

AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E GNDVI CORRELACIONADOS COM MAPA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

ROHSIG, Rafael¹
BARBOSA, Kendy Lucas Yamada¹
CORBARI, Sanderson¹
MORAIS, Maria Poliana¹
HERGESSELL, Robson¹
ROSA, Helton Aparecido²

RESUMO

A cultura da soja possui uma representatividade muito grande no cenário mundial, tanto no segmento de commodities, bem como fonte de proteína vegetal. Com isso, visualiza-se uma demanda crescente da produtividade, assim como, informações sobre o desenvolvimento da cultura de forma remota. O objetivo da pesquisa foi correlacionar os dados de colheita obtidos através de um mapa de colheita com índices de vegetação (IV), calculados a partir de imagens do satélite Sentinel-2. A área utilizada está localizada no município de Maripá no distrito de Candeia, altitude de 400 m e possui 106,8 ha. A produtividade média do talhão foi de 2,98 ton ha⁻¹. Para a elaboração dos mapas de IV's, utilizou-se imagens gratuitas do satélite Sentinel-2 na plataforma "Sentinel Hub", em diferentes datas do desenvolvimento da cultura da soja, sendo aos 54, 79, 94 e 114 dias após a semeadura (DAS) e com elas gerou-se os IV: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada Com Banda Verde (GNDVI), utilizando o software QGIS. Para correlação entre NDVI e produtividade, o melhor resultado foi de 0,79, obtido com 114 DAS. Na correlação GNDVI e produtividade os resultados que se destacaram ocorreram aos 94 DAS e 114DAS, sendo de 0,73 e 0,78 respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto; Sentinel-2; Imagens de satélite.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há diversos desafios relacionados à produção de alimentos, sendo essencial buscar formas de aumentar os índices de produtividade das culturas agrícolas. Nesse contexto, torna-se fundamental que os produtores tenham acesso a informações cada vez mais rápidas e precisas. Uma tecnologia que se destaca nesse cenário é o sensoriamento remoto, que coleta dados e permite obter informações detalhadas sobre a superfície terrestre, reduzindo ou até mesmo eliminando a necessidade de vistorias presenciais em determinados casos.

O funcionamento do sensoriamento remoto baseia-se na captura de radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície da Terra, onde os sensores, como os que são utilizados em imagens de satélite, dependem da luz solar ou de outras fontes naturais de radiação (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2015).

Cada material reflete e absorve radiação em diferentes comprimentos de onda, permitindo a identificação de tipos de vegetação, solo e outros elementos do ambiente. Na agricultura de precisão,

¹ Acadêmicos de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

² Professor do Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.
rohsigrafael@gmail.com

essa tecnologia permite o monitoramento da saúde das culturas, a detecção de pragas e doenças e a avaliação da umidade do solo. Com essas informações, os agricultores podem otimizar o uso de insumos, como água e fertilizantes, melhorando a produtividade e a sustentabilidade agrícola (FORMAGGIO e SANCHES, 2017).

Na gestão de recursos naturais, o sensoriamento remoto é utilizado para mapear áreas de desmatamento, monitorar a regeneração da vegetação e avaliar a biodiversidade, além de ser fundamental na gestão de recursos hídricos, permitindo a análise de bacias hidrográficas e a detecção de alterações na qualidade da água, diante dos desafios significativos relacionados ao crescimento populacional e à urbanização (LORENZZETTI, 2015).

Entre os índices de vegetação (IV's) os mais utilizados são: GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) através do qual avalia-se as variações de biomassa verde do estande de plantas, NDVI (Normalized Difference Vegetation) que é um indicativo da vegetação fotossinteticamente ativa (ZHOU; ZHONG, 2020; ALI *et al.*, 2019)

A correlação entre os dados obtidos por sensoriamento remoto e as informações coletadas em campo é fundamental para validar e aprimorar as análises. As imagens de satélite podem fornecer uma visão ampla e detalhada de grandes áreas, mas a interpretação precisa dos dados requer a coleta de informações de campo que confirmem as observações feitas a partir do espaço. Essa correlação permite a criação de modelos mais robustos e precisos para a análise espacial, possibilitando um melhor entendimento dos dados coletados (FORMAGGIO e SANCHES, 2017).

A cultura da soja (*Glycine max*), assim como outras culturas de interesse comercial, tem se beneficiado enormemente das tecnologias de sensoriamento remoto, que permitem monitorar e analisar a lavoura sem a necessidade de presença física constante no campo.

Esse tipo de monitoramento proporciona uma visão detalhada de aspectos como produtividade, presença de pragas e estresse hídrico, permitindo decisões mais ágeis e estratégias de manejo mais eficientes. Em um estudo voltado à estimativa de colheita, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto evidenciou como imagens captadas por satélites e drones facilitam o acompanhamento das culturas, possibilitando ajustes nas práticas de manejo para melhorar o desempenho das lavouras (SCHORR *et al.*, 2023).

Outro aspecto importante do sensoriamento remoto é a identificação e mapeamento da distribuição de plantas daninhas, como abordado por Vilela, Fontes e Shiratsuchi (2005). Este estudo ilustrou como a tecnologia auxilia na detecção de áreas afetadas por invasoras, permitindo que os

agricultores façam um controle mais localizado e eficaz, reduzindo o uso excessivo de herbicidas e melhorando a sanidade da cultura de soja.

A questão do déficit hídrico na soja também foi explorada por Crusiol *et al.* (2017), que demonstraram como o sensoriamento remoto pode ser usado para monitorar o estresse hídrico nas plantas. Em regiões onde a escassez de água é uma preocupação constante, essa técnica fornece dados para o manejo eficiente dos recursos hídricos, permitindo que os agricultores ajustem a irrigação de acordo com a necessidade real das plantas. Isso não só ajuda a manter a produtividade, mas também promove práticas mais sustentáveis ao evitar o uso excessivo de água.

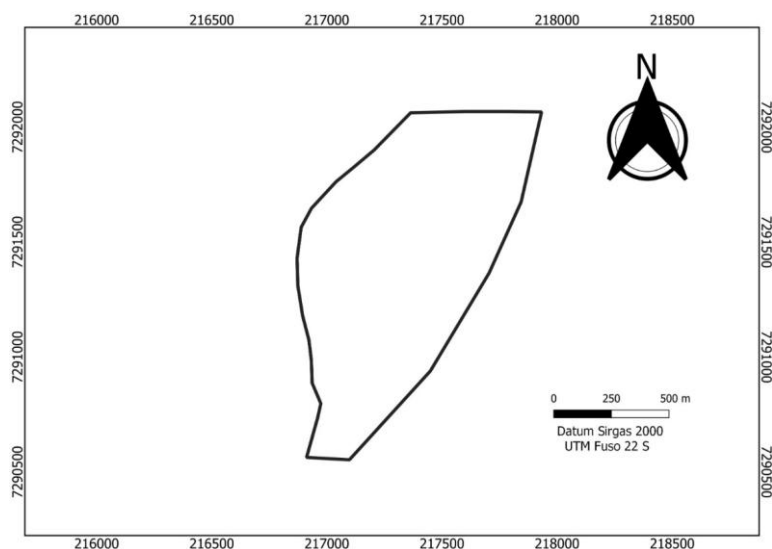
Na safra de 2023, o Brasil alcançou um recorde histórico na produção de soja, com 152,1 milhões de toneladas, consolidando-se como o maior produtor mundial do grão (IBGE, 2024).

O objetivo da pesquisa foi correlacionar dados obtidos através de um mapa de colheita com índices de vegetação (IV), calculados a partir de imagens do satélite Sentinel-2.

3. METODOLOGIA

A área utilizada no experimento possui 106,8 ha (Figura 1), está localizada no município de Maripá - PR, no distrito de Candeia, latitude $24^{\circ}28'02.62''$ S e longitude $53^{\circ}47'23.24''$ O, com altitude média de 400 m. O solo é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 2018). Conforme a classificação de Koppen-Geiger o clima na região do Oeste Paranaense é classificado como Cfa (subtropical úmido, sem estação seca e verão quente) (NITCHE *et al.*, 2019).

Figura 1 - Localização da área do experimento.



Para o experimento utilizou-se dados das colhedoras marca John Deere modelos S550 com capacidade de tanque graneleiro de 8.800 L e S670 com capacidade de graneleiro de 11.600 L, onde em ambas as máquinas estavam equipadas com monitor Green Star 3 modelo 2630 e antena/ receptor Star Fire 6000.

O processamento dos dados, incluindo os cálculos dos índices de vegetação NDVI e GNDVI, foi realizado no software QGIS. Para a elaboração dos mapas de índices de vegetação (IVs), foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, obtidas gratuitamente por meio da plataforma "Sentinel Hub", em diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja. As imagens utilizaram as seguintes bandas espectrais: B03 (Verde), B04 (Vermelho) e B08 (Infravermelho Próximo) (Tabela 1).

Tabela 1 - Bandas espectrais do sensor MSI, presente no satélite Sentinel-2.

Resolução	Nº da banda	Nome da banda	Comprimento de onda (nm)
10 m	B02	Azul (B)	490
10 m	B03	Verde (G)	560
10 m	B04	Vermelho (R)	665
10 m	B08	Infravermelho Próximo (NIR)	842

Utilizando a calculadora Raster, no software Qgis calculou-se os IV's NDVI (Equação 1) e GNDVI (Equação 2).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada.

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm).

RED = Refletância na banda do vermelho (nm).

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NIR+GREEN} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

GNDVI = Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada Com Banda Verde.

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm).

GREEN = Refletância na banda do verde (nm).

Para avaliar a correlação entre os mapas de IV e produtividade Foram extraídos 9641 pixels de cada mapa temático com auxílio do Plugin Point Sampling Tool, que posteriormente foram processados no Software Excel, onde calculou-se a correlação de Pearson.

Para a avaliação de relação e correlação utilizou-se a proposta de Callegari-Jacques (2003), onde há possibilidade do r ser avaliado qualitativamente, onde é determinado a partir dos seguintes intervalos: $0,9 \leq r \leq 1,0$, representa uma correlação muito forte; $0,7 \leq r \leq 0,9$, representa uma correlação forte; $0,4 \leq r \leq 0,7$, representa uma correlação moderada, $0,2 \leq r \leq 0,4$, representa uma correlação fraca e $0,0 \leq r \leq 0,2$ representa uma correlação muito fraca.

Através do software Excel realizou-se as análises de estatísticas descritivas. Para a classificação dos coeficientes de variação (CV%) dos IVs e épocas foram avaliados de acordo com a proposta de Pimentel Gomes (2009) com a seguinte classificação: baixo (< 10%); médio (entre 10 e 20%); alto (entre 20 e 30%) e muito alto (> 30%).

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Observa-se que aos 54 dias após a semeadura (DAS) foi onde obteve-se um pico de CV mais alto, atingindo 9,17%, que de acordo com Pimentel Gomes (2009) é considerado baixo, quando comparado a Silva e Rosa (2023) com 66 DAS o CV é de 1,4%, uma diferença de 7,77% para mais. (Tabela 2)

Tabela 2 – Estatísticas descritiva entre IVs em diferentes DAS.

IV's	Mínimo	Máximo	Médio	DP	CV (%)
NDVI					
54 DAS	0,39	0,86	0,72	0,07	9,17
79 DAS	0,71	0,93	0,90	0,03	2,97
94 DAS	0,78	0,94	0,92	0,02	1,84
114 DAS	0,68	0,89	0,85	0,03	3,96
GNDVI					
54 DAS	0,60	0,81	0,73	0,03	4,38
79 DAS	0,75	0,90	0,87	0,02	1,84
94 DAS	0,80	0,91	0,88	0,01	1,54
114 DAS	0,68	0,85	0,80	0,03	3,95

DAS = Dias após a semeadura; CV = Coeficiente de variação; IV's = Índices de vegetação; DP = Desvio Padrão.

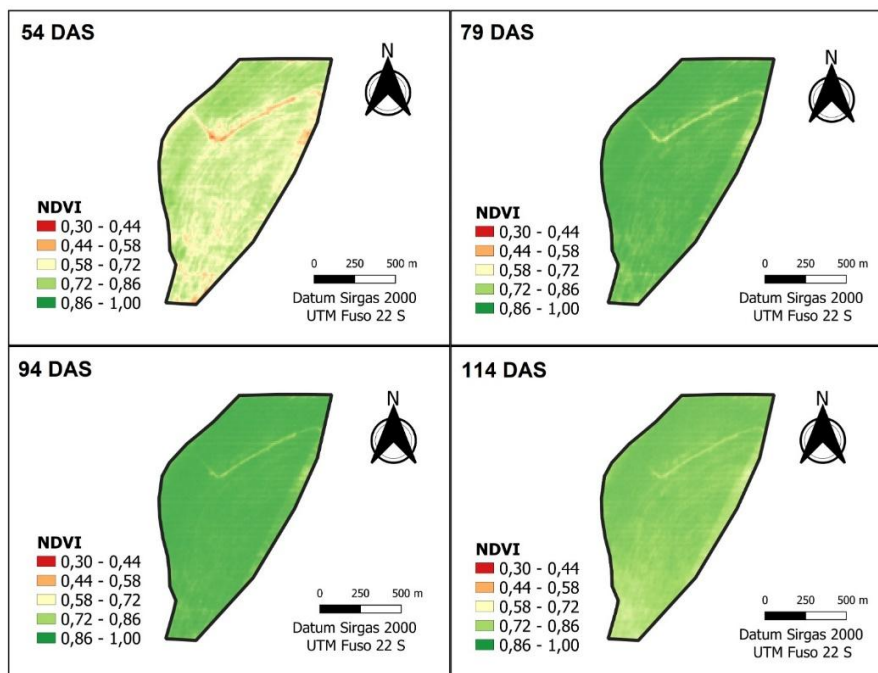
Através dos mapas (Figura 2) e (Figura 3) é possível identificar pontos mais ao sul do mapa com predominância de pontos mais avermelhados com 54 DAS onde obteve-se o menor índice NDVI

(0,39). O mesmo ocorre para os índices de GNDVI 54 DAS e 114 DAS onde o índice mínimo obtido de GNDVI foi de 0,60 e 0,68 respectivamente.

Boesing *et al.* (2014), avaliaram os índices de vegetação NDVI e GNVI, na fase reprodutividade da cultura da soja (R5), e encontraram valores médio de 0,92 (NDVI) e 0,84 (GNDVI), esses resultados foram semelhantes ao do experimento com 79 DAS que apresentou valor médio 0,90 (NDVI) e 0,87(GNDVI) e 94DAS onde o os valores médios foi de 0,92(NDVI) e 0,88 (GNDVI).

Conforme evolui o ciclo da cultura consegue-se notar que a faixa predominante de NDVI de 0,72 – 1,00 é a que predomina nos mapas de 79 e 94 DAS. Aos 114 DAS os valores médios obtidos para NDVI foi de 0,85 e GNDVI de 0,80. É possível identificar que o nível de refletância começa a cair, o mesmo acontece no trabalho de Boesing *et al.* (2014), onde a cultura da soja estava em R5.5 e observou-se NDVI de 0,89 e GNDVI de 0,78.

Figura 2 - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em diferentes DAS



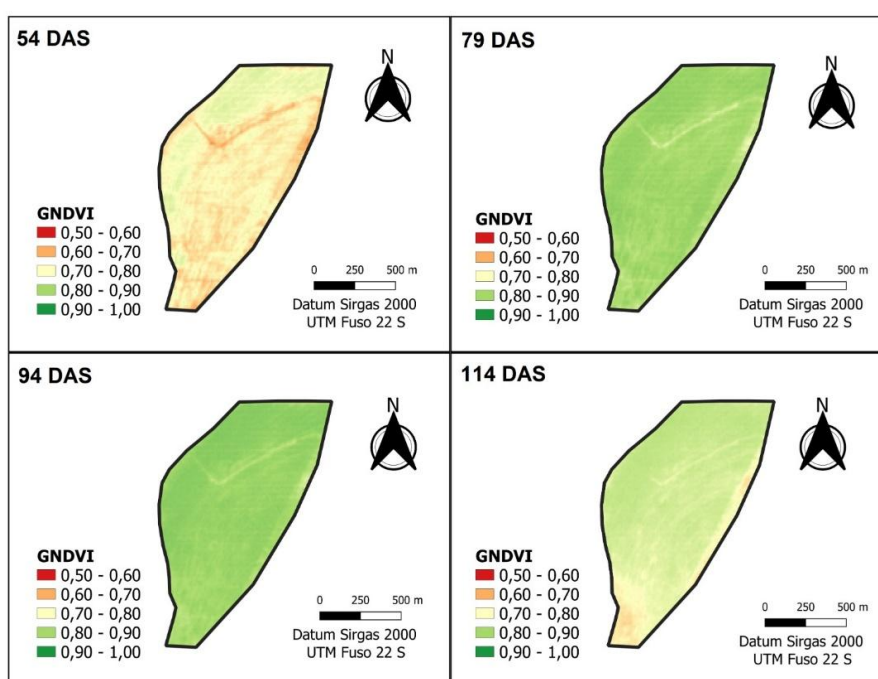
O estágio fenológico R5.5 da soja indica que a planta já está com a granação de 75 a 100% concluída. No estágio R6 a planta passa usar sua energia para garantir o fruto, dedicando seus nutrientes a ele (enchimento de grão) e posteriormente a planta passa para R7 (maturação fisiológica), o que explica um nível de refletância menor (FARIAS, NEPOMUCENO e NEUMAIER, 2007),

Rosa (2021), em sua pesquisa, utilizou imagens do satélite Sentinel-2 e obteve valores de NDVI de 0,72 aos 70 dias após a semeadura (DAS) e 0,90 aos 90 DAS, durante a safra de soja

2019/2020. Os resultados indicaram uma diferença no NDVI aos 79 DAS, além de apresentarem valores semelhantes aos obtidos neste estudo aos 94 DAS.

Observa-se que os maiores índices de vegetação, NDVI e GNDVI, foram registrados aos 94 dias após a semeadura (DAS), com valores máximos de 0,94 para o NDVI e 0,91 para o GNDVI. Os valores médios alcançaram 0,92 para o NDVI e 0,88 para o GNDVI. Esses resultados correspondem às fases vegetativa e reprodutiva da planta, períodos em que os níveis de clorofila e a atividade fotossintética atingem seus picos (Figura 3).

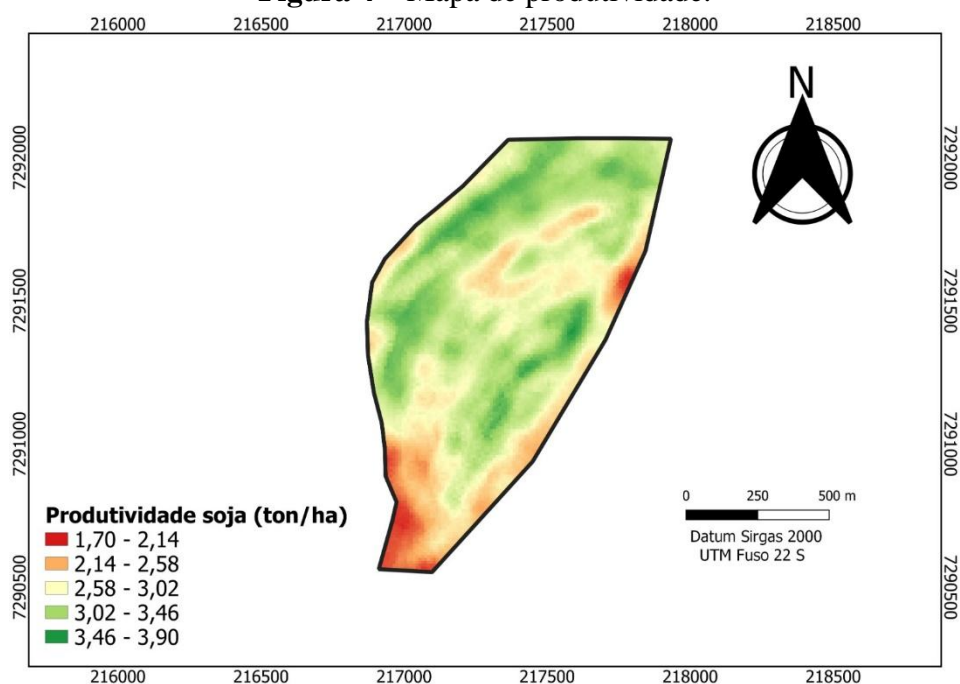
Figura 3 - Índice de vegetação por diferença normalizada por banda verde (GNDVI).



Marafon *et al.* (2022), em estudo que realizou na Zona da Mata em Alagoas, onde foi utilizado 15 cultivares diferentes, e observou-se que as maiores taxas de fotossíntese na segunda época de avaliação aos 73 DAS, não sendo constatadas diferenças significativas entre cultivares. Ao analisar os mapas deste estudo, observa-se que os melhores índices foram registrados aos 79 e 94 dias após a semeadura (DAS), o que é justificável pelas fases do desenvolvimento da cultura nessas datas. Em contraste, aos 54 e 114 DAS, as atividades fotossintéticas apresentaram valores menores, pois correspondem, respectivamente, às fases iniciais e finais do ciclo da cultura.

De acordo com a Conab (2023), a produtividade média da soja foi de 4,11 toneladas por hectare (ton ha^{-1}). No entanto, observa-se que a produtividade do talhão analisado neste estudo ficou abaixo dessa média, registrando $2,98 \text{ ton ha}^{-1}$. Em comparação, Rosa (2021) reportou uma produtividade média de $3,7 \text{ ton ha}^{-1}$ na safra 2019/2020, ou seja, $0,72 \text{ ton ha}^{-1}$ a mais do que a obtida no talhão deste trabalho (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de produtividade.



Ao correlacionar os dados de NDVI e GNDVI, observa-se uma correlação mais forte no NDVI aos 114 dias após a semeadura (DAS) e no GNDVI aos 94 e 114 DAS (Tabela 3).

Tabela 3 – Correlação de Pearson entre Produtividade da soja e NDVI, GNDVI.

	54 DAS.	79 DAS.	94DAS	114 DAS
NDVI	0,52	0,57	0,61	0,79
GNDVI	0,53	0,57	0,73	0,78

Observa-se que as Figuras 2 e 3, quando confrontadas ao mapa de produtividade, apresentou similaridade, onde os pontos onde se obteve os menores IV's tanto para NDVI bem com GNDVI, foram os mesmos pontos em que a produtividade foi baixa, mapa de colheita (Figura 4).

Quando sobrepostos os índices de vegetação com o mapa de produtividade foi possível fazer a análise e correlacionar os dados obtidos, onde NDVI com 54, 79 e 94 DAS e GNDVI com 54 e 79 DAS apresentaram uma correlação moderada ao mapa de produtividade, já NDVI aos 114 DAS e GNDVI aos 94 e 114 DAS apresentaram uma forte correlação ao mapa de produtividade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para correlação entre NDVI e produtividade, o melhor resultado foi de 0,79, obtido com 114 DAS.

Na correlação GNDVI e produtividade os resultados que se destacaram ocorreram aos 94 e 114 DAS sendo de 0,73 e 0,78, respectivamente.

REFERÊNCIAS

BOESING, B. F. B.; BOTTEGA, E. L.; CATEN, A. T.; SARTORI, L. **Variabilidade espacial de índices de vegetação na cultura da soja em estágio reprodutivo.** Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP, 2014.

CONAB - **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas.** 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas%20acessado%20em%2013/>>. Acesso em: 17 nov. 2024.

CRUSIOL, L. G. T.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; SILVA, G. F. C.; SILVA, M. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento do déficit hídrico na cultura da soja. **XII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, p. 119 – 127, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed., Brasília, 2018. 356 p.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; **Ecofisiologia da soja.** Embrapa Londrina. Circular técnica 48. 2007. p.

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

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM 2023: Safra bate recorde, mas valor da produção cai.** 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41296-pam-2023-safra-bate-recorde-mas-valor-da-producao-cai>. Acesso em: 17/11/2024

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** São Paulo: Editora Blucher, 2015.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; SILVA, P. A.; BOMFIM BISNETO, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SILVA, J. S.; **Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de soja na Zona da Mata de Alagoas.** Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, SE. Embrapa Tabuleiros Costeiros boletim de pesquisa e desenvolvimento 172, 2022. 16 p.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. D. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná.** Instituto Agrônomo do Paraná, 2019. 210 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 284p.

ROSA, H. A. **Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR. 2021. 111 p.

SCHORR, M. R. W.; FÜHR, M. J.; FERNANDES, L. B.; MARTINS, I. R.; DE FARIA, J. M. B. A.; DOS SANTOS SOUZA, R.; ROMERO, C. M. Estimativa objetiva da produtividade utilizando ferramentas do sensoriamento remoto—estudo de caso da safra de soja 2021/22 no Rio Grande do Sul. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3301 à 3304. 2023.

SILVA, J. C. R.; ROSA, H. A. Correlação de índices de vegetação com dados produtivos da cultura da soja. In: *3º CITY FARM*, 2023, [Cascavel]. **Anais...**, 2023.

VILELA, M. de F.; FONTES, J. R. A.; SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas na cultura da soja por meio de sensoriamento remoto**. **Embrapa Cerrados**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 147, 2005. 26 p.

ZHOU, F.; ZHONG, D. Kalman filter method for generating time-series synthetic Landsat images and their uncertainty from Landsat and MODIS observations. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 239, p. 111628-111653, Mar 2020.