

DÉFICIT HÍDRICO NO ESTÁDIO VEGETATIVO DO MILHO: ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DE IMAGENS DE ARP

MATEUS LIMA SILVA¹, JOAQUIM MAURO DE MOURA NETO², ANDRÉ ARAÚJO DO NASCIMENTO³, 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 Graduando 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 objetivo deste trabalho foi correlacionar índices de vegetação com as respostas produtivas do milho sujeito a diferentes níveis de déficit hídrico ao longo da sua fase vegetativa, visando desenvolver equações para estimar sua produtividade. Os tratamentos consistiram na aplicação de cinco níveis de reposição hídrica: 20%, 40%, 60%, 80% e 100% das necessidades de irrigação aplicados entre V4 e VT. Um aerolevanteamento foi conduzido no fim do estágio vegetativo - VT (48 dias após a semeadura). Os índices utilizados foram o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o GLI (*Green Leaf Index*). Avaliou-se as variáveis de produtividade total de espigas frescas sem palha e biomassa seca total das plantas no estágio R4 – Grão pastoso. O déficit hídrico durante o crescimento vegetativo da cultura acarretou a diminuição de ambas as produtividades. O NDVI apresentou valores de coeficiente de determinação (R^2) equivalente a 0,936 para produtividade de espigas e $R^2 = 0,930$ em massa seca. Por outro lado, o GLI apresentou $R^2 = 0,777$ e $R^2 = 0,875$, respectivamente. Conclui-se que, o NDVI foi o índice mais efetivo para realização da estimativa.

PALAVRAS-CHAVE: produtividade, sensoriamento remoto, *Zea mays* L.

WATER DEFICIT IN THE VEGETATIVE STAGE OF MAIZE: YIELD ESTIMATION USING RPA IMAGES

ABSTRACT: The aim of this work was to correlate vegetation indices with the productive responses of maize subjected to different levels of water deficit throughout its vegetative phase, with the aim of developing equations to estimate its yield. The treatments consisted of five levels of water replacement: 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of irrigation requirements applied between V4 and VT. An aerial survey was carried out at the end of the vegetative stage - VT (48 days after sowing). The indices used were NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) and GLI (*Green Leaf Index*). The variables of total yield of fresh ears without straw and total dry biomass of the plants at stage R4 - Pasty grain were evaluated. Water deficit during the crop's vegetative growth led to a decrease in both yields. The NDVI showed coefficient of determination (R^2) values equivalent to 0.936 for ear yield and $R^2 =$

0.930 for dry mass. On the other hand, the GLI showed $R^2 = 0.777$ and $R^2 = 0.875$, respectively. It can be concluded that NDVI was the most effective index for estimation.

KEYWORDS: yield, remote sensing, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO: A cultura do milho (*Zea mays* L.) é difundida na agricultura mundial devido a sua importância econômica e social. A espécie em questão é reconhecida como uma fonte valiosa de nutrientes, tanto para consumo humano quanto animal, graças à sua composição bromatológica dos grãos, haja vista serem ricos em carboidratos, proteínas, vitaminas e minerais (Galvão *et al.*, 2014). Segundo Sousa *et al.* (2015), a produtividade de grãos e de biomassa nas plantas de milho podem ser reduzidas pelo déficit hídrico, variando os respectivos efeitos deletérios de acordo com a fase de incidência ao longo do ciclo e a intensidade desse fenômeno. As imagens aéreas obtidas por ARP (Aeronaves Remotamente Pilotadas) associadas à índices de vegetação, demonstram uma ferramenta de grande potencial de auxílio nas tomadas de decisões no campo (Oliveira *et al.*, 2020). Na cultura do milho, diversos autores demonstraram o potencial dessas tecnologias. A exemplo, Calou *et al.* (2019), na estimativa de biomassa da cultura através de modelos 3D e Lopes *et al.* (2024) detectaram o *status* hídrico com a assistência de índices espectrais. Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho, correlacionar índices de vegetação, adquiridos através de imagens aéreas obtidas por ARP, com as respostas agrônomicas produtivas da cultura do milho submetida a diferentes níveis de déficit hídrico ao longo da sua fase vegetativa, buscando desenvolver equações para estimativa da produtividade através dos índices.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Ceará - *Campus* Iguatu, na cidade de Iguatu – CE, que possui caracterização climática do tipo BSw'h' de acordo com a classificação de Köppen, apresentando-se como semiárido quente. O experimento ocorreu durante os meses de outubro e dezembro de 2023. Os tratamentos impostos à cultura do milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 1051, foram constituídos por quatro estratégias de déficit de irrigação regulado no estágio vegetativo, V4 a VT (17 a 48 dias após a semeadura - DAS), relativo a 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). A irrigação foi efetuada utilizando-se um sistema do tipo gotejamento. As lâminas de água aplicadas foram calculadas com base em dados climáticos. Foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC) com 5 tratamentos e 4 repetições. Estudaram-se as variáveis agrônomicas associadas à produtividade: PTESP – Produtividade total de espigas frescas sem palha (kg ha^{-1}) e BSF – Biomassa seca final (kg ha^{-1}). Os dados de produção foram adquiridos no 73º DAS (grão pastoso – R4), a partir da média aritmética de cinco plantas por bloco. As espigas foram colhidas manualmente, despalhadas e pesadas. Para obter a biomassa seca, as plantas foram cortadas e levadas para uma estufa a 60°C por 48 horas, em seguida, pesadas. Com base nos pesos, estimativas de produtividades foram feitas considerando uma população de 10.000 plantas por hectare (espaçamentos de 1,00 x 0,20 m). Para obtenção das imagens aéreas foi utilizado uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) modelo Phantom 4 da DJI, embarcado com uma Mapiir Survey 3W que captura imagens nas bandas RGN (*Red, Green e NIR*) e o sensor nativo da ARP, responsável por captar o espectro visível. O voo ocorreu aos 48 DAS (VT), sendo esse o fim do estágio vegetativo e da aplicação dos tratamentos de déficit hídrico nesta etapa fenológica. A aquisição dos dados foi feita a partir da média aritmética de 10 pontos coletados por unidade experimental, sendo esses referentes às folhas das plantas de milho. Foram avaliados

dois índices de vegetação, sendo um multiespectral (RGNir) e um na faixa do visível (RGB): o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por Rouse *et al.* (1973) e o GLI (*Green Leaf Index*) proposto por Louchaini *et al.* (2001), respectivamente. Foram conduzidas análises de regressão para correlacionar os dados de produtividade (biomassa fresca das espigas e biomassa seca total da parte aérea) com os dados espectrais derivados dos índices de vegetação, com o auxílio do software Microsoft Excel®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os diferentes níveis de reposição hídrica influenciaram diretamente nas variáveis de produtividade estudadas. A lâmina de irrigação de 20% acarretou valores médios de 11.660,13 kg ha⁻¹ para BSF e de 6.339,82 kg ha⁻¹ para PTESP, a lâmina de 40% correspondeu aos valores de 16.535,38 kg ha⁻¹ de BSF e PTESP igual a 9.066,02 kg ha⁻¹, quando 60% os valores foram de 27.566,88 de kg ha⁻¹BSF e de 9.376,50 kg ha⁻¹ de PTESP, na irrigação de 80% obtiveram-se valores de 28.282,00 kg ha⁻¹ de BSF e 11.139,45 kg ha⁻¹ de PTESP, na lâmina de irrigação plena (100%) as variáveis apresentaram 30.255,5 kg ha⁻¹de BSF e 11.406,15 kg ha⁻¹ de PTESP. Na Figura 1, são apresentadas as correlações dos índices testados no presente trabalho com as variáveis de produtividade.

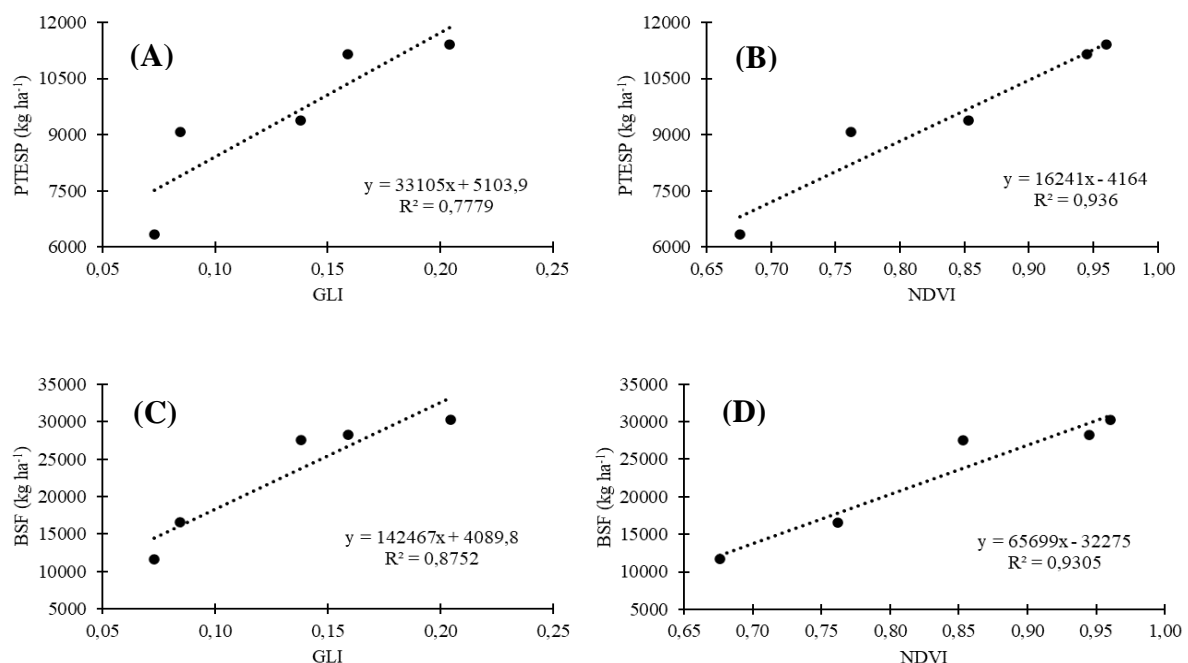


FIGURA 1. Regressão linear entre valores médios de NDVI e GLI de plantas de milho no estágio vegetativo e a sua produtividade final em Biomassa seca final - BSF (kg ha⁻¹) (C & D) e Produtividade total de espigas frescas sem palha - PTESP (kg ha⁻¹) (A & B).

As alterações obtidas através da lâmina de irrigação reforçam a constatação de Sousa *et al.* (2015) de que a produtividade de grãos e de biomassa são diretamente influenciadas pela escassez hídrica, além disso, averiguou-se que o déficit hídrico entre V4 e VT reduz a produtividade. Observando os valores médios dos índices de vegetação, verificou-se que estes variaram entre 0,676 e 0,960 (NDVI) e de 0,073 a 0,204 (GLI). Os índices de vegetação conseguiram distinguir bem os diferentes valores de produtividade pois estas variáveis estão diretamente ligadas ao vigor vegetal no estágio vegetativo da cultura, em que esse estresse acaba sendo captado pelos índices através da diminuição dos pigmentos de clorofila, dessa forma, os carotenos e outros pigmentos tornam-se dominantes e alteram a resposta espectral (Jensen, 2009; Silva *et al.*, 2021). As figuras 1B e 1D demonstram que o NDVI obteve

valores do coeficiente de determinação (R^2) maiores que o GLI (figura 1A e 1C) nas duas variáveis de produtividade estudadas, Sunoj *et al.* (2021) também constaram a maior eficiência do NDVI na estimativa de produtividade, assim como de outros índices que utilizem o infravermelho-próximo (NIR) em relação àqueles que trabalham na faixa do espectro visível. O período de coleta das imagens foi efetivo para estimação da produtividade da cultura, assim como Bertolin *et al.* (2017) concluíram que imagens que representem o máximo estágio vegetativo da cultura têm maior probabilidade de resultarem em uma aferição de produtividade mais precisa.

CONCLUSÕES: Imagens de ARP e a utilização de índices espectrais no estágio vegetativo do milho têm a capacidade de caracterizar o déficit hídrico e estimar a produtividade final da cultura. O NDVI é mais assertivo em comparação ao GLI, na estimativa da produtividade de espigas frescas despalhadas e de biomassa total da parte área.

REFERÊNCIAS:

- BERTOLIN, N. O. *et al.* Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1627, 2017.
- CALOU, V. B. *et al.* Estimation of maize biomass using unmanned aerial vehicles. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 744-752, 2019.
- GALVÃO, J. C. C. *et al.* Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 819-828, 2014.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução da 2 ed.: José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 598 p. 2009.
- LOPES, A. S. *et al.* Detecção do estado hídrico em híbridos de milho com imagens aéreas obtidas por aeronave remotamente pilotada. **Revista Caatinga**, v. 37, p. e11701, 2024.
- LOUHAICHI, M., BORMAN, M. M., & JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.
- OLIVEIRA, A. J. *et al.* Drones potentiality use in precision agriculture. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.
- ROUSE J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.
- 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.
- SOUSA, R. S. *et al.* Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 49-60, 2015.
- SUNOJ, S. *et al.* Corn grain yield prediction and mapping from Unmanned Aerial System (UAS) multispectral imagery. **Remote Sensing**, v. 13, n. 19, p. 3948, 2021.