objetivo avaliar a variabilidade do NDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada; *tradução adaptada*) nos diferentes estádios de crescimento de cultivares de soja de ciclo médio e precoce. Foram utilizados dados de NDVI refletidos do dossel de plantas de soja na safra 2019/2020 cultivadas no sudeste mato-grossense, obtidos através da plataforma Field Focus. A partir dos dados obtidos determinou o valor médio de referência para cada dia após a emergência das plantas, durante todo o ciclo das cultivares. Para comparação da variação do NDVI nos estádios fenológicos de cada cultivar foi construído o intervalo com 95% de confiança para o valor médio do NDVI. A variação do NDVI foi dependente do estágio e da cultivar, mostrando-se sensível para cultivares de mesmo ciclo. Cultivares de ciclo precoce apresentam maiores valores de NDVI nos estádios iniciais e em um espaço de tempo menor, em relação às cultivares de ciclo médio, que possuem um ciclo maior, consequentemente, estádios iniciais com maiores durações. Essas informações permitem concluir que o monitoramento da fenologia usando o NDVI deve ser específico por cultivar, independentemente do ciclo.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto; *Glycine max* L.; Fenologia.

## USE OF THE NDVI INDEX FOR PHENOLOGICAL DETERMINATION OF SOYBEAN

### ABSTRACT

Brazil is the largest producer of soybean in the world, with an emphasis on production in the states of Mato Grosso, Paraná and Goiás. Year after year advances have been achieved in Brazilian productivity. These advances are directly linked to the development of management and monitoring technologies for production areas in the country. In this sense, remote sensing techniques for acquiring information about a particular object without the obligation of direct contact have been largely integrated into agriculture, aiming at monitoring crops and optimizing the use of pesticides and inputs. Among the data acquired through remote sensing, there are the vegetation indices that have shown a good relationship with the physiological and biophysical characteristics of the vegetation. This was all aimed at evaluating the variability of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in the different growth stages of medium and early cycle soybean cultivars. NDVI data reflected from the canopy of soybean plants in the 2019/2020 crop grown in the southeast of Mato Grosso, obtained through the Field Focus platform, were used. From the data obtained, the average reference value was determined for each day after the emergence of the plants, during the entire cycle of cultivars. To compare the NDVI variation in the phenological stages of each cultivar, the 95% confidence interval for the mean NDVI value was constructed. The NDVI variation was dependent on the stage and cultivar, being sensitive for cultivars of the same cycle. Early cycle cultivars have higher NDVI values in the initial stages and in a shorter time, compared to medium cycle cultivars, which have a longer cycle, therefore, initial stages with longer durations. This information allows us to conclude that the monitoring of phenology using NDVI must be specific for cultivar, regardless of the cycle.

**Keywords:** remote sensing; *Glycine max* L.; Phenolog.

Recebido em 30 de janeiro de 2023. Aprovado em 24 de março de 2023

<sup>1</sup> Centro Universitário UniAraguaia. E-mail: vseestevam@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma e Mestranda em Agronomia no Departamento de Solo e Água da Universidade Federal de Goiás. E-mail: niveapaty@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor EBTT do Departamento de Ciências Agrárias/Fitotecnia do IFMS - Nova Andradina. E-mail: marcospaulo\_agronomo@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo atualmente e sua produção na última safra (2021/2022) totalizou 125.549.800 toneladas em uma área plantada de 41.492.000 hectares, com produtividade média de 3.026 kg.ha<sup>-1</sup> (Conab, 2022). Os maiores produtores foram os estados do Mato Grosso com cerca de 41 milhões de toneladas, Goiás que produziu cerca de 17 milhões e Paraná com um pouco mais de 12 milhões. Os três principais estados produtores, são responsáveis por mais de 55% da produção brasileira segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2022).

A caracterização dos estádios fenológicos da soja é fundamental para o conhecimento e atuação para um manejo eficiente. Distintas propostas foram elaboradas para descrever o estádio fenológico da soja. Existe a metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento, que consiste de uma terminologia única, objetiva, precisa e universal, que é proposta por Fehr & Caviness (1977), onde é dividido estádio vegetativo (germinação, emergência crescimento da parte aérea e das raízes) e estádio reprodutivo (florescimento, frutificação e maturação), representadas pelas letras maiúsculas V e R, respectivamente, e é a mais utilizada no mundo inteiro (Neumaier et al., 2000). Existe também a metodologia adaptada de Fehr & Caviness, que foi elaborada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), onde o referencial, no vegetativo, é a folha trifoliolada (Farias et al., 2007).

A observação da fenologia de uma espécie é fundamentada em um sistema de informações composto por letras e números, que identifica cada fase de evolução e desenvolvimento, denominada “escala fenológica”. Acompanhando a fenologia da soja, não só é levado em conta a “idade fisiológica”, mas também a “idade cronológica”, que apresenta um maior nível de precisão em relação às condições ambientais e de manejo. É muito importante ressaltar, na avaliação da fenologia, que as influências de todos os fatores afetam o desenvolvimento e desempenho da cultura. Por isso Câmara (2006) enfatiza que a fenologia é uma ferramenta de grande utilidade para auxiliar as técnicas de produção.

Com algumas exceções, ano após ano, significativos avanços têm sido obtidos na produtividade brasileira. Avanços esses que estão diretamente vinculados ao desenvolvimento de melhores equipamentos e tecnologias, insumos agrícolas, técnicas de manejo e cultivares adaptadas às mais diversas condições ambientais, pensando o Brasil como uma extensão continental.

Buscando uma melhor avaliação das condições da vegetação, dada a importância da soja para o Brasil, técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente integradas à agricultura. Estas técnicas visam auxiliar o monitoramento das lavouras, proporcionar a otimização no uso de agrotóxicos e insumos, o que pode contribuir para a obtenção de maiores produtividades, maior renda para o produtor e menor impacto ao meio ambiente. O sensoriamento remoto fundamenta-se no princípio de aquisição de informações de um determinado objeto sem a obrigação do contato direto com ele. Assim sendo, a coleta de dados é otimizada, proporcionando maior confiança das informações e velocidade na obtenção das mesmas (Tullio & Oliveira, 2018).

Dentre os dados adquiridas por meio do sensoriamento remoto, estão os índices de vegetação. Segundo Almeida & Fontana (2009), os índices de vegetação, definidos em valores numéricos, resultam da combinação de dois ou mais comprimentos de onda e permitem a detecção de presença e estado da vegetação em questão. Índices de vegetação demonstram boa relação com características fisiológicas e biofísicas da vegetação (Asrar et al., 1985).

Um dos principais índices de vegetação utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973). O acompanhamento de safras por meio do NDVI tem sido realizado com maior frequência nos últimos anos. Esse índice apresenta forte relação

com alterações nas características biofísicas e fisiológicas da vegetação, como a fitomassa, condições hídricas, índice de área foliar, evapotranspiração, anomalias e produtividade (Asrar, Myneni, & Kanemasu, 1989; Crusciol et al., 2012; Huete et al., 2002). Crusciol et al. (2013) ressaltam a eficiência do NDVI no gerenciamento do ciclo produtivo de plantas de soja.

Segundo Zhang et al. (2003), a emissão de folhas tende a seguir um padrão, com um rápido período de crescimento, seguido por um breve período estável e um período de máxima área foliar. Variação nos regimes climáticos, manejo do solo, senescência e crescimento resultam em uma diferença complexa na fenologia da planta. Desse modo, o sensoriamento remoto precisa ser suficientemente flexível para permitir tal variabilidade. Assim, o NDVI pode ser empregado para entendimento da variação fenológica em culturas de interesse econômico, como é o caso da soja.

Diante do exposto, a hipótese lançada neste trabalho foi que valores de NDVI podem ser utilizados para a determinação dos estádios fenológicos vegetativos na cultura da soja. Partindo disso, as leituras dos índices médios podem auxiliar em práticas de manejo mais eficientes, dentro do prazo correto, determinado por cada aplicação dos insumos agrícolas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o perfil espectral temporal do dossel de cultivares de soja de ciclo médio e precoce, frente aos principais estádios fenológicos, em condições de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido com dados provenientes da safra 2019/20 de fazendas produtoras de soja, milho e algodão, atendidas pelo Grupo Sinagro, localizadas no sudeste mato-grossense, com coordenadas -15.13419, -53.898411, -15.229616, -53.912659, -15.221334, -54.250832, -15.151423, -54.139252 e -14.996069, -54.142342, totalizando uma área cultivada de 3.009,93 ha. O solo da região está descrito conforme a Tabela 1 e o clima é classificado como tropical com inverno seco, Aw segundo a Köppen (Alvares et al., 2014).

**Tabela 1.** Fazendas utilizadas e sua respectiva textura de solo.

Fazenda	Solo	Argila (g)
Caroline	Argiloso	400 – 600
Fidalga	Argiloso	500 – 550
Lagoa Encantada	Arenoso	>550
Progresso	Textura	150 – 250
Rica I	Argiloso	350 – 500

### Coleta de Dados

Para obtenção dos dados espectrais de NDVI foi utilizada a plataforma Field Focus. Essa plataforma gera os dados de NDVI, curva de produtividade, previsão do tempo semanal, calendário de pulverização, histórico de precipitação, histórico de informações da área cadastrada e curva de produtividade.

Foram escolhidas três variedades de soja, das quais duas são consideradas de ciclo médio (TMG 2381 IPRO e TMG 4182 IPRO), com duração de  $\approx$  110 dias do período entre a emergência e a colheita, e uma de ciclo precoce (TMG 7062 IPRO), com duração de  $\approx$  90 dias

do período entre a emergência e a colheita. Maiores detalhes dos estádios fenológicos das cultivares utilizadas neste estudo estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Estádios fenológicos, duração, denominação e descrição morfológica de cada estágio para as cultivares de ciclo médio (TMG 2381 IPRO e TMG 4182 IPRO) e de ciclo precoce (TMG 7062 IPRO). Adaptada de Farias et al., 2007.

Estádio	Duração do estágio		Denominação	Descrição
	Ciclo médio	Ciclo precoce		
<sup>1</sup> VE	7	7	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	5	5	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	5	5	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	5	5	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	5	5	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	5	5	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	5	5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	5	5	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V7	5	-	Sétimo nó	Sexta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V8	5	-	Oitavo nó	Sétima folha trifoliolada completamente desenvolvida
<sup>2</sup> R1	5	5	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal)
R2	7	5	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R3	10	8	início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	7	5	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	15	13	Início do enchimento do grão	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	8	5	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R7	7	7	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura
Ciclo	≈ 110	≈ 90	-	-

Valores médios diários do índice NDVI (Equação 1) foram obtidos para 21 talhões, coletados pelos satélites Sentinel e Landsat8, no período das fases fenológicas de cada uma das cultivares analisadas. Cada satélite passa, variando por região, em um intervalo de 3 a 20 dias, sendo Sentinel e Landsat8 5 e 15 dias, respectivamente.

NDVI é calculado da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = \text{IVP} - \text{Vermelho}$$

Equação 1

IVP + Vermelho

em que:

Vermelho = banda vermelha (670 nm); IVP = infravermelho próximo (760 nm).

A representação esquemática da reflexão do NDVI em áreas de produção de soja pode ser vista na Figura 1.

**Figura 1.** Vista aérea de imagem de satélite da Fazenda Vale Verde- MT, 2020



#### Análise dos Dados

Modelos de regressão linear entre os DAE da soja e os valores de NDVI foram ajustados a fim elucidar a variação deste índice com o desenvolvimento vegetativo da cultura. Concomitantemente as leituras de DAE registrou-se os estádios de crescimento da cultura para confecção de faixas de variação do NDVI em cada estágio. Para comparação da variação do NDVI nos estádios fenológicos de cada cultivar empregou-se a estatística do intervalo de confiança (equação 01) para o valor médio do NDVI ao nível de 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas, bem como os gráficos foram confeccionados com o auxílio do Excel (Office 365).

$$\text{Intervalo de Confiança} = \text{Média} \pm \text{Erro} \quad (01)$$

Em que: Média equivale ao somatório das observações / número de observações para cada nível de cultivar e estágio fenológico; Erro =  $Z_{\alpha/2}$  (valor bilateral da distribuição normal padronizada para 95% de confiança = 1,96) \* ( $\sigma$  [desvio padrão]/ $\sqrt{n}$ ) para cada nível de cultivar e estágio fenológico.

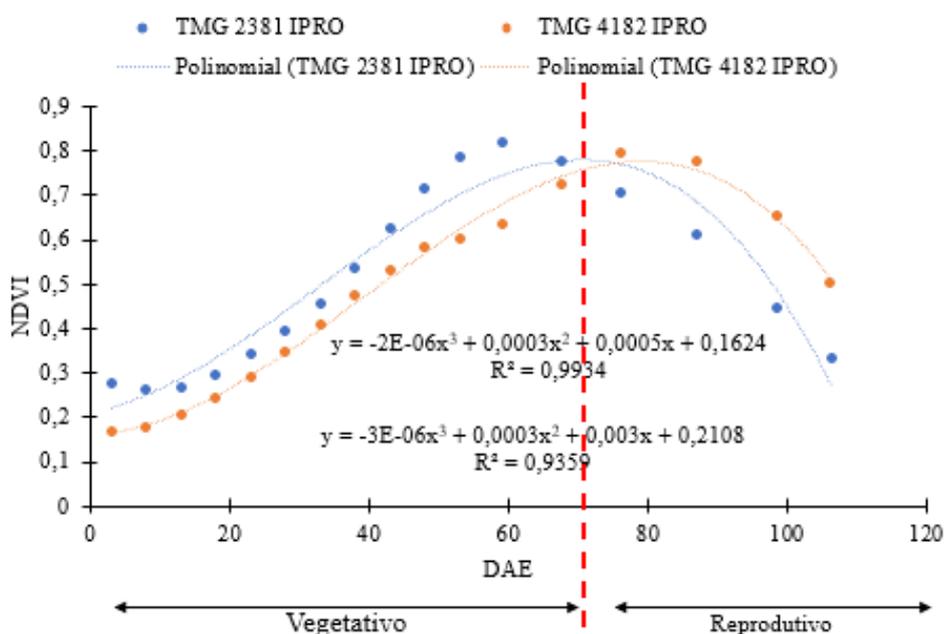
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultivar TMG 2381 IPRO, de ciclo médio, observou-se tendência de elevação do NDVI até os 60 dias após a emergência [DAE] (Figura 2), onde a taxa de incremento de

biomassa seca (BS) aumenta durante os estádios vegetativos de desenvolvimento até R1 (Procedi, 2020). Após os 60 DAE, notou-se a queda gradativa do índice de NDVI, aproximadamente quando a planta inicia o ciclo reprodutivo (R). Após R2, a taxa de acúmulo diário de BS é constante e decrescente (R6) (Procedi, 2020).

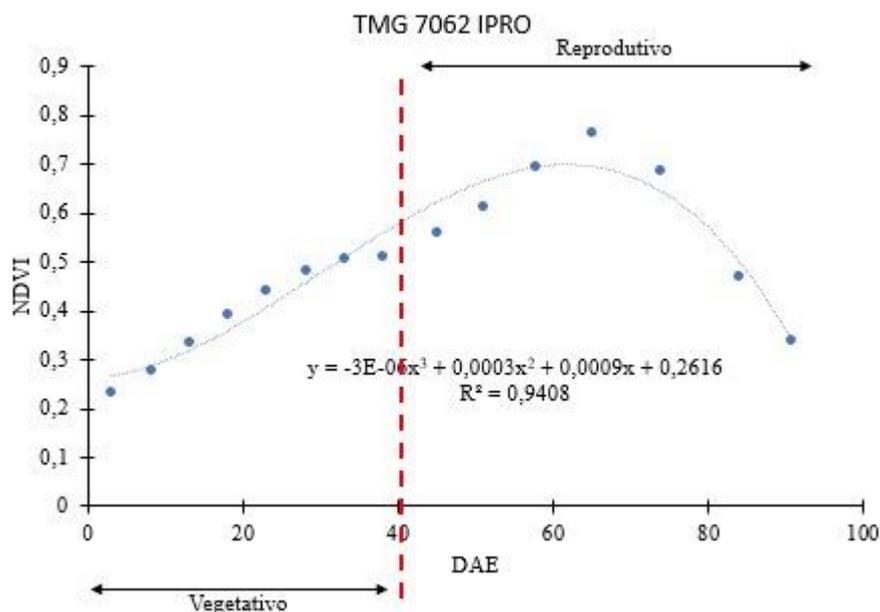
Para a cultivar TMG 4182 IPRO, também de ciclo médio, observou-se tendência de elevação do NDVI até os 75 DAE (Figura 2). Após os 75 DAE, notou-se a queda gradativa do índice de NDVI, aproximadamente, quando a planta entra no ciclo reprodutivo (R).

**Figura 2.** Variedades TMG 2381 IPRO e TMG 4182 IPRO com seus respectivos índices de NDVI em relação ao DAE na safra 2019/20



Para a cultivar TMG 7062 IPRO, de ciclo precoce, notou-se a crescente do índice até aproximadamente 40 DAE (Figura 3). Como o ciclo da cultivar precoce é menor (Tabela 2) a deposição de folhas e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa foliar ocorre mais rápido. Aos 40 DAE esta cultivar entra no ciclo reprodutivo (R), bem mais cedo que as de ciclo médio, que entram no reprodutivo  $\approx$  aos 65 DAE. Contudo, observou-se que, diferentemente das cultivares de ciclo médio, o decréscimo do NDVI na cultivar precoce não ocorreu imediatamente após a entrada no período reprodutivo. Essa característica enfatiza os ganhos do melhoramento genético com “Stay green” em cultivares precoces, fazendo que os processos metabólicos foliares perdurem por períodos mais prolongados na fase reprodutiva. Isso é importante, pois, favorece a continuidade da atividade fotossintética no período onde a força dos drenos (vagens e sementes) é atenuada.

**Figura 3.** Cultivar TMG 7062 IPRO e seu NDVI em relação ao DAE na safra 2019/20



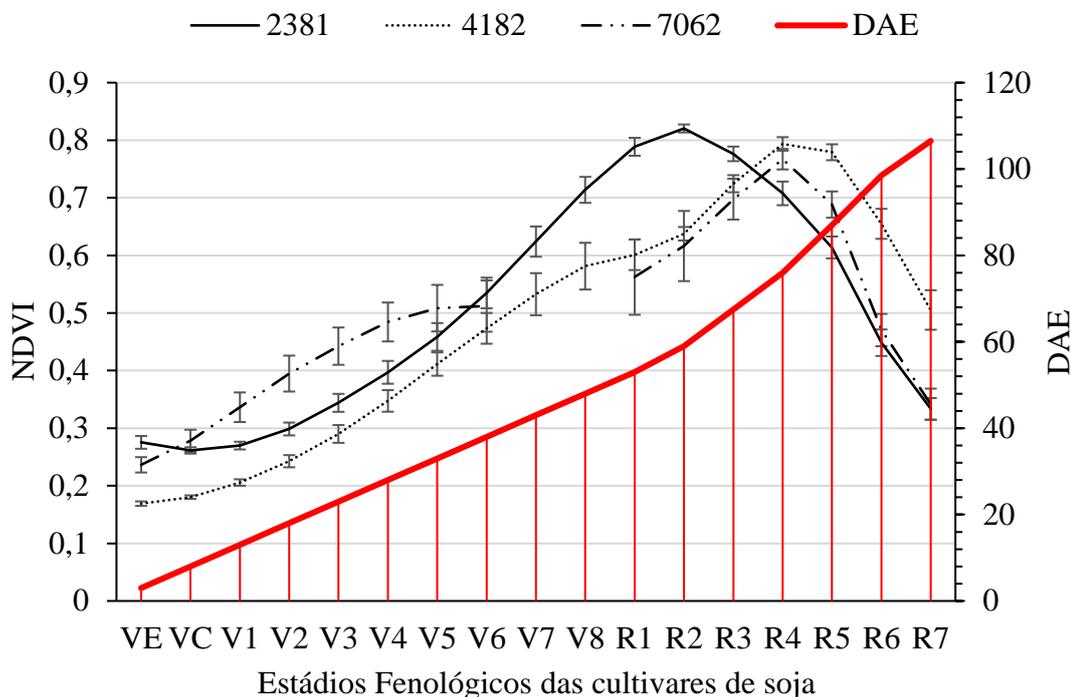
Como o NDVI acompanha a emissão foliar, biomassa verde, índice de massa foliar verde e conteúdo de clorofila (Crusciol et al., 2013), o índice é crescente, em ambas cultivares, durante o ciclo vegetativo e decrescente para o ciclo reprodutivo, onde o comportamento da planta é exclusivo para o florescimento e enchimento dos grãos.

Segundo Neumaier et al. (2000), os estágios reprodutivos abordam quatro fases distintas, o florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e a maturação da planta (R7 e R8). No estágio de R6, denominado estágio de vagem cheia, é onde a planta apresenta estabilidade no seu crescimento em relação à estrutura (Neumaier et al., 2000). O período em que a cultura apresenta maiores alturas e maiores índices foliares, é no final do ciclo vegetativo (V) e início do reprodutivo (R), coincidindo com o consumo mais elevado de água (Farias et al., 2007).

As cultivares de soja utilizadas neste trabalho são de crescimento determinado, ou seja, após o início do florescimento, a planta cresce pouco e não mais ramifica (Neumaier et al., 2000). Como podemos observar, a curva de NDVI para ambas cultivares presentes neste estudo são crescentes em V e decrescentes em R, sendo que para a cultivar precoce, isso ocorre mais tardiamente no período reprodutivo.

A variação do NDVI foi diferente entre as cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 4182 IPRO e TMG 7062 IPRO tanto nos estádios vegetativos quanto nos estádios reprodutivos (Figura 4). O crescimento do NDVI foi mais lento e contínuo para as cultivares de ciclo médio em comparação a cultivar de ciclo precoce. Isso decorre do fato de que o ciclo fenológico das cultivares de ciclo médio é mais longo que o da cultivar de ciclo precoce (Tabela 2).

**Figura 4.** NDVI das cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 4182 IPRO e TMG 7062 IPRO, seus DAE e os estádios fenológicos da soja, da safra 2019/20



Percebe-se que há necessidade de uma averiguação pontual para cada cultivar, pois o NDVI varia de acordo com o ciclo da cultivar (Rissini et al., 2015), e também sofre influência segundo o estágio fenológico que a planta se encontra.

## CONCLUSÃO

A variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é dependente do estágio e da cultivar, mostrando-se sensível para cultivares de mesmo ciclo. Cultivares de ciclo precoce apresentam maior NDVI nos estádios iniciais e em um espaço de tempo menor, em relação às cultivares de ciclo médio, que possuem um ciclo maior, consequentemente, estádios iniciais com maiores durações.

Essas informações sugerem que monitoramento da fenologia usando o NDVI deve ser específico por cultivar, independentemente do ciclo.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. S. de.; FONTANA, D. C. Desempenho dos índices de vegetação NDVI e PVI para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, p. 25-30, INPE, v. 53, n. 9, 2009. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/leaa/arquivos/Artigos%20em%20Eventos%20Científicos/Almeida%20Fontana%20SBSR%202009.pdf>> Acesso em: 26 de abril de 2023.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ASRAR, G.; KANEMASU, E. T.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J. Estimation of total aboveground phytomass production using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 211 – 220, 1985. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90095-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90095-1)

ASRAR, G.; KANEMASU, E. T. Estimation of plant canopy attributes from spectral reflectance measurements, Cap. 7. In: G. Asrar (Ed.), **Theory and applications of optical remote sensing**, p. 252-296. New York, 1989. Disponível em: <https://eurekamag.com/research/002/100/002100130.php>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

CÂMARA, G. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão Agrícola**, n. 5, p. 63-66. Piracicaba, 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em: 01 de dezembro de 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (2022). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.10 – Safra 2022/23, n. 3 – Terceiro Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

CRUSCIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. F. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; PROCÓPIO, S. O.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; FARIAS, J. R. B. Influência do horário das medições nos valores de NDVI. In: VI Congresso Brasileiro de soja. Cuiabá, 2012. **Resumos...** Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/928534/1/127s323.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

CRUSCIOL, L. G. T.; NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo. **VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**. p. 87-91. Londrina, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88110/1/NDVI-de-estadios-de-desenvolvimento-da-soja-BRS-284-em-condicoes-de-campo.pdf>. Acesso em: 03 de dezembro de 2020.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. **Circular Técnica** 48. Embrapa Soja. Londrina, 2007. Disponível em:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/83024475.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 2020.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, 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. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E. R. (Ed.) Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/456809/1/ID-12906.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2020.

PROCEDI, A. Estágios de desenvolvimento da cultura da soja. **Mais Soja**. Santa Maria, 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/estagios-de-desenvolvimento-da-cultura-da-soja-resumo/>>. Acesso em 08 de dezembro de 2020.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. 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: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140686>.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. In: EarthResourcesTechnologySatellite-1 Symposium, 3, 1973, Washington, D. C. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973, v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351). Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>> . Acesso em: 26 de abril de 2023.

TULLIO, L.; OLIVEIRA, A. C. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2**. 2 ed. Belo Horizonte: Atena Editora, 2018. 283 p. DOI: 10.22533/at.ed.543180210.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. F.; GAO, F.; REED, B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9).