

RELAÇÕES ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRODUTIVIDADE DO SORGO CULTIVADO NA ENTRESSAFRA NO CERRADO MARANHENSE

CESAR LOPES DOS REIS ¹, ISLAYNNE MARIA DE OLIVEIRA ROCHA ²,
ANDREZA MACIEL DE SOUSA ³, ANDERSON DE MOURA ZANINE ⁴,
WASHINGTON DA SILVA SOUSA ⁵, FRANCISCO NAYSSON DE SOUSA SANTOS ⁶

¹Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, e-mail: cesar.lobes@discente.ufma.br

²Graduanda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão.

³Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão.

⁴Zootecnista. Dr. em Zootecnia, Prof. da Universidade Federal do Maranhão.

⁵Físico, Dr. em Física, Prof. da Universidade Federal do Maranhão.

⁶Zootecnista. Dr. em Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão.

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

RESUMO: O sorgo é umas das cultivares de maior importância econômica mundial e requer estudos que avaliem seu desenvolvimento e produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar as relações entre índices de vegetação e a produtividade do sorgo cultivado na entressafra agrícola no cerrado maranhense. Neste estudo, os índices de vegetação *Excess green* (EXG), *visual atmospheric resistance index* (VARI), *Modified photochemical reflectance index* (MPRI), *Normalized difference vegetation index* (NDVI) foram mensurados a 37 dias após a semeadura (DAS) e 87 DAS. Além disso, mensurou-se a produtividade da panícula (PP), colmo (PC), folha (PF), do grão (PG) e biomassa total (PBT). O ExG apresentou melhor desempenho, especialmente aos 37 DAS, com correlação significativa de intensidade moderada para a PP ($r = 0,475$), e correlação significativa de intensidade fraca com PC ($r=0,351$), PBT ($r=0,392$) e PG ($r=0,361$). Para os demais índices de vegetação, NDVI, MPRI e VARI não existiu correlação significativa com os parâmetros de produtividade. Há uma tendência de maior relação entre os índices de vegetação com a produção de biomassa em comparação com a produtividade de grãos.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura digital, geotecnologias, sustentabilidade

THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION INDICES AND SORGHUM PRODUCTIVITY DURING THE OFFSEASON IN THE MARANHÃO CERRADO

ABSTRACT: Sorghum is one of the cultivars of greatest global economic importance and requires studies to evaluate its development and productivity. The objective of this study was to evaluate the relationships between vegetation indices and the productivity of sorghum cultivated during the agricultural offseason in the Maranhão Cerrado. In this study, the vegetation indices *Excess Green* (EXG), *Visual Atmospheric Resistance Index* (VARI), *Modified Photochemical Reflectance Index* (MPRI), and *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) were measured at 37 days after sowing (DAS) and 87 DAS. Additionally, the productivity of the panicle (PP), stem (PC), leaf (PF), grain (PG), and total biomass (PBT) was measured. The EXG showed better performance, especially at 37 DAS, with a significant moderate correlation with PP ($r = 0.475$) and a weak but significant correlation with PC ($r = 0.351$), PBT ($r = 0.392$), and PG ($r = 0.361$). For the other vegetation indices, NDVI, MPRI, and VARI, there was no significant correlation with the productivity parameters. There is a trend of a stronger relationship between vegetation indices and biomass production compared to grain productivity.

KEYWORDS: digital agriculture, geotechnologies, sustainability

INTRODUÇÃO: No Brasil, o cultivo da soja tem maior extensão e normalmente dá-se preferência pelo plantio de milho ou milheto para a segunda safra. No entanto, no cerrado maranhense, por questões edafoclimáticas, torna-se desafiador a safrinha convencional, fazendo com que o sorgo seja utilizado para palhada ou alimentação animal. Na entressafra agrícola, o manejo de cultivos exige cuidados na sua produção, sendo necessário estudos e técnicas que analisam o vigor e produtividade da cultura. Para esse monitoramento do vigor das plantas, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) estão ganhando cada vez mais importância, desempenhando um papel importante na agricultura, especialmente através do sensoriamento remoto, permitindo a captura de imagens georreferenciadas, que, após o processamento, podem gerar índices de vegetação, fornecendo informações biofísicas sobre o desenvolvimento das culturas. (FANG et al., 2016; SAKAMOTO, 2020). Entre os índices utilizados para análises, temos Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Refletância Fotoquímica Modificado (MPRI) e Índice Visível de Resistência Atmosférica (VARI). Nessa perspectiva, este estudo testou técnicas de sensoriamento remoto, avaliação de índices de vegetação a partir de imagens não orbitais e sensores portáteis, correlacionando com o acúmulo de biomassa e produtividade do sorgo. Assim objetivou-se avaliar as relações entre índices de vegetação e a produtividade do sorgo cultivado na entressafra agrícola no cerrado do Leste maranhense.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado na Universidade Federal do Maranhão, localizado em Chapadinha, MA (03°44'33" S, 43°21'21" W), Brasil. A área experimental possuía 30 m² e com 5 parcelas de 6m². Cada parcela foi composta em um conjunto de 20 plantas, totalizando 100 plantas em toda a área. A semeadura foi conduzida manualmente, utilizando o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor cv. BRS Ponta Negra*). Foram registradas as medidas de peso de colmo, folhas vivas, folhas, grãos e peso da panícula, utilizou-se uma balança digital de precisão. Posteriormente, o material foi seco em estufa para estimar o % de matéria seca do colmo (kg/ha), folhas vivas (kg/ha) e panícula (kg/ha). A produção da biomassa total foi determinada pelo somatório dessas frações. Além disso, a produtividade dos grãos/ hectare foi estimada. Para a captura de imagens, foi utilizado um VANT do modelo DJI PHANTOM 4PRO, equipado com uma câmera RGB, com Resolução Espacial (GSD) inferior a 2 cm por pixel. O plano de voo foi por meio do aplicativo Drone Deploy, e o ortomosaico foi gerado no *software* Open Drone MAP. A aquisição das imagens ocorreu aos 37 e 87 dias após a semeadura (DAS), entre 11h e 13h, com a altura de voo 30 metros. Posteriormente, as imagens capturadas foram processadas no *software* QGIS para determinar os índices de vegetação de acordo com a grade determinada em cada parcela experimental. Foram calculados Excesso Verde (EXG), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) e Índice de Refletância Fotoquímica Modificado (MPRI). Os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram obtidos com o auxílio do sensor portátil *GreenSeeker*®. As coletas foram realizadas a uma altura entre 0,8 e 1,2 metros acima do dossel da planta e paralelamente à superfície do solo. A suposição de normalidade foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Uma análise descritiva foi conduzida no banco de dados. A análise de correlação linear de Pearson foi empregada, adotando um nível de significância de 5%. Para avaliar as correlações, utilizou-se a classificação de Callegari-Jacques (2003), em que o coeficiente de expressão (r) pode ser interpretado qualitativamente nos intervalos: 0,9 < |r| > 1,0, vitrificação muito forte; 0,7 < |r| > 0,9, vitrificação forte; 0,4 < |r| > 0,7, projeção moderada; 0,2 < |r| > 0,4, retrospectiva fraca; 0,0 < |r| > 0,2, mostra muito fraca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1, 2, 3 e 4 mostra a matriz de correlação de Pearson (r) entre os índices EXG, NDVI, MPRI e VARI aos 37 dias DAS, 87 DAS e a produtividades da panícula, do colmo, biomassa total e dos grãos

Observou-se correlação significativa e positiva entre o índice de crescimento EXG aos 37 dias DAS e as produtividades com panícula, colmo, biomassa total e grãos, mas não com folhas. Aos 87 dias, não houve correlação significativa. O índice médio EXG das duas coletas só teve correlação significativa com a produtividade da panícula (Tabela 1).

TABELA 1. Correlação do índice de EXG e produtividade do sorgo

Item	PP	PC	PF	PBT	PG	EXG1	EXG6	EXGM
PP	-							
PC	0,616**	-						
PF	0,706**	0,673**	-					
PBT	0,732**	0,985**	0,762**	-				
PG	0,723**	0,409**	0,465**	0,495**	-			
EXG1	0,475**	0,351*	0,293	0,392*	0,361*	-		
EXG6	0,056	-0,063	0,035	-0,039	-0,041	0,004	-	
EXGM	0,349*	0,179	0,216	0,223	0,202	0,649**	0,764**	-

Legenda: PP= produção da panícula (kg ms/ha), PC= produção do colmo (kg ms/ha), PF= produção da folha (kg ms/ha), PBT= produção da biomassa total (kg/ha), PG= produção do grão (kg/ha), EXG1= *Excess Green* na coleta 1, EXG6= *Excess Green* coleta 2 e EXGM = média do valor de *Excess Green* nas coletas. Nota: *Significativo (p-valor <0,05), ** Significativo (p-valor <0,01).

Para o NDVI, tanto aos 37 DAS, 87 DAS, e valor médio de NDVI médio entre as duas coletas, não foram encontradas correlações significativas com as produtividades do sorgo (Tabela 2). (WANG et al., 2014), ao empregarem o *GreenSeeker*®, observaram valores de correlações superiores aos encontrados na presente pesquisa, variando entre 0,36 e 0,87.

TABELA 2. Correlação do NDVI com a produtividades do sorgo.

Item	PP	PC	PF	PBT	PG	NDVII	NDVI6	NDVIM
PP	-							
PC	0,616**	-						
PF	0,706**	0,673**	-					
PBT	0,732**	0,985**	0,762**	-				
PG	0,723**	0,409**	0,465**	0,495**	-			
NDVII	0,280	0,111	-0,063	0,129	0,236	-		
NDVI6	0,113	0,243	0,206	0,238	0,210	0,076	-	
NDVIM	0,295	0,185	0,014	0,200	0,288	0,938**	0,417**	-

O índice MPRI não apresentou correlações com as produtividades a 37 DAS e 87 DAS (Tabela 3). Em termos gerais, esse resultado pode ser justificado provavelmente por ser cultivado no período da entressafra, onde as chuvas são menos frequentes.

TABELA 3. Correlação entre o MPRI e a produtividade do sorgo

Item	PP	PC	PF	PBT	PG	MPRI1	MPRI6	MPRIM
PP	-							
PC	0,616**	-						
PF	0,706**	0,673**	-					
PBT	0,732**	0,985**	0,762**	-				
PG	0,723**	0,409**	0,465**	0,495**	-			

MPRI1	0,049	0,039	-0,053	0,035	-0,032	-		
MPRI6	-0,162	-0,012	0,145	-0,021	0,029	-0,401**	-	
MPRIM	-0,086	0,029	0,071	0,017	-0,002	0,658**	0,425**	-

Os valores do índice VARI, tanto aos 37 DAS quanto aos 87 DAS e o valor médio (VARI médio das duas coletas), não apresentam correlações significativas com as produtividades panícula, colmo, biomassa total e grãos. No entanto, houve correlações negativa consistente na produtividade da folha em todas as análises. Além disso, para a produtividade do colmo, biomassa total e grãos, houve uma demonstração negativa com os valores de VARI aos 87 DAS, enquanto uma correlação positiva de intensidade muito fraca foi observada aos 37 DAS, (Tabela 4).

TABELA 4. Correlação entre o VARI e a produtividade do sorgo

Item	PP	PC	PF	PBT	PG	VARI1	VARI6	VVARIM
PP	-							
PC	0,616**	-						
PF	0,706**	0,673**	-					
PBT	0,732**	0,985**	0,762**	-				
PG	0,723**	0,409**	0,465**	0,495**	-			
VARI1	0,104	0,005	-0,076	0,013	0,054	-		
VARI6	-0,284	-0,172	-0,079	-0,193	-0,016	-0,399*	-	
VARIM	-0,060	-0,088	-0,115	-0,093	0,055	0,815**	0,206	-

O presente forneceu evidências que existe correlações entre índices de vegetação, onde o índice de *Excess Green* (EXG) 37 DAS, apresentou correlação significativa de intensidade moderada para a produção da panícula, e correlação significativa. Com base no estudo realizado, a coleta de dados aos 37 DAS se destacou obtendo uma maior significância das correlações comparado a 87 DAS.

CONCLUSÕES: O índice de vegetação *Excess Green*, aos 37 dias após a semeadura, demonstrou uma relação mais acentuada com os parâmetros de produtividade do sorgo cultivado na entressafra agrícola no cerrado do Leste maranhense, havendo uma tendência de maior entre os índices de vegetação com a produção de biomassa em comparação com a produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS:

- Callegari-Jacques, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed Editora, 2009.
- FANG, S.; TANG, W.; PENG, Y.; GONG, Y.; DAI, C.; CHAI, R.; LIU, K. Remote Estimation of Vegetation Fraction and Flower Fraction in Oilseed Rape with Unmanned Aerial Vehicle Data. **Remote Sens**, 8, 416, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8050416>
- SAKAMOTO, T. Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 160, 208–228, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.12.012>
- WANG, L.; TIAN, YAO, Y.; ZHU, Y.; CAO, W. Predicting grain yield and protein content in wheat by fusing multi-sensor and multitemporal remote-sensing images. **Field Crops Research**, 164, 178-188, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.001>