

Análise da correlação entre parâmetros produtivos da soja e índices de vegetação obtidos com imagens do satélite Sentinel-2

Sidinei Miglioli Raupp^{1*}; Helton Aparecido Rosa¹

^{1*}Curso de agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná

¹Sidineiraupp@gmail.com

Resumo: A agricultura de precisão (AP), tem o objetivo de monitorar cada parte do campo, para que as necessidades sejam atingidas de forma heterogênea, dentre as tecnologias que são aplicadas na AP, estão as imagens de satélite. O objetivo do trabalho foi correlacionar índices de vegetação elaborados com imagens do satélite Sentinel-2 com parâmetros produtivos da cultura da soja. O experimento foi conduzido no município de Lindoeste –PR, em uma área com 7,3 ha e a cultivar utilizada foi NS6010, entre setembro de 2023 até fevereiro de 2024. Elaborou-se um grid amostral de 24 pontos, espaçados por 50 m. Os parâmetros avaliados foram produtividade da soja (kg ha⁻¹), altura de planta (cm), número de vagens e grãos por vagens, e peso de mil sementes (PMS). Com auxílio do software livre QGIS, utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2, em diferentes datas do desenvolvimento da cultura da soja, e com elas gerou-se os seguintes Índices de vegetação (IV): índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), índice de umidade por diferença normalizada (NDMI), e índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE), sendo essas comparadas pela correlação de Pearson. As maiores correlações encontradas para produtividade foram aos 44 DAS, com valores moderados para todos IVs (0,52 a 0,55). Já para altura de plantas a melhor data foi 79 DAS, que apresentou no geral valores moderados para todos os índices. O PMS foi a variável que apresentou maior correlação em 44 DAS, com destaque para o NDVI, com 0,71 (classificada como forte). O número de vagens por planta apresentou em grande parte das datas correlações moderadas e inversas, o que não é relevante para o estudo.



Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; geotecnologias; *Glycine max*

Analysis of the correlation between soybean production parameters and vegetation indices obtained with images from the Sentinel-2 satellite

Abstract: Precision agriculture (AP) aims to monitor each part of the field, so that needs are met in a heterogeneous way. Among the technologies that are applied in AP are satellite images. The objective of the work was to correlate vegetation indices prepared with images from the Sentinel-2 satellite with productive parameters of the soybean crop. The experiment was conducted in the municipality of Lindoeste – PR, between September 2023 and February 2024. A sampling grid of 24 points was created, spaced 50 m apart. The parameters evaluated were soybean productivity (kg ha⁻¹), plant height (cm), number of pods and grains per pod, and thousand seed weight (PMS). With the help of the free software QGIS, images from the Sentinel-2 satellite were used, on different dates during the development of the soybean crop, and with them the following vegetation indices (IV) were generated: normalized difference vegetation index (NDVI), normalized difference moisture index (NDMI), and normalized difference red edge index (NDRE), these being compared using Pearson correlation. The highest correlations found for productivity were at 44 DAS, with moderate values for all IVs (0.52 to 0.55). For plant height, the best date was 79 DAS, which generally presented moderate values for all indices (0.63). PMS was the variable that showed the highest correlation in 44 DAS, with emphasis on NDVI, with 0.71 (classified as strong). The number of pods per plant showed moderate and inverse correlations on most dates, which is not relevant to the study.

Keywords: Remote Sensing, geotechnologies, *glycine max*

Introdução

A soja (*Glycine max*), lidera a agricultura brasileira, isso devido ao retorno econômico que ela possui, e também da diversidade de aplicação que é possibilitada ao grão, podendo ser utilizada na indústria para produção de óleo vegetal, para produção de biocombustíveis, ou sendo fonte proteica na alimentação animal. Por esses e outros fatores, a soja é uma cultura altamente difundida no Brasil, ocupando um papel importantíssimo no PIB do país, junto as outras culturas que aqui são produzidas.

A área nacional de soja cultivada na safra 2023/2024 foi de 45,7 milhões de hectares, sendo 3,8% superior ao que foi semeado na safra anterior, com uma estimativa de produção é de 147,68 milhões de toneladas, com uma redução de 4,5% sobre a safra anterior, essa baixa de produtividade em todo o país ocorreu devido ao reflexo das condições climáticas adversas que ocorreram durante a implantação e desenvolvimento da cultura, com falta e excesso de chuva em fases que são determinantes para o desenvolvimento da cultura (CONAB, 2024).

No Brasil, a soja oficialmente chegou pelo Rio Grande do Sul e sua expansão pelo país começou nos anos de 1970, foi a partir disso que ocorreu o aumento da demanda internacional pelo grão, hoje o Brasil é o segundo país na produção e processamento mundial de soja, sendo também o segundo maior exportador do grão, farelo e de óleo, hoje 70% da nossa produção desses insumos é exportada (CÂMARA, 2012).

Para a análise de uma determinada área, é importante a realização do seu mapeamento, e para auxiliar nesse processo, existem geotecnologias que são consideradas ferramentas eficientes para o monitoramento dessas áreas, dentre elas, se destaca os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR), sendo que o SR, pode ser determinado como a maneira de conseguir informações de um objeto ou alvo, sem que seja necessário o contato físico com ele, onde utiliza a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos, causados de fontes naturais como o Sol, ou por fontes artificiais como, por exemplo o Radar (ROSA, 2003).

A agricultura de precisão (AP), tem objetivo de monitorar cada parte do campo, para que as necessidades sejam atingidas de forma heterogênea, considerando que cada parte possui sua necessidade específica, dentre as tecnologias que são aplicadas na AP, estão as imagens de satélite, uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) (HUNT; DAUGHTRY, 2018). Os mapas de colheita são um destaque dessas ferramentas pois é o acompanhamento temporal dos padrões (acompanhando várias safras), sendo essencial para acompanhar os resultados consistentes das áreas (ZANELLA *et al.*, 2019).

O NDVI tem se mostrado como um bom indicador do vigor vegetativo das plantas, deste modo se espera que as áreas que possuem um maior valor de índice vegetativo sejam as áreas que apresentam as maiores produtividades, desde que as plantas estejam em condições normais (MONTEIRO *et al.*, 2013). Estudos como o de Silva, Canteri e Silva (2013), mostram que quando a relação de produtividade com o índice vegetativo não for linear, podem estar associados a diversos fatores, podendo eles serem bióticos, abióticos, climáticos, fisiológicos, nutricionais e até mesmo varietais.

No SR, uma mesma cena terá a possibilidade de ser gerada em faixas diferentes do espectro eletromagnético, dando assim origem aos canais ou bandas espectrais. Os sensores podem captar a energia refletida da superfície na faixa de luz visível (azul, verde e vermelha), ou na faixa do infravermelho (infravermelho próximo, médio e termal), podendo chegar até a faixa das micro-ondas (MARQUES, 2006).

Com imagens orientados do SR, podem ser calculados índices de vegetação (IV), que estão sendo muito utilizados na AP. Os IV são modelos matemáticos onde sensores absorvem as bandas ou ondas espectrais de refletância da vegetação, e posteriormente através de equações são calculados, fornecendo dados sobre o desenvolvimento da cultura (FIGUEIREDO, 2005; ZANZARINI *et al.*, 2013).

Um dos índices mais conhecidos é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), o mesmo possibilita a interpretação de imagens de áreas verdes em diferentes datas e diferentes espectro de cores, permitindo assim, acompanhar a variação em certo período de tempo (COHEN *et al.*, 2003). A utilização do NDVI possibilita que seja calculada a atividade fotossintética da cultura, o qual absorve raios solares, e os transformam em energia para a planta, refletindo o excedente da energia para o espaço, possibilitando desta forma, captar o excedente pelos satélites com câmera infravermelho, na agricultura pode ser relacionado com a produtividade da soja com diferentes índices de vegetação gerados a partir de imagens multiespectrais (AMARAL *et al.*, 2018).

O NDVI está entre os índices que melhor se correlacionam com a vegetação, já que utiliza banda espectrais obtidas no vermelho e infravermelho próximo, sendo que essas possuem uma significativa correlação com o verde ou porções fotossintéticas da planta (MOREIRA, SILVA e STONE, 2007).

Outro índice muito utilizado é o (NDRE), o qual se trata do índice da borda do vermelho de diferença normalizada, sendo este um indicador da atividade fotossintética de uma cobertura vegetal usada para estimar concentrações de nitrogênio presente nas folhas das plantas, além de

identificar as possíveis doenças nas plantas, sua utilização é recomendada quando os estádios das culturas já estiverem mais avançados, devido ao dossel da planta já estar mais denso e poderá causar a saturação do NDVI (SOUZA *et al*, 2020).

O índice de umidade por diferença normalizada (NDMI) é capaz de quantificar o conteúdo que possui de água nos tecidos esponjosos do mesofilo do dossel da planta em ecossistemas de alta biomassa, sendo que a sua interpretação permite que seja reconhecido os locais em um campo que estejam passando por estresse hídrico de forma imediata (DAS *et al*, 2022).

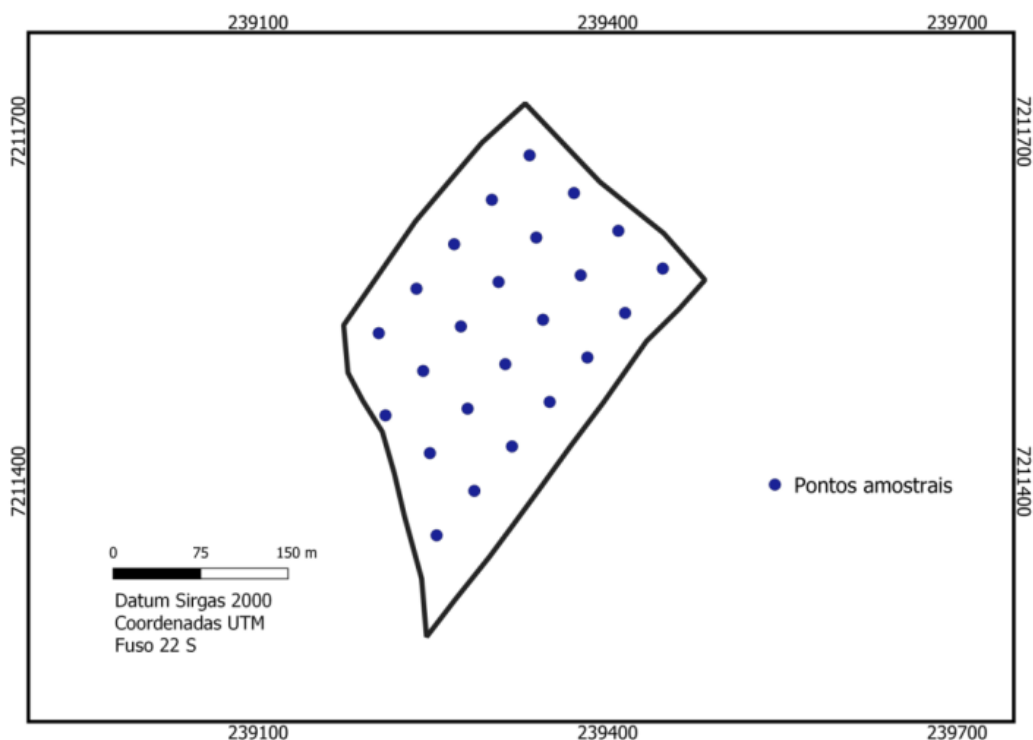
Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi correlacionar índices de vegetação elaborados com imagens do satélite Sentinel-2 com parâmetros produtivos da cultura da soja.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em propriedade particular no município de Lindoeste -PR, localizada nas coordenadas de latitude 25°11'18" S e longitude 53°35'13" O, entre os meses de setembro de 2023 a fevereiro de 2024. O solo do município é classificado como Segundo Nitsche *et al*. (2019) o município possui um clima subtropical mesotérmico super úmido (Cfa), com precipitação anual de 1400 mm e temperatura média de 19 °C. O solo predominante da região é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2018). A área do experimento possui 7,3 hectares, na qual elaborou-se um grid amostral de 24 pontos, espaçados por 50 m (Figura 1).

A semeadura foi realizada no dia 28 de setembro de 2023, sendo utilizada a cultivar NS6010 na população de 14 sementes por metro linear, e adubo NPK de base de formulação 02-07-08 na dose de 350 kg ha⁻¹ e durante a condução da lavoura não houve tratamentos diferentes aplicados para comparações, somente foi realizado os manejos necessários para o ciclo da cultura com aplicações de inseticida de fungicidas, sendo que foram realizadas 3 aplicações.

A colheita aconteceu no dia 05 de fevereiro de 2024, sendo realizada de forma manual, colhendo 3 linhas de 3 m de comprimento em cada um dos 24 pontos, após colhido o produto foi armazenado em barracão para a realização das análises dos parâmetros de avaliação.

Figura 1 - Mapa de localização e distribuição dos pontos amostrais.

Os parâmetros avaliados foram produtividade da soja (kg ha^{-1}) por meio da pesagem das amostras, altura de planta (cm) que foi realizada com auxílio de uma régua, número de vagens e grãos por vagens sendo contados um a um após a colheita em 10 das plantas colhidas de cada ponto, sendo que essas foram escolhidas ao acaso, sem utilização de critério para sua escolha, e a realização do peso de mil sementes (PMS), que foi realizado conforme a normativa da regra de análise de sementes (RAS) Brasil (2009).

Com auxílio do software livre QGIS, utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2, em diferentes datas do desenvolvimento da cultura da soja, e com elas gerou-se os seguintes IV: índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), índice de umidade por diferença normalizada (NDMI), e índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE).

O NDVI foi calculado pela equação proposta por Rouse (1974).

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

em que:

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

RED = Refletância na banda do vermelho (nm).

O NDMI foi calculado conforme a equação proposta por Gao (1996).

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

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

SWIR = Refletância na banda infravermelho de ondas curtas (nm).

O índice NDRE foi calculado com base na equação de Barnes *et al.* (2000).

$$NDRE = \frac{(NIR - RED\ EDGE)}{(NIR + RED\ EDGE)} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

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

RED EDGE = Refletância na banda borda vermelha (nm).

Posteriormente com os dados produtivos da soja e dos IVs, gerou-se mapas de variabilidade com o software QGIS na versão 3.38, onde também extraiu-se os valores correspondentes de cada pixel do grid amostral para realizar no Excel a correlação entre os dados utilizando a correlação de Pearson.

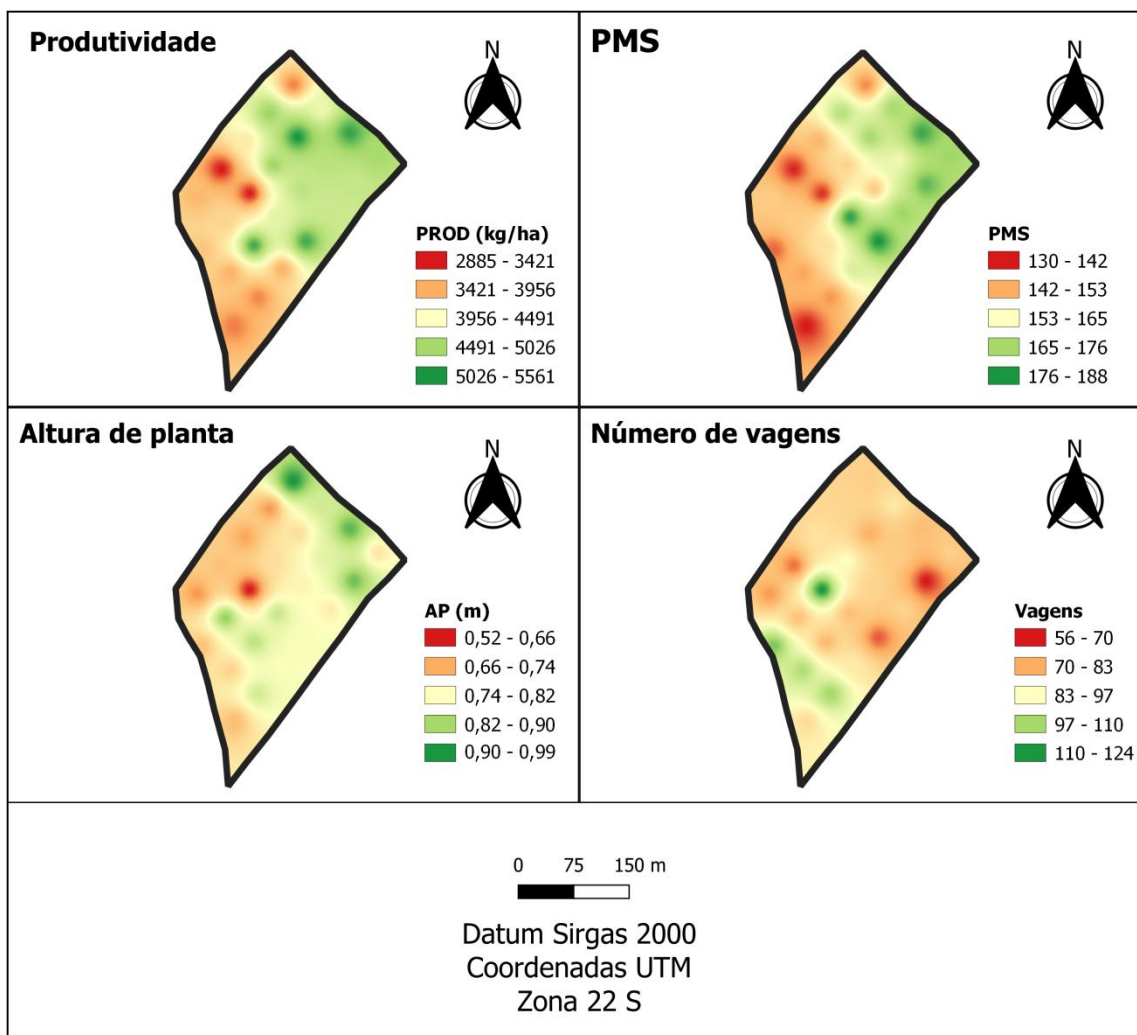
Para a avaliação da correlação utilizou-se a proposta de Callegari-Jacques (2003), onde há possibilidade do r ser avaliado qualitativamente, onde é determinado a partir nos seguintes intervalos: $0,9 \leq |r| \leq 1,0$, representa uma correlação muito forte; $0,7 \leq |r| \leq 0,9$, representa uma correlação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

Resultados e Discussão

Ao observar o mapa de produtividade, PMS, altura de planta e número de vagens (Figura 2), é possível observar que a área, teve variação de produtividade dentro dela, assim como a parte da área que obteve maiores produtividades relacionadas a 4491 e 5561 kg ha⁻¹, é a mesma faixa de maior PMS das plantas, variando de 165 a 188 g, porém é possível observar que essa área não se relaciona com a maior altura de plantas e nem ao maior número de vagens. Sendo que o maior número de vagem observado na imagem, refere-se ao intervalo de produtividade de 3421 a 3956 kg ha⁻¹, que está entre os menores encontrados. Isso significa que as plantas com maior número de vagens não foram as que possuem maior peso.

No fator altura de plantas observa-se que as plantas com média de 0,82 m a 0,99 m fazem parte da área com a maior produtividade.

Figura 2 - Mapa de altura de plantas, produtividade, PMS e número de vagens.



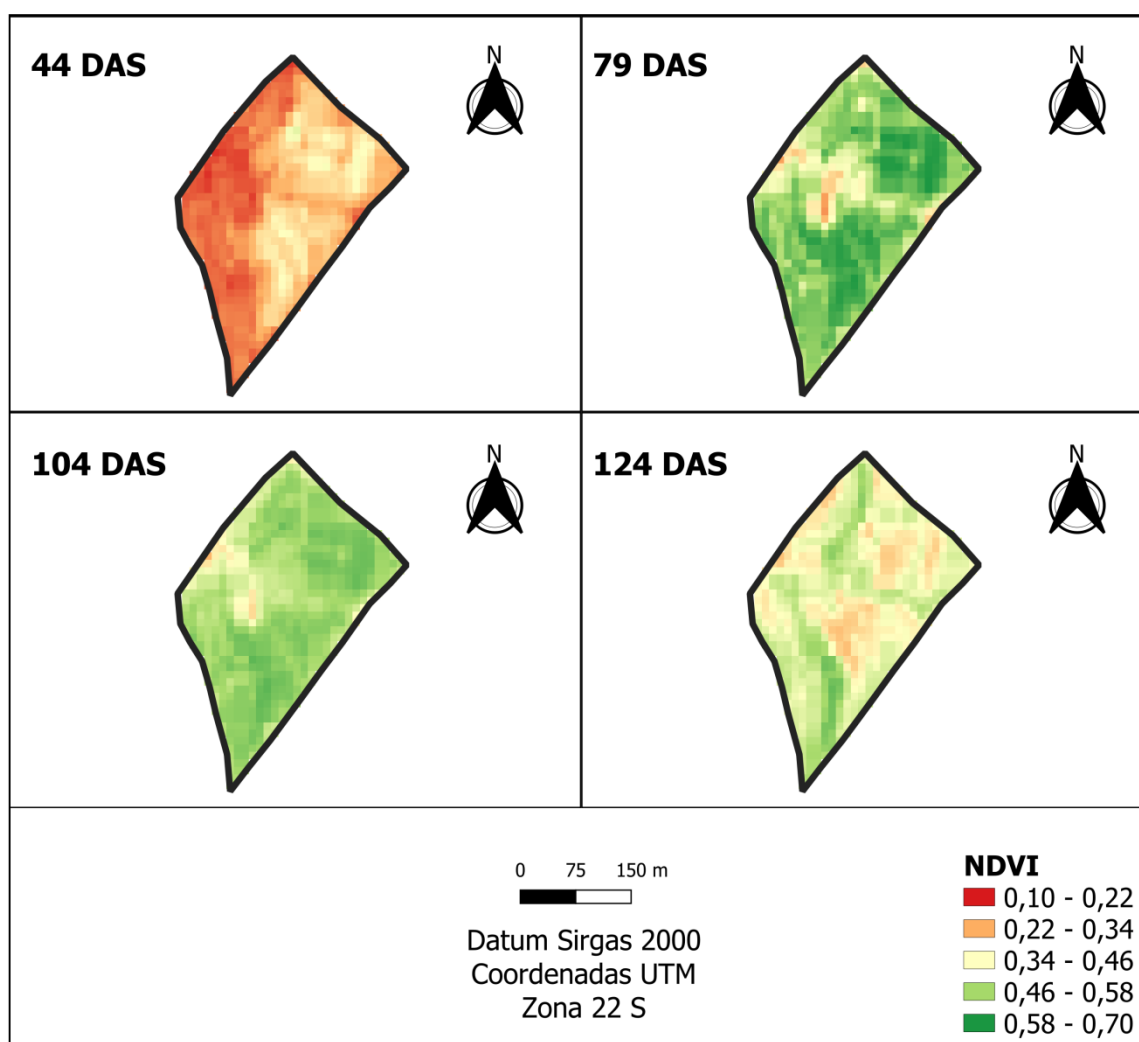
A partir da Figura 3 (NDVI), observa-se que aos 44 dias após a semeadura (DAS), a cultura apresentou valores entre 0,10 e 0,46, pois nesta fase as entrelinhas estavam ainda abertas e possuía baixa taxa fotossintética da cultura em 79 DAS, 104 DAS e 124 DAS os intervalos variaram entre 0,22 e 0,70, onde com 79 DAS, o intervalo está mais próximo 0,70 pois a cultura se encontrava em seu estágio reprodutivo.

Silva, Trentin e Silva (2023), encontraram resultados na cultura da soja, onde, ao verificar aos 55 DAS o intervalo chegou ficar homogêneo de 0,91, e na última análise com 73 DAS o resultado variava de 0,74 a 0,93, estando sempre muito próximo devido a taxa fotossintética da cultura.

Silva *et al.* (2017) observaram que o NDVI ao se aproximar dos valores mais altos de refletância, demonstra uma vegetação extremamente densa. 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). Resultados esses também encontrados neste estudo, pois com 79 DAS e 104 DAS, os resultados se aproximaram dos maiores valores de refletância, o que mostra que a vegetação estava mais densa. Da Silva e Rosa (2023), também encontraram resultados semelhantes onde na primeira avaliação realizada por eles aos 33 DAS, onde comparado com esse trabalho aos 44 DAS, o intervalo encontrado por eles de 0,50 a 0,70, foi também pelo não fechamento das linhas de plantio.

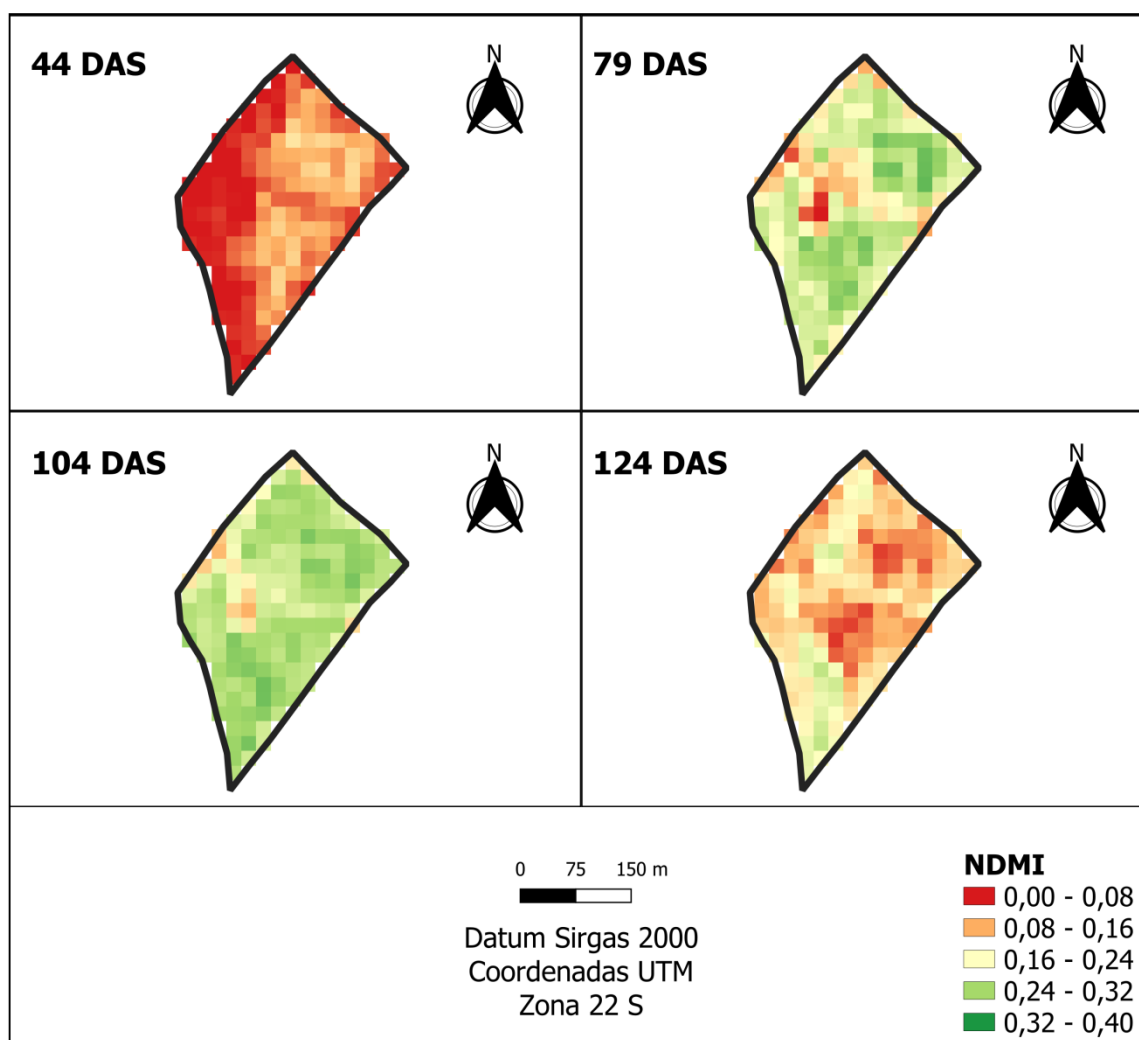
Figura 3 - Mapa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).



Ao observar a Figura 4, com os mapas do índice de umidade por diferença normalizada (NDMI), é possível verificar que a variação vai de 0,00 a 0,40. Sendo que a umidade mais baixa se deu no início do ciclo da cultura e também ao final do ciclo, pois os mapas que mais aparentam a baixa média de NDMI é o de 44 DAS e o de 124 DAS, desta forma pode-se observar que na fase reprodutiva da cultura o NDMI estava de 0,24 a 0,32.

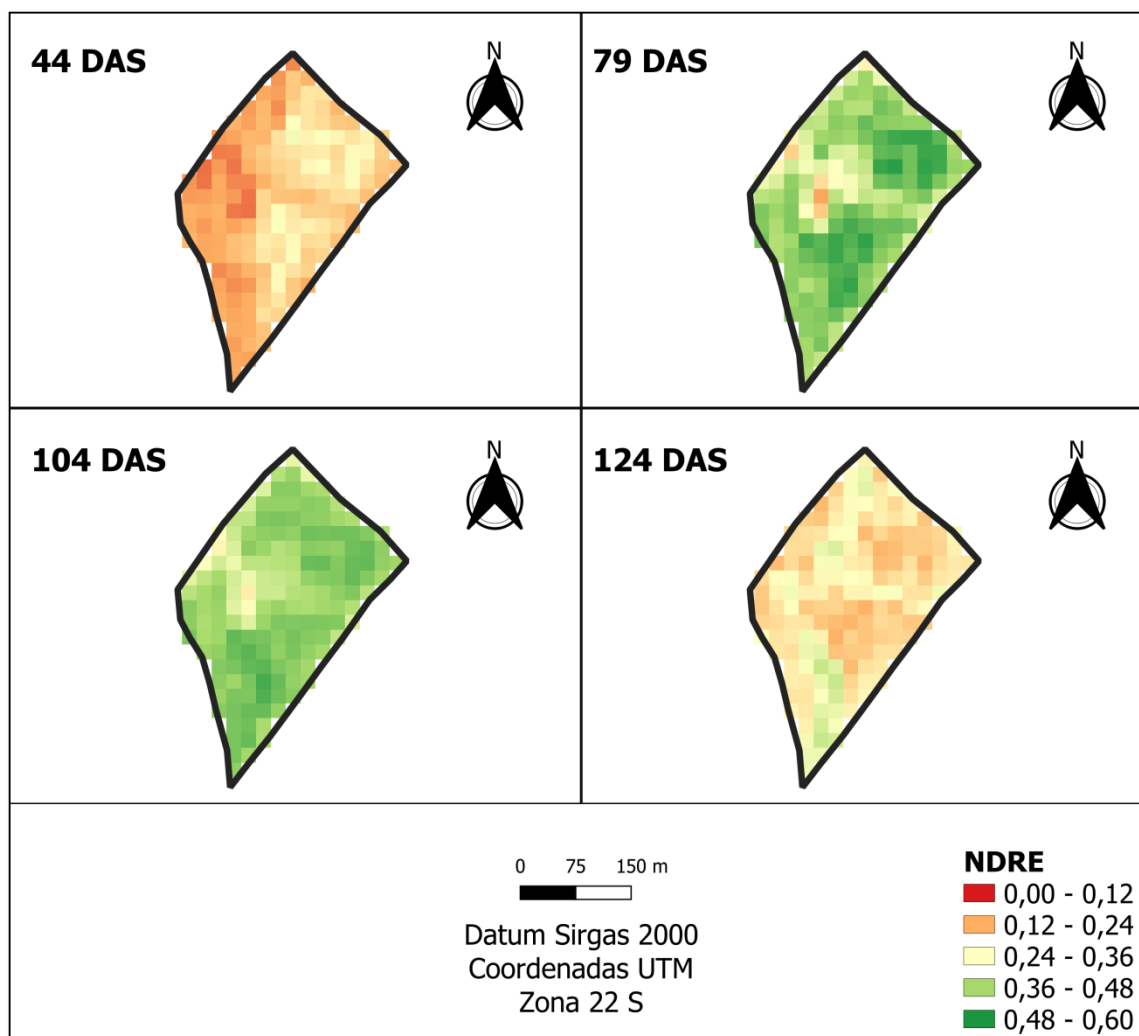
Segundo Das et al. (2022), é um índice que nos dá respostas significativas apenas quando a vegetação é dominante no espaço e apresenta resultados negativos para solo nu e corpos hídricos, quando a cobertura do dossel é baixa o resultado é uma combinação ponderada de valores adequados ao solo e a vegetação. Desta forma é possível observar no mapa de NDMI que a vegetação se apresenta mais densa aos 104 DAS, tendo seu índice variando de 0,24 a 0,32.

Figura 4 - Mapa do índice de umidade por diferença normalizada (NDMI).



Na Figura 5, observando o NDRE, é possível verificar que o índice variou de 0,00 a 0,60, onde é possível observar que aos 44 DAS, o índice variou de 0,00 a 0,36, isso se dá pois segundo Miller et al. (2018), a utilização de NDRE deve ser quando a cultura já apresente um maior índice de biomassa e não no início de seu desenvolvimento. Por isso nota-se que aos 79 e aos 104 DAS, ela apresentou os maiores índices no mapa.

Figura 5 - Mapa do índice da borda do vermelho de diferença normalizada (NDRE).



Os dados apresentados na Tabela 1, indicam a correlação entre os IVs e os parâmetros produtivos da cultura da soja, conforme a classificação proposta por Callegari Jacques (2007), é possível observar que os índices de NDVI, NDMI e NDRE aos 44 DAS possuem uma classificação moderada, pois estão entre a faixa de 0,4 e 0,7, já aos 79 DAS o NDVI, NDMI e NDRE estão na classificação fraca, pois a faixa de variação é de 0,2 a 0,4, aos 104 DAS o NDVI está avaliado como moderado e o NDMI e NDRE são avaliados como fracos e aos 124 DAS a correlação é dita como muito fraca para o NDVI estando entre 0,0 a 0,2 já para NDMI e NDRE são considerados fraca estando entre 0,2 a 0,4.

Tabela 1 - Correlação de Pearson entre os dados de produtividade da soja os IVs (NDVI, NDMI, NDRE) em diferentes cenas do satélite Sentinel-2.

IV's	44 DAS	79 DAS	104 DAS	124 DAS
NDVI	0,52	0,29	0,41	-0,20
NDMI	0,52	0,35	0,34	-0,45
NDRE	0,55	0,40	0,38	-0,39

DAS = Dias após a semeadura.

A Tabela 2 apresenta os dados de altura de plantas com os índices analisados no trabalho e é possível verificar que aos 44, 79, 104 DAS todos os índices se enquadram na classificação moderada, pois estão no intervalo de 0,4 a 0,7, já quando observado aos 124 DAS, todos os índices são avaliados como muito fraco, estando no intervalo de 0,0 a 0,2.

Tabela 2 - Correlação de Pearson entre os dados de Altura de planta e os IVs (NDVI, NDMI, NDRE) em diferentes cenas do satélite Sentinel-2.

IV's	44 DAS	79 DAS	104 DAS	124 DAS
NDVI	0,55	0,63	0,66	-0,01
NDMI	0,53	0,63	0,53	-0,22
NDRE	0,55	0,63	0,55	-0,08

DAS = Dias após a semeadura.

Na Tabela 3, verifica-se a correlação dos índices de vegetação com o PMS onde é possível analisar que aos 44, 79 e 104 DAS todos os índices de vegetação são avaliados como moderados conforme a classificação, pois se encontram entre 0,4 e 0,7. Já ao observar a correlação com 124 DAS, o NDVI e NDRE são considerados moderados pois estão entre 0,4 e 0,7, já o NDMI é avaliado como fraco pois está entre 0,2 e 0,4.

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre os dados Peso de Mil sementes (PMS) e os IVs (NDVI, NDMI, NDRE) em diferentes cenas do satélite Sentinel-2.

IV's	44 DAS	79 DAS	104 DAS	124 DAS
NDVI	0,71	0,44	0,45	-0,52
NDMI	0,62	0,44	0,32	-0,36
NDRE	0,68	0,49	0,39	-0,56

DAS = Dias após a semeadura.

A Tabela 4 apresenta a correlação entre os dados de vagens por planta, e os índices de vegetação, onde pode-se observar que aos 44, 79 e 104 e 124 DAS a correlação de Pearson com os dados de vagens por planta são considerados fracos, estando todos eles entre o intervalo de 0,2 a 0,4.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre os dados Vagens Por Planta (VPP) e os IVs (NDVI, NDMI, NDRE) em diferentes cenas do satélite Sentinel-2.

IV's	44 DAS	79 DAS	104 DAS	124 DAS
NDVI	-0,48	-0,49	-0,39	0,40
NDMI	-0,37	-0,48	-0,31	0,48
NDRE	-0,42	-0,48	-0,34	0,43

DAS = Dias após a semeadura.

Conclusão

As maiores correlações encontradas para produtividade foram aos 44 DAS, com valores moderados para todos IVs (0,52 a 0,55). Já para altura de plantas a melhor data foi 79 DAS, que apresentou no geral valores moderados para todos os índices (0,63).

O PMS foi a variável que apresentou maior correlação em 44 DAS, com destaque para o NDVI, com 0,71 (classificada como forte). O número de vagens por planta apresentou em grande parte das datas correlações moderadas e inversas, o que não é relevante para o estudo.

Referências

AMARAL, K. F.S.; OBUTI, R. B.; ROSA, H. A. **Relação entre índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Mapa de Produtividade na cultura da soja**. Nova Cantú, PR. TCC Pós – Graduação FAG. 2018.

BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; RICHARDS, S. E.; COLAIZZI, P. D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R. J.; LI, H.; MORAN, M. S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. **In: PROCEEDINGS 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**. Bloomington, 2000.

CALLEGARI-JACQUES, SIDIA, M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao Agronegócio Soja**. Piracicaba: UNASP/ESA.Q, 2012.

COHEN, W. B.; MAIERSPERGER, T. K.; GOWER, S. T.; TURNER, D. P. Na improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. **Remote sensing of Environment**, v. 84, p.561-571, 2003.

CONAB – COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 11. Safra 2023/2024, n 8 – Oitavo levantamento. Brasília, maio, 2024. p. 101-113.

CROP MONITORING. Software de gestão agrícola. Disponível em: <https://cropmonitoring.eos.com/login>. Acesso em: 21/05/2024

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

DAS, P.B.; MUKUND, D.B.; SAROJ, K.B.; SUJOY, M.; BUDDOLLA, J.; SWARUP, S.; SANTA, R.J.; DIBYENDU, A.; SOUMIT, K. B.; KIRANMAY, S.; PRASHANT, K.S.; PUNEET, S.C. Shifting cultivation induced Burn area Dynamics using Ensemble Approach in Northeast India. **Trees, Forests and People**. New Delhi. jan. 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, 2018.353p.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo, 2005. GOMES, F. G. **Curso de estatística experimental** (451p). Piracicaba: FEALQ, 2009.

GAO, B. C. NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257– 266, 1996.

HUNT JR, E. Raymond; DAUGHTRY, Craig ST. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?. **International journal of remote sensing**, v. 39, n. 15-16, p. 5345-5376, 2018.

JENSEN, J. R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 2a. ed. **Upper Saddle River**: Prentice-Hall, 1996.

MARQUES, W. R. Interpretação de Imagens de Satélites em Estudos Ambientais. **Revista Ambiência**. Guarapuava, PR, v. 2 n. 2 p. 281-299 jul/dez 2006.

MILLER, J. J., SCHEPERS, J. S., SHAPIRO, C. A., ARNESON, N. J., ESKRIDGE, K. M., OLIVEIRA, M. C. et al. (2018). Characterizing soybean vigor and productivity using multiple crop canopy sensor readings. **Field Crops Research**, v. 216, p. 22–31.

MONTEIRO, P. F. C.; FILHO, R. A.; XAVIER, A. C.; MONTEIRO, R. O. C. Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 433–441, 2013.

MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C.; STONE, L. F. Armazenamento de água em um Latossolo Vermelho distrófico no sistema de integração agricultura e pecuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007, Aracaju. **Efeito da água na agricultura**: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiro Costeiros, 2007.

NITSCHKE, P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Bucher Ltda. P. 308. 1992.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia, EDUFU. 5. Ed. p. 109. 2003.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS: third erts-1 symposium nasa. **Ntrs - Nasa Technical Reports Server**. Washington Dc, p. 309-317. jan. 1974.

SILVA, A. J.; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa phytopathology**, v. 39, n. 3, p. 151-156, 2013.

SILVA, D. V. R.; SEBEM, E.; PEDRALI, L.; SANTOS, M, A, G. Variabilidade espacial de NDVI e EVI no estágio vegetativo da soja. **Revista Agropampa**, v. 2, n. 2, 2017.

SILVA, E. C.; TRENTIN, C. B.; SILVA, I. S. O ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E EVI NO MONITORAMENTO DO CULTIVO DA SOJA NO MUNICÍPIO DE QUERÊNCIA – MT, SAFRA 2020/2021. **Revista Contexto Geográfico**, [S. l.], v. 8, n. 16, p. 90–99, 2023.

SOUZA, J. B. C; DE BRITO FILHO, A. L; CARNEIRO, F. M; DO SANTOS, A. F; DA SILVA, R. P. Avaliação da qualidade dos índices de vegetação (NDRE e NDVI) para a cultura do amendoim, utilizando cartas de controle. **South American Sciences**, 1(1), e2095-e2095. (2020)

ZANELLA, M. A.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T. Management class delimitation in a soybean crop using orbital images. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 676-683, 2019.

ZANZARINI, F. V; PISSARRA, T. C. T; BRANDÃO F. J. C; TEIXEIRA, D. D. B; Correlação Espacial do Índice de Vegetação (NDVI) de Imagem Landsat/ETM + com Atributos do Solo, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – 2013.