

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUCAS PEREIRA DE ANDRADE

**RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CARACTERES
FISIOLÓGICOS EM SOJA**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUCAS PEREIRA DE ANDRADE

**RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CARACTERES
FISIOLÓGICOS EM SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **LUCAS PEREIRA DE ANDRADE.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Eng^a. Agr^a. Dra. Izabela Cristina de Oliveira

Membro da Banca Examinadora

Eng. Agr. MSc. João Lucas Gouveia de Oliveira

Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 18 de novembro de 2023.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 18/11/2023, às 11:06, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **João Lucas Gouveia de Oliveira, Usuário Externo**, em 20/11/2023, às 08:17, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Izabela Cristina de Oliveira, Usuário Externo**, em 20/11/2023, às 10:48, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4469191** e o código CRC **54EEFB4E**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000614/2023-43

SEI nº 4469191

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus e a
minha família.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me deu forças para seguir sempre em frente.

Aos meus pais Claudio Pereira de Andrade e Diana Simone de Oliveira e meu irmão Matheus Pereira de Andrade, que sempre estiveram ao meu lado dando todo apoio e incentivo.

Aos meus amigos Matheus Locatelli, Joao Pedro Rampazzo, Matheus Ramos e Karen Gabriela de Oliveira que me apoiaram e contribuíram de alguma forma para esse trabalho ser realizado.

A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul por possibilitar minha formação.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos.

Ao professor Dr. Paulo Eduardo Teodoro, por aceitar me orientar e contribuir com minha formação acadêmica.

E a todos aqueles que contribuíram com minha formação.

EPÍGRAFE

*Tenha cuidado com o que você pensa, pois, a
sua vida é dirigida pelos seus pensamentos.*

Provérbios 4:23

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO.....	17
REFERÊNCIAS	17

RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CARACTERES FISIOLÓGICOS EM SOJA

RESUMO: A hipótese deste trabalho é que os índices de vegetação podem ser utilizados como critério de seleção indireta de programas de melhoramento. Os objetivos desta pesquisa foram: (i) relacionar caracteres fisiológicos e índices de vegetação em genótipos de soja e (ii) identificar índices de vegetação que possam ser utilizados indiretamente para avaliar o desempenho fisiológico de genótipos de soja. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados com três repetições de 28 populações F₂ de soja do Programa de Melhoramento UFMS/CPCS. Aos 60 dias após a emergência foi utilizada aeronave remotamente pilotada equipada com sensor multiespectral para aquisição de variáveis espectrais e cálculo dos índices de vegetação. As características fisiológicas (fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e transpiração) foram avaliadas cinco plantas por parcela, por meio de analisador de fotossíntese portátil. Uma correlação de Pearson foi realizada para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlação dos caracteres, com análise de correlações canônicas construída para reforçar os resultados encontrados. Neste trabalho foi observado baixa relação linear entre variáveis fisiológicas e índices de vegetação em soja, onde nenhum índice de vegetação pode ser usado como critério para seleção indireta de genótipos de soja, uma vez que a correlação é baixa magnitude utilizando sensor multiespectral.

Palavras-chave: Fotossíntese líquida, condutância estomática, *Glycine max.*, NDVI.

RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION INDEX AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS IN SOYBEAN

ABSTRACT: The hypothesis of this work is that vegetation indices can be used as an indirect selection criterion for improvement programs. The objectives of this research were: (i) to report physiological characters and vegetation indices in soybean genotypes and (ii) to identify vegetation indices that can be used indirectly to evaluate the physiological performance of soybean genotypes. The experiment was conducted at the Federal University of Mato Grosso do Sul, located in the municipality of Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. The experimental design was carried out in randomized blocks with three replications of 28 F₂ soybean populations from the UFMS/CPCS Breeding Program. At 60 days after the emergency, the remotely piloted aircraft equipped with multispectral sensor was used to acquire spectral variables and calculate vegetation indices. Physiological characteristics (net photosynthesis, stomatal conductance, internal CO₂ concentration and transpiration) in five plants per plot using a portable photosynthesis analyzer in this same period. Data analysis was performed using Pearson correlation to graphically express the functional relationship between the estimates of correlation coefficients between characters and analysis of canonical correlations to reinforce the results found. The results demonstrate the low linear relationship between physiological variables and vegetation indices in soybean, where no vegetation index can be used as a criterion for indirect selection of soybean genotypes, since the correlation is low in magnitude using a multispectral sensor

Keywords: Liquid photosynthesis, stomatal conductance, *Glycine max.*, NDVI.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] é a leguminosa de grande relevância econômica mundial, apresentando produção mundial de 322 milhões de toneladas na safra 2022/2023, incremento de 18.4% em relação à safra anterior (CONAB, 2023). A produtividade alcançada a cada ano é resultado da obtenção de cultivares produtivas, que é o principal objetivo do melhoramento da soja (SILVA et al., 2020).

A mensuração de caracteres fisiológicos de plantas é um dos pilares do melhoramento genético, realizado através de experimentos confiáveis, seguindo pressupostos estatísticos e análise de parâmetros genéticos e biológicos (CRUZ, 2013). O índice de área foliar, a taxa fotossintética, a condutância estomática e a eficiência de uso da água são alguns dos caracteres fisiológicos avaliados para estimar indiretamente a produtividade da soja (ROCHE, 2015). Contudo, a avaliação de caracteres fisiológicos é onerosa e dependente de vários equipamentos e fatores climáticos, como a radiação do dia, para ser realizada corretamente.

A aplicação de sensoriamento remoto no melhoramento vegetal permite a mensuração de caracteres de plantas de forma rápida e confiável, uma vez que esse processo ocorre pela interação da radiação eletromagnética com a vegetação (TULLIO, 2018). O uso de sensores multiespectrais permite a obtenção de valores de reflectância de plantas nas bandas verdes, vermelho, borda do vermelho (*rededge*) e infravermelho próximo (*NIR*), que com o auxílio de modelos matemáticos, permitem a obtenção de novos valores definidos como índices de vegetação (TEODORO et al., 2019).

Os caracteres fisiológicos apresentam correlação positiva com a radiação incidente em suas folhas (XUE; SU, 2017). Assim, os índices de vegetação podem ser excelentes caracteres de estudo para predição da produtividade de grãos e de características herdáveis como a eficiência fotossintética, facilitando a mensuração de linhagens de soja rapidamente (TAVEIRA et al., 2020).

A aplicação de índices de vegetação no melhoramento vegetal de plantas de soja vem sendo realizado para caracteres agronômicos por meio de fenotipagem de alta precisão (SANTANA et al., 2022). Contudo, o uso de índices de vegetação para avaliação de caracteres fisiológicos se apresenta como uma abordagem indireta para obtenção de produtividade a partir do estudo de caracteres que contribuem indiretamente para o rendimento dos grãos, como a área foliar, fotossíntese, condutância estomática e eficiência do uso da água.

Assim, a hipótese deste trabalho é que os índices de vegetação podem ser utilizados como critério de seleção indireta de programas de melhoramento. Os objetivos desta pesquisa foram: (i) relacionar caracteres fisiológicos e índices de vegetação em genótipos de soja e (ii) identificar índices de vegetação que possam ser utilizados indiretamente para avaliar o desempenho fisiológico de genótipos de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul (18°41'33''S, 52°40'45''W, com 810 m de altitude), Mato Grosso do Sul. O da região solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, com as seguintes características na camada de 0 - 0,20 m: pH (H₂O) = 6,2; Al trocável (cmolc dm⁻³) = 0,0; Ca+Mg (cmolc dm⁻³) = 4,31; P (mg dm⁻³) = 41,3; K (cmolc dm⁻³) = 0,2; Matéria orgânica (g dm⁻³) = 19,74; V (%) = 45; m (%) = 0,0; Soma de bases (cmolc dm⁻³) = 2,3; CTC (cmolc dm⁻³) = 5,1. O clima é caracterizado como Tropical de Savana (Aw). A Figura 1 apresenta o gráfico de temperatura e precipitação durante o período de realização do experimento.

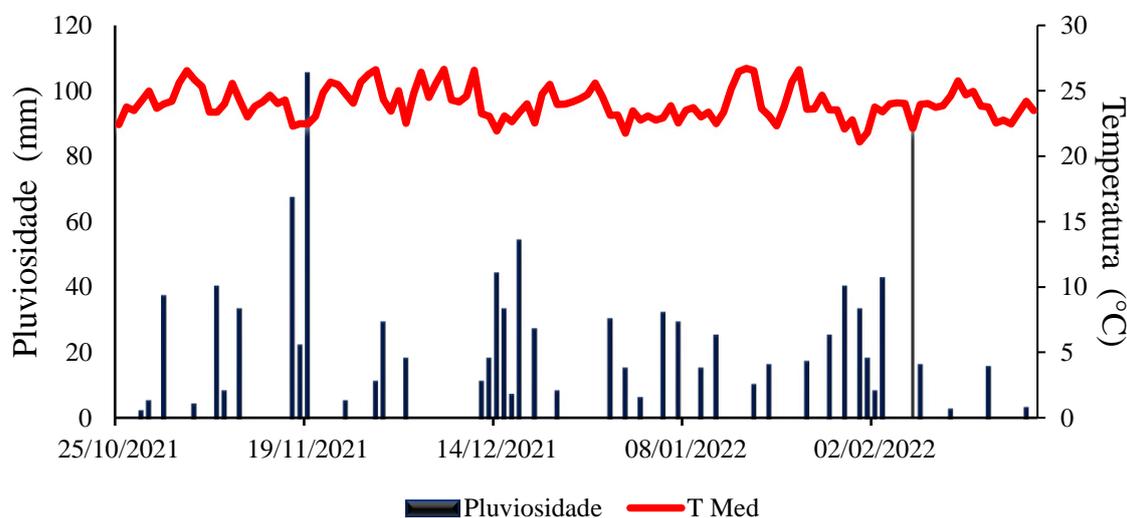


Figura 1. Gráfico de pluviosidade e temperatura média durante a safra 2021/22 na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Foram avaliadas 28 populações F₂ de soja do Programa de Melhoramento UFMS/CPCS. As parcelas consistiram de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e população de 15 plantas por metro.

A semeadura manual ocorreu em outubro de 2021, utilizando preparo convencional do solo (aração e gradagem niveladora). As sementes foram tratadas com fungicida (Piraclostrobina + Metil Tiofanato) e inseticida (Fipronil), na dose de 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes afim de se garantir proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo. Para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), as sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes. Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

Aos 60 dias após a emergência (DAE), foi realizada aquisição da reflectância das plantas, com auxílio de aeronave remotamente pilotada (RPA) de asa fixa Sensefly eBee *Real Time Kinematics* (RTK), com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm), possuindo um sensor de luminosidade que permite a calibração dos valores adquiridos. As informações obtidas nesses comprimentos de ondas permitem o cálculo dos diversos mapas dos índices de vegetação a serem utilizados nos algoritmos computacionais.

As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens foi verificada com pontos de controle em campo (GCP – *Ground Control Points*), levantados com o RTK. Os índices de vegetação calculados foram: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) e SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Os índices de vegetação foram escolhidos em função da maior correlação com a massa vegetal, segundo Raper e Varco (2015), estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral Sequoia.

Sigla	Índice de Vegetação	Equação
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$\frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$
NDRE	Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (<i>Red-edge</i>)	$\frac{(R_{NIR} - R_{EDGE})}{(R_{NIR} + R_{EDGE})}$
GNDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada ao verde	$\frac{(R_{NIR} - R_{GREEN})}{(R_{NIR} + R_{GREEN})}$
SAVI	Índice de vegetação ajustado pela presença de solo	$\frac{(1 + L)(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED} + L)}$

R_{NIR} : reflectância na faixa do infravermelho próximo; R_{GREEN} : reflectância na faixa do verde; R_{RED} : reflectância na faixa do vermelho; R_{EDGE} : reflectância na faixa de transição do vermelho (*Red-edge*); L: fator de correção do efeito do solo.

Aos 60 DAE (mesmo período de obtenção dos IVs) foram avaliadas as características fisiológicas em uma planta por parcela usando um analisador de fotossíntese portátil (*Infrared Gas Analyzer - IRGA*) modelo Li-6400XT (LiCor Inc., Lincoln, Nebraska, EUA), seguindo os procedimentos descritos em Teodoro et al. (2019). Foi utilizado fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de $1044 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentrações de CO_2 no ambiente de $372 \pm 10 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As características fisiológicas medidas foram: fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As medições foram realizadas entre as 8:00 e as 11:00 horas em cinco plantas amostradas aleatoriamente em cada unidade experimental. As medidas foram realizadas em dias sem nuvens, com temperaturas entre 26,0 e 26,5°C e umidade relativa entre 50 e 80%.

A análise estatística foi realizada após a obtenção dos dados, por meio da análise de correlação de Pearson (r) entre os caracteres, obtidas conforme Equação 2:

$$r_{XY} = \frac{COV_{(xy)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_x^2 \times \hat{\sigma}_y^2}} \quad (1)$$

onde: $COV_{(XY)}$ é a covariância entre os caracteres X e Y, $\hat{\sigma}_x^2$ é a variância fenotípica do caráter X e $\hat{\sigma}_y^2$ é a variância fenotípica do caráter Y.

A rede de correlação foi usada para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlação entre os caracteres, onde a proximidade

entre os nós (traços) foi proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das arestas foi controlada aplicando um valor de corte de 0,60, o que significava que apenas $|r_{XY}| \geq 0,60$ tiveram suas bordas destacadas. Finalmente, as correlações positivas foram destacadas em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em escala de vermelho.

As equações 2 e 3 foram utilizadas para obter o primeiro par canônico, que era composto por X_1 e Y_1 e são combinações lineares entre o grupo I (índices de vegetação) e o grupo II (caracteres fisiológicos):

$$X_1 = a'X \quad (2)$$

$$Y_1 = b'Y \quad (3)$$

onde: a' e b' eram autovetores associados ao primeiro autovalor da matriz Y , e X e Y eram vetores que mediam as características que formaram os grupos 1 e 2, respectivamente. As outras três correlações canônicas e pares canônicos foram estimados a partir das expressões descritas acima usando autovetores associados aos autovalores em ordem decrescente.

Todas as análises foram realizadas com o software Genes (CRUZ, 2013), seguindo os procedimentos recomendados em Cruz et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação encontrada entre as variáveis fisiológicas e os índices de vegetação pode ser observada na Figura 1. A rede de correlação de Pearson apresenta as correlações positivas encontradas entre fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO_2 (C_i), e condutância estomática (gs) e transpiração (E). Os índices de vegetação avaliados apresentaram alta correlação positiva entre si, porém com correlação baixa e fraca com as variáveis fisiológicas.

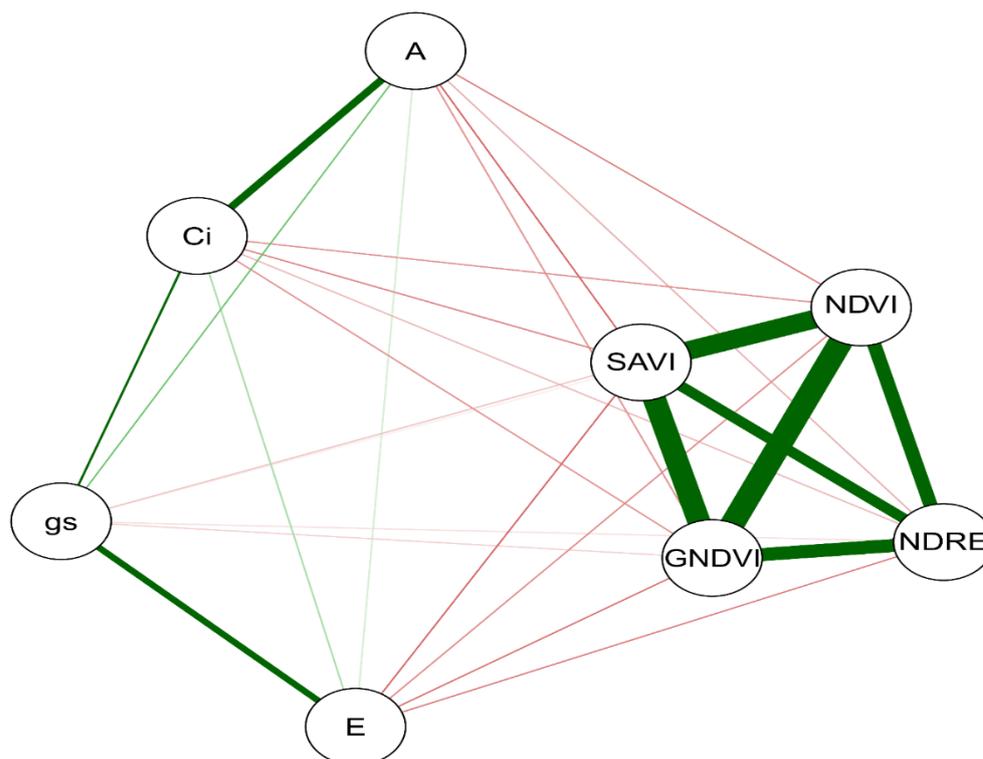


Figura 1. Rede de correlações de Pearson entre as variáveis fisiológicas fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E) com os índices de vegetação NDVI, NDRE, GNDVI e SAVI avaliadas em soja.

A coloração das linhas indica correlação positiva e negativa, quando em verde e vermelho, respectivamente. A espessura da linha expressa a magnitude dessa correlação, onde quando maior a espessura, maior a correlação entre variáveis. As variáveis fisiológicas apresentaram correlação positiva entre si, porém negativas com os índices de vegetação. Já os índices de vegetação apresentam alta correlação entre si, porém baixa correlação com as variáveis fisiológicas.

Essas correlações são esperadas, uma vez que, para a realização de fotossíntese é necessário a existência de moléculas de CO₂ no interior da planta, assim como a abertura e fechamento estomático regula a transpiração foliar (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A alta correlação encontrada entre os índices de vegetação se deve ao fato de todos utilizarem as bandas espectrais do infravermelho próximo para os cálculos matemáticos (CRUZ, 2013). Resultado similar foi observado por Silva et al. (2020) ao avaliarem estes mesmos índices de vegetação na cultura da soja.

As correlações de baixa magnitude entre os índices de vegetação e as variáveis fisiológicas também foram reportados por Pantaleão et al. (2022), onde os autores

observaram correlações positivas somente de caracteres agronômicos com os índices de vegetação. Esse resultado pode ser relacionado ao fator herdabilidade das plantas, onde as características agronômicas são herdadas de seus progenitores, enquanto as características fisiológicas são influenciadas pelo ambiente e não apenas pela genética das plantas (SILVA JUNIOR et al., 2018).

Na análise de correlações canônicas entre as variáveis fisiológicas e os índices de vegetação, não foi observado correlações significativas pelo teste qui-quadrado (p -valor $> 0,05$) (Tabela 2). Esses resultados reforçam a falta de relação linear entre esse grupo de variáveis, conforme observado na Figura 1.

Tabela 2. Correlações canônicas entre as variáveis fisiológicas fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E) com os índices de vegetação NDVI, NDRE, GNDVI e SAVI.

Correlação canônica	0,23	0,16	0,07	0,02
P-valor	0,37	0,73	0,90	0,99

^{ns} não significativo pelo teste qui-quadrado à 5% de probabilidade.

A utilização de índices de vegetação permite a mensuração indireta a campo, , demandando menor tempo e mão de obra para obtenção de resultados (TAVEIRA et al., 2020). Porém, a utilização desses índices para avaliação de caracteres fisiológicos de plantas de soja não apresentou bons resultados neste trabalho, que pode ser relacionado ao fato das plantas pertencerem a populações F₂ e não apresentarem estabilidade genética, e ao fato do ambiente influenciar os genótipos.

As plantas apresentam assinaturas espectrais características, estudadas pelos índices de vegetação, onde mudanças são relacionadas as alterações no aparato fotossintético e seu desempenho (PINTO et al., 2020). Todavia, o comprimento de onda do espectro, ângulo de incidência, características físicas da superfície e conteúdo bioquímico desse material, resulta em variação na quantidade e qualidade da radiação refletida (SILVA BARROS et al., 2021), interferindo nos índices de vegetação.

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram que a utilização de sensor multiespectral não possibilitou a associação dos índices de vegetação com variáveis fisiológicas de soja. Assim, pesquisas futuras são sugeridas utilizando sensor hiperespectral, uma vez que estes permitem a aquisição de maior quantidade de bandas

espectrais e podem melhorar a associação entre os índices de vegetação e as variáveis fisiológicas da soja.

CONCLUSÃO

A relação linear entre variáveis fisiológicas e índices de vegetação em soja apresenta baixa magnitude utilizando sensor multiespectral.

Os índices de vegetação avaliados não podem ser utilizados como critério de seleção indireta de genótipos de soja com maior desempenho fisiológico.

REFERÊNCIAS

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: Conab, v. 11, safra 2023/24, n. 1, primeiro levantamento, out. 2023.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. UFV, Viçosa, 2012.
- PANTALEÃO, A. D. A. et al. Soybean base saturation stress: Selecting populations for multiple traits using multivariate statistics. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, n. 2, p. 168-177, 2022.
- PINTO, J. et al. Detection of defoliation injury in peanut with hyperspectral proximal remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 12, n. 22, e3828, 2020.
- RAPER, T. B.; VARCO, J. J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 62-76, 2015.
- ROCHE, D. Stomatal conductance is essential for high yield potential of C3 crops. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. 1, p 429 –453, 2015.
- SANTANA, D. C. et al. High-throughput phenotyping allows the selection of soybean genotypes for earliness and high grain yield. **Plant Methods**, v. 18, n. 1, p. 13, 2022.

- SILVA BARROS, P. P. et al. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. **Rev. Bras. Cartogr**, v. 73, n. 2, 2021.
- SILVA JUNIOR et al. Soybean varieties discrimination using non-imaging hyperspectral sensor. **Infrared Physics and Technology**, v. 89, p. 338-350, 2018.
- SILVA, E. E. et al. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100318, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Editora Artemed: Porto Alegre, Brazil, 2013.
- TAVEIRA, Aline et al. Selection of soybean F3 populations for agronomic and physiological traits and vegetation indices using multivariate approaches. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 52, n. 2, p. 22-31, 2020.
- TEODORO, L. P. R. et al. Understanding the combining ability for physiological traits in soybean. **PloS one**, v. 14, n. 12, e0226523, 2019.
- TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**. 3. Ed, Atena Editora, .173, v. 3, 2018.
- XUE, J., SU, B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **J. Sensors**, p. 1-17, 2017.