

DESEMPENHO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA AFERIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO

MATEUS LIMA SILVA¹, JOAQUIM MAURO DE MOURA NETO², CARLA EMANUELA DE OLIVEIRA³, IGOR OLIVEIRA DA SILVA⁴, VINÍCIUS BITENCOURT CAMPOS CALOU⁵, ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA⁶

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, IFCE – Campus Iguatu, mateuslimasilva5@gmail.com

² Graduando em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Iguatu*

³ Graduanda em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Iguatu*

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Iguatu*

⁵ Eng. Agrônomo. Prof. Mestre, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Iguatu*

⁶ Eng. Agrônomo. Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Iguatu*

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: O trabalho teve como objetivo avaliar a assertividade de índices de vegetação no monitoramento do déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos na cultura do milho. Os tratamentos impostos à cultura consistiram na aplicação de cinco níveis de reposição hídrica: 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da ET_c, aplicados em quatro fases da cultura: E1 – Inicial, E2 – Crescimento Vegetativo, E3 – Floração e E4 – Maturidade fisiológica. Foram avaliados 10 índices espectrais: NDVI, OSAVI, EVI, C_igreen, GNDVI, VARI, GLI, NGRDI ExG e RGVBI. Os voos foram realizados ao fim de cada estágio fenológico, utilizando uma Aeronave Remotamente Pilotada – ARP. Os dados foram sujeitos ao teste de Shapiro-Wilk e ao teste de correlação de Pearson. Dos resultados, apenas nas fases E2 e E3 os índices conseguiram captar e diferenciar as diferentes reposições hídricas impostas à planta. Apenas o NDVI, OSAVI e GLI exibiram correlação significativa no E2 e E3. Conclui-se, diante dos valores do R de Pearson, que os melhores índices para detectar o déficit hídrico na cultura do milho são o GLI e o NDVI.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação, sensoriamento remoto, ARP

PERFORMANCE OF SPECTRAL INDICES IN MEASURING WATER DEFICIT IN CORN CROPS

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the assertiveness of vegetation indices in monitoring water deficit at different phenological stages in the corn crop. The treatments imposed on the crop consisted of five levels of water replacement: 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of ET_c, applied at four stages of the crop: E1 - Initial, E2 - Vegetative Growth, E3 - Flowering and E4 - Physiological Maturity. Ten spectral indices were evaluated: NDVI, OSAVI, EVI, C_igreen, GNDVI, VARI, GLI, NGRDI ExG and RGVBI. The flights were carried out at the end of each phenological stage using a Remotely Piloted Aircraft - RPA. The data was subjected to the Shapiro-Wilk test and Pearson's correlation test. From the results, only in the E2 and E3 phases were the indices able to capture and differentiate the different water supplies imposed on the plant. Only NDVI, OSAVI and GLI showed a significant correlation in E2 and E3. It can be concluded from the Pearson's R values that the best indices for detecting water deficit in maize are GLI and NDVI.

KEYWORDS: irrigation, remote sensing, RPA

INTRODUÇÃO: O milho (*Zea mays* L.) é amplamente cultivado no Brasil, sendo uma espécie granífera de relevância social, econômica e estratégica para o agronegócio brasileiro. Por outro lado, a cultura é susceptível ao déficit hídrico, acarretando a redução da taxa de crescimento vegetativo, diminuição da atividade fotossintética, murchamento das folhas, diminuição do tamanho das espigas e, conseqüentemente, redução na produção de grãos (Silva *et al.*, 2021). As diversas partes constituintes das plantas reagem de maneira singular à radiação solar, refletindo suas características físicas e químicas. A partir desse princípio, torna-se possível utilizar Índices de Vegetação (IVs) que levam em consideração a absorção de radiação e a reflexão de bandas espectrais específicas pelas vegetações. Essa resposta é primariamente influenciada pela saúde do vegetal e pelo seu respectivo estágio fenológico (Ponzoni, 2001). Diante disso, visando aprimorar as técnicas de monitoramento de déficit hídrico na cultura do milho através de sensoriamento remoto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de índices de vegetação em diferentes estádios fenológicos a partir da aplicação de cinco regimes de déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido em área experimental do Instituto Federal do Ceará - *Campus* Iguatu, na cidade de Iguatu – CE. O experimento de campo ocorreu durante os meses de outubro e dezembro de 2023. A lâmina de água aplicada foi calculada com base em dados climáticos, visando à reposição total (100%) ou parcial (80%, 60%, 40% e 20%) das perdas diárias por evapotranspiração da cultura – ETc. Os tratamentos impostos à cultura do milho (*Zea mays* L.) foram constituídos pelas combinações entre quatro estratégias de déficit de irrigação regulado, variáveis com base em diferentes períodos de início e de término da submissão da cultura à aplicação diferenciada de água ao longo de estádios específicos de desenvolvimento: E1 – Inicial (VE a V4), E2 – Crescimento Vegetativo (V4 a VT), E3 – Floração (VT a R1) e E4 – Maturidade fisiológica (R1 a R4) e de quatro níveis de déficit de irrigação (leve, médio, grave e severo, correspondentes a 80%, 60%, 40% e 20% das necessidades de irrigação, respectivamente), acrescido de um tratamento equivalente à adoção da irrigação plena durante todo o período de crescimento da cultura como controle (100% das necessidades de irrigação). Foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC), com 20 tratamentos e quatro repetições, totalizando oitenta unidades experimentais. Os voos foram conduzidos ao fim de cada estágio do ciclo da cultura. Para obtenção das imagens aéreas foi utilizado uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) modelo Phantom 4 da DJI, embarcado com uma Mapir Survey 3W que captura imagens nas bandas RGN (*Red, Green e NIR*) e o sensor nativo da ARP responsável por captar o espectro visível (RGB). A aquisição dos dados foi feita a partir da média aritmética de 10 pontos coletados por unidade experimental, sendo esses referentes à folha das plantas de milho. Foram avaliados 10 índices de vegetação (IV), 5 multiespectrais (RGN): NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); OSAVI (*Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index*); EVI (*Enhanced Vegetation Index*); CIgreen (*Chlorophyll Index Green*) e GNDVI (*Green normalized difference vegetation index*), além de 5 na faixa do visível (RGB): VARI (*Visible Atmospherically Resistant*); GLI (*Green Leaf Index*); NGRDI (*Normalized Green-Red Difference Index*); ExG (*Excess Green Index*) e RGVBI (*Red Green Blue Vegetation Index*). Os dados foram sujeitos ao teste de Shapiro-Wilk. Após encontrada distribuição normal, foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, objetivando correlacionar os níveis de reposição da lâmina de água com os valores dos IVs, nos estádios da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados das análises estatísticas apresentados na Tabela 1, demonstram que no E1 não foi possível correlacionar nenhum índice com os

régimes de déficit hídrico avaliados. No E2, os seguintes IVs conseguiram distinguir o déficit hídrico na cultura: NDVI, GNDVI, OSAVI, NGRDI, GLI, VARI e ExG, sendo os índices GLI e NGRDI os que exibiram maiores correlações (0,984). Já dentre os índices multiespectrais, o NDVI apresentou o melhor dos desempenhos (0,981). Analisando o E3, constatou-se que apenas três índices conseguiram alcançar correlação significativas, o NDVI, o OSAVI e o GLI, que alcançou o maior valor de R de Pearson - Rp (0,947) frente aos demais. Dentre os multiespectrais, o NDVI expôs o maior valor do parâmetro (0,913). Nenhum dos índices conseguiu diferenciar as lâminas de irrigação aplicadas quando aplicadas no E4 (maturação fisiológica). Dessa forma, infere-se que o GLI e o NDVI foram os IVs que apresentaram melhores desempenhos na caracterização das respostas da cultura do milho à disponibilidade hídrica.

TABELA 1. Síntese dos valores de análise de correlação entre os níveis de déficit hídrico e índices de vegetação (IVs) em diferentes estádios fenológicos na cultura do milho.

IVs	E1		E2		E3		E4	
	Rp	R ²	Rp	R ²	Rp	R ²	Rp	R ²
NDVI	0,705 ^{ns}	0,054	0,981 ^{**}	0,963	0,913 [*]	0,868	0,023 ^{ns}	0,005
GNDVI	0,507 ^{ns}	0,527	0,977 ^{**}	0,955	-0,278 ^{ns}	0,077	0,724 ^{ns}	0,524
OSAVI	0,166 ^{ns}	0,013	0,932 [*]	0,870	0,881 [*]	0,777	-0,429 ^{ns}	0,184
EVI	0,162 ^{ns}	0,026	0,814 ^{ns}	0,663	0,598 ^{ns}	0,357	-0,019 ^{ns}	0,003
CIGreen	0,811 ^{ns}	0,658	-0,113 ^{ns}	0,012	-0,739 ^{ns}	0,546	0,804 ^{ns}	0,647
NGRDI	-0,803 ^{ns}	0,645	0,984 ^{**}	0,969	0,711 ^{ns}	0,505	0,610 ^{ns}	0,372
GLI	-0,084 ^{ns}	0,007	0,984 ^{**}	0,969	0,947 [*]	0,897	0,610 ^{ns}	0,372
VARI	-0,874 ^{ns}	0,763	0,965 ^{**}	0,931	0,452 ^{ns}	0,204	0,791 ^{ns}	0,625
ExG	-0,424 ^{ns}	0,180	0,929 [*]	0,863	0,143 ^{ns}	0,020	-0,020 ^{ns}	0,003
RGVBI	-0,625 ^{ns}	0,391	0,562 ^{ns}	0,335	0,352 ^{ns}	0,209	0,546 ^{ns}	0,298

^{ns}: não significativo (P>0,05); ^{*}: significativo (P<0,05); ^{**}: significativo (P<0,01); Rp = R de Pearson; R² Coeficiente de determinação; E1 – Estádio Inicial, E2 – Crescimento Vegetativo, E3 – Floração e E4 – Maturidade fisiológica.

Junior *et al.*, (2021) ao avaliarem o estado hídrico de cultivares de milho por imagens aéreas constaram que os índices multiespectrais NDVI e OSAVI podem ser utilizados para monitorar a condição hídrica da planta com assertividade, substituindo índices térmicos. O presente trabalho corrobora com a afirmação dos referidos autores. O GLI apresentou melhor desempenho geral entre os IVs, por consequência desse índice ser mais específico para a clorofila do que o restante, visto que, segundo Gitelson e Merzlyak (1997), o uso dos espectros verde e do vermelho têm mais sensibilidade ao conteúdo de clorofila na planta. O E2 demonstrou ser a melhor fase para avaliações através de sensoriamento remoto, que tenham como objetivo identificar o estresse hídrico, pois nesse estágio a cultura está alocando biomassa e em pleno crescimento vegetativo, dessa forma, o déficit hídrico por causar alterações na concentração de pigmentos, mostra-se mais sensível nesse estágio (Zhang *et al.*, 2021; Chaves *et al.*, 2023). A Figura 1 expõe a variação dos IVs que obtiveram melhores desempenhos na Tabela 1. Ao observar o NDVI no E2 constata-se que o menor valor do índice foi de 0,676; justamente no nível de déficit hídrico mais severo. A irrigação sem déficit apresentou NDVI médio de 0,960; o maior dos valores, dando assim ao gráfico uma característica de regressão ajustada ao modelo linear. O GLI apresentou valores mínimos e

máximos, no E2, de 0,073 e 0,204; respectivamente. No E3, os valores dos IVs apresentaram menor intervalo de variação quando comparados com o E2, os valores de NDVI variaram de 0,912 a 0,925, sendo o maior valor encontrado na reposição hídrica de 80% e o menor em 20%, no GLI o valor mínimo foi de 0,174 em 20% e o máximo de 0,206 em 80% e 100%.

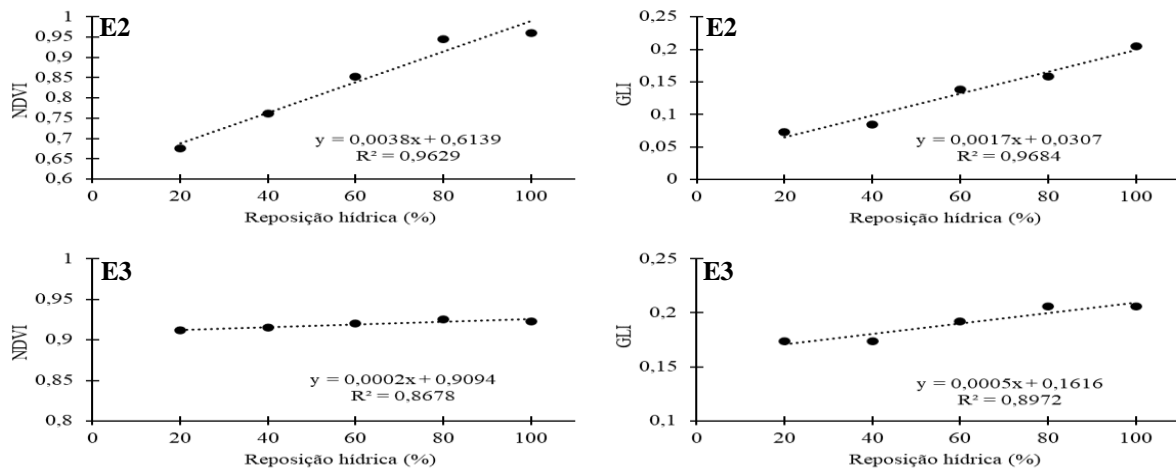


FIGURA 1. Regressões lineares das médias de NDVI e GLI da cultura do milho, nos estádios de crescimento vegetativo (E2) e floração (E3) em função da reposição hídrica.

A redução dos valores dos IVs quando as plantas são submetidas ao estresse hídrico, é explicada por Jensen (2009), na ocasião em que o autor afirma que no momento que a planta é afetada por estresses abióticos, os pigmentos de clorofila diminuem, permitindo que os carotenoides e outros pigmentos se tornem maioria e alterem a resposta espectral do vegetal.

CONCLUSÕES: Os resultados evidenciaram que os índices NDVI e GLI apresentaram maior assertividade na caracterização dos diferentes níveis de déficit hídrico. Não foram detectadas alterações nos valores dos índices nos estádios iniciais e de maturação fisiológica.

REFERÊNCIAS:

- CHAVES, A. R. D. *et al.* Analysis of Principal Components for the Assessment of Silage Corn Hybrid Performance under Water Deficit. **Agriculture**, v. 13, n. 7, p. 1335, 2023.
- GITELSON, A. A., & MERZLYAK, M. N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. **Inter. journal of remote sensing**, v. 18, n. 12, p. 2691-2697, 1997.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução EPIPHANIO, J. C. N. Parênteses, S. J. dos Campos, SP, 598 p., 2009.
- JUNIOR, A. S. D. A. *et al.* Water status evaluation of maize cultivars using aerial images. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 432-442, 2021.
- PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: Sensoriamento Remoto - Reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, EMBRAPA, p.157-199, 2001.
- SILVA, S. *et al.* Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 30-41, 2021.
- ZHANG, L. *et al.* Evaluating the sensitivity of water stressed maize chlorophyll and structure based on UAV derived vegetation indices. **C. and E. in Agriculture**, v. 185, p. 106174, 2021.