AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO POR IMAGEM DE VANT PARA A DETECÇÃO DE ESTRESSE EM CULTURAS DE MILHO, SOJA E FEIJÃO

Breno Henrique Gomes dos Santos Freitas [1], Marley Lamounier Machado[1], Aurinelza Batista Teixeira Conde [2], João Roberto de Mello Rodrigues [2], . Wallisson Geraldo de Souza Cardoso[3]

[1] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG
Av. José Cândido da Silveira 1647, Belo Horizonte, MG, 31170-495
breno-henrique0607@ufmg.br, marley@epamig.br;
[2] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Sul
Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000
aurinelza@epamig.br; jrmello@epamig.br;
[3] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Centro Oeste
Rodovia MG 424 km 64, Prudente de Morais, MG, 35701-970
wallisson@epamig.br

RESUMO

Este estudo investigou o emprego de 18 IV's para detectar estresse em culturas de milho, soja e feijão, utilizando imagens de VANT. Experimentos foram realizados em campos experimentais da EPAMIG, onde insumos foram aplicados para induzir estresse em dois estádios fenológicos: vegetativo e reprodutivo. Foram criados mosaicos RGB e multiespectrais com as imagens do VANT. Posteriormente foram calculados os IV's e a ANOVA foi utilizada para comparar áreas com e sem estresse. Para a soja, todos os IV's apresentaram capacidade de distinguir áreas com e sem estresse, com exceção do REWDRVI e OSAVI. No milho, não houve diferenças significativas entre as áreas com e sem estresse devido ao pouco efeito do insumo na indução do estresse. No feijão, a eficácia dos índices variou conforme o estádio fenológico. Este estudo sugere que os IV´s utilizados tendem a ser eficazes para identificar áreas em estresse desde que realizado a calibração radiométrica.

Palavras-chave — Drone, Sensoriamento Remoto, Agricultura de precisão, Grãos, Mavic 3m.

ABSTRACT

This study investigated the use of 18 Vegetation Indices (VIs) to detect stress in maize, soybean, and bean crops using UAV imagery. Experiments were conducted in experimental fields at EPAMIG, where inputs were applied to induce stress in two phenological stages: vegetative and reproductive. RGB and multispectral mosaics were created from UAV images. The VIs were then calculated, and ANOVA was used to compare stressed and non-stressed areas. For soybean, all VIs were capable of distinguishing between stressed and non-stressed areas, except for REWDRVI and OSAVI. In maize, there were no significant differences between stressed and non-stressed areas due to the minimal effect of the input on stress induction. In beans, the effectiveness of the indices varied depending on the phenological stage. This study suggests that the VIs used tend to be effective for identifying stressed areas, provided that radiometric calibration is performed.

Key words —*UAV, Remote Sensing, Precision Agriculture, Grains, Mavic 3M*

1. INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta diversos desafios, como ação de pragas e doenças, longos períodos de estiagem, aumento de temperatura e etc. Com a crescente demanda por práticas agrícolas eficientes, a capacidade de monitorar a saúde das plantas torna-se crucial. Nesse contexto, o sensoriamento remoto se consolida como uma ferramenta essencial para o monitoramento da saúde das culturas, especialmente na identificação de áreas estressadas. Este trabalho investigou o emprego de 18 índices de vegetação (IV) na detecção de estresse em culturas de milho, soja e feijão, utilizando imagens de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Ao avaliar cada índice, buscou-se identificar aquele que melhor distingue entre áreas estressadas e não estressadas, proporcionando informações para os agricultores e que permita intervenções rápidas e assertiva de forma a contribuir para um manejo mais eficiente das lavouras e para otimizar recursos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em dois campos experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). O primeiro experimento foi realizado em uma área com cultivo de milho de 1,0108 hectares no Campo Experimental de Arcos (CEAR), em Arcos, MG (coordenadas centrais: 20°19'20.76"S e 45°36'39.67"O), utilizando a cultivar BM 3063 Pro2. O segundo experimento ocorreu em uma área com cultivo de soja de 1,3777 hectares no Campo Experimental de Lambari, em Lambari (CELB), MG (coordenadas centrais:

21°56'39.93"S e 45°18'40.75"O), utilizando as cultivares de soja BRS MG 800 e BRS MG 715. O terceiro experimento foi realizado tambem no CEAR, em uma área com cultivo de feijão de 2 hectares no , utilizando a cultivar BRSMG Marte, em área adjacente ao primeiro experimento.

Em todos os experimentos foram escolhidas, aleatoriamente, locais para instalação de parcelas visando a indução de extresse por diferentes insumos. No experimento de milho foram 37 parcelas de 4,0 m² cada. Nos experimentos de feijão e soja foram 32 e 34 parcelas, respectivamente, sendo cada parcela de 1,5 m². Foram tambem obtidas parcelas de vegetação sem estresse nas mesmas quantidades e valor de área nos respectivos experimentos. As datas de plantio foram em 19/12/2023, 07/12/2023 e 26/02/2024 para as culturas do milho, soja e feijão, respectivamente.

O georeferenciamento dos locais de parcelas foi feito com o GNSS Trimble R8 RTK (Trimble Inc.). As análises de geoinformação foram feitas utilizando o software Quantum GIS (QGIS) versão 3.34.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as épocas em que foram feitas as induções de estresse (estádio fenológico, data da indução do estresse e dos dias após plantio), bem como, o insumo utilizado para esse fim, para as culturas do milho, soja e feijão, respectivamente.

Estádio fenológico	Data da indução do estresse	Dias após plantio	Insumo
V7	05/03/2024	77	Uréia a 10% em agua
R2	10/04/2024	113	Gasolina a 20% em água.

Tabela 1. Épocas e insumo utilizado para indução de estresse na cultura do milho

Estádio fenológico	Data da indução do estresse	Dias após plantio	Insumo
V3	05/03/2024	54	Calcário 10 t. ha^{-1}
R5	28/02/2024	83	Gasolina a 100 %

Tabela 2. Épocas e insumo utilizado para indução de estresse na cultura da soja

Estádio fenológico	Data da indução do estresse	Dias após plantio	Insumo
V4	11/04/2024	45	Uréia a 10% em agua
R5	30/04/2024	64	Glifosato a 5% em agua

Tabela 3. Épocas e insumo utilizado para indução de estresse na cultura do feijão

Utilizou-se o VANT DJI Mavic 3M RTK (Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd.), equipado com um sensor RGB de 20 MP e um sensor multiespectral de 5 MP, contendo as bandas Green (560 ± 16 nm), Red (650 ± 16 nm), RedEdge (730 ± 16 nm) e NIR (860 ± 26 nm).

As imagens das lavouras por VANT foram obtidas 10 dias após a aplicação dos insumos para provocar o estresse, a uma altura média de voo de 60 metros, entre os horários de 11:00 e 13:00 hs de forma a diminuir o efeito de sombreamento na lavoura. Estas imagens foram utilizadas para gerar mosaicos RGB e multiespectrais via o software Pix4D Mapper (Pix4D SA). Com base nos mosaicos multiespectrais de cada banda, foi realizada a normalização dos respectivos valores usando a função de calculadora de raster do QGIS, a fim de que os valores de pixel dos mosaicos tivessem uma amplitude de dados entre 0 e 1, para que os indices que possuissem fatores de correção pudessem ser utilizados. Posteriormente, usando o QGIS, foram calculados 18 IVs, sendo eles: GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), TNDVI (Transformed Normalized Difference Vegetation Index), GRDVI (Green Red Difference Vegetation Index), GWDRVI (Green Weighted Difference Vegetation Index), RENDVI (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index), REWDRVI (Red Edge Weighted Difference Vegetation Index), GOSAVI (L=1) (Green-Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index), GOSAVI (L=0.16), GSAVI (Green Soil Adjusted Vegetation Index) (L=0), GSAVI (L=1), GSAVI (L=0.5), OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), OSAVIGRE (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index With Green), OSAVIREG (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index With Red Edge), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e SAVIGRE (Soil Adjusted Vegetation Index with Green). Esses Índices foram utilizados em função das respectivas aplicabilidades em atividades relacionadas à condição de saúde das plantas em cultivos agrícolas, conforme mencionados em diferentes artigos na literatura.

Em seguida, foi realizada estatística zonal via ferramentas do QGIS, utilizando os shapefiles das parcelas das áreas com e sem estresse, para calculo dos valores médios dos pixels dos índices em cada uma destas parcelas. Após essa etapa, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) utilizando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). A variável resposta foi os valores médios dos pixels em cada índice de vegetação. Já o tratamento foi o tipo da parcela (com ou sem estresse), sendo o teste de média o de Tukey, a 95% de confiança. Para esta análise foi utilizado o software MINITAB 14.

3. RESULTADOS

As Tabelas 4 e 5 apresentam a comparação de média para os 18 IVs em cada estádio fenológico, provenientes da ANOVA e do teste de Tukey a 95% de confiança, para as culturas do milho, soja e feijão, respectivamente.

A ANOVA para o experimento do milho demonstrou não haver nenhum índice com diferença significativa entre as médias na condição com e sem estresse, nos dois estádios fenológicos.

Para o experimento da soja (Tabela 4), no estádio fenológico V3, as diferenças significativas foram observadas em todos os índices, com exceção do OSAVIREG e REWDRVI. No estádio fenológico R5, todos os índices apresentaram diferenças significativas entre as áreas com e sem estresse.

Soja								
Índices	Estádio V3				Estádio R5			
	Média com Estresse		Média sem estresse		Média com Estresse		Média sem estresse	
GNDVI	0,0228	a	0,0528	b	0,1143	A	0,1456	B
GOSAVI L = 0	0,0076	a	0,0180	b	0,0351	A	0,0489	B
GOSAVI L = 0,16	0,0172	a	0,0402	b	0,0836	A	0,1101	B
GRDVI	0,0162	a	0,0381	b	0,0433	A	0,1037	B
GSAVI L = 0	0,0342	a	0,0792	b	0,1715	A	0,2185	B
GSAVI L = 1	0,0114	a	0,0270	b	0,0130	A	0,0733	B
GSAVI L = 0,5	0,0170	a	0,0402	b	0,0803	A	0,1094	B
GWDRVI	-0,7739	a	-0,7628	b	-0,7343	A	-0,7187	B
NDVI	0,1898	a	0,2433	b	0,2481	A	0,3680	B
NDWI	-0,0228	a	-0,0528	b	-0,1143	A	-0,1456	B
OSAVI	0,1376	a	0,1800	b	0,1773	A	0,2698	B
OSAVIGRE	0,0199	a	0,0466	b	0,0970	A	0,1277	B
OSAVIREG	-0,0834	a	-0,0836	a	-0,0207	A	-0,0489	B
RENDVI	0,2730	a	0,3239	b	0,2697	A	0,4133	B
REWDRVI	-0,8177	a	-0,8171	a	-0,7931	A	-0,8035	B
SAVI	0,1304	a	0,1745	b	0,1664	A	0,2595	B
SAVIGRE	0,0170	a	0,0402	b	0,0803	A	0,1094	B
TNDVI	0,8212	a	0,8572	b	0,8619	A	0,9300	B

Tabela 4. Análise de variância para índices de vegetação na cultura de soja em áreas com e sem estresse, em dois estádios fenológicos

(Observação: Letras iguais na mesma linha e no mesmo estádio fenológico não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de confiança)

No caso do experimento do feijão (Tabela 5), estádio fenológico V4, houve diferença significativa apenas nos índices REWDRVI e OSAVIREG. No estádio fenológico R5, todos os índices mostraram diferenças significativas, exceto para REWDRVI e OSAVIREG.

Feijão								
Índices	Estádio V4				Estádio R5			
	Média com Estresse		Média sem estresse		Média com Estresse		Média sem estresse	
GNDVI	0,0748	a	0,0483	a	-0,0239	A	0,0614	B
GOSAVI L = 1	0,0265	a	0,0177	a	-0,0100	A	0,0213	B
GOSAVI L = 0,16	0,0377	a	0,0578	a	-0,0197	A	0,0472	B
GRDVI	0,0367	a	0,0555	a	-0,0203	A	0,0449	B
GSAVI L = 0	0,1121	a	0,0724	a	-0,0358	A	0,0922	B
GSAVI L = 1	0,0398	a	0,0265	a	-0,0151	A	0,0320	B
GSAVI L = 0,5	0,0387	a	0,0586	a	-0,0213	A	0,0475	B
GWDRVI	-0,7499	a	-0,7615	a	-0,7889	A	-0,7556	B
NDVI	0,2445	a	0,2238	a	0,0648	A	0,2555	B
NDWI	-0,0748	a	-0,0483	a	0,0239	A	-0,0614	B
OSAVI	0,1816	a	0,1660	a	0,0464	A	0,1900	B
OSAVIGRE	0,0670	a	0,0438	a	-0,0228	A	0,0547	B
OSAVIREG	-0,0596	a	-0,0727	b	-0,0634	A	-0,0673	B
RENDVI	0,3031	a	0,2959	a	0,1379	A	0,3186	A
REWDRVI	-0,8121	a	-0,8066	b	-0,8086	A	-0,8079	B
SAVI	0,1610	a	0,1765	a	0,0431	A	0,1848	A
SAVIGRE	0,0387	a	0,0586	a	-0,0213	A	0,0475	B
TNDVI	0,8411	a	0,8572	a	0,7422	A	0,8640	B

Tabela 5. Análise de variância para índices de vegetação na cultura do feijão em áreas com e sem estresse, em dois estádios fenológicos

(Observação: Letras iguais na mesma linha e no mesmo estádio fenológico não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de confiança)

4. DISCUSSÃO

No milho, a ausência de indices de vegetação com diferença significativa entre as médias para as áreas com e sem estresse, estádio fenologico V7, deve-se, principalmente, à menor eficiência do insumo utilizado para induzir o estresse. Por outro lado, entre as datas de obtenção de imagem nos estádios fenológicos V7 e R2, houve um período de seca de 19 dias (23/03 a 10/04), conforme dados de estação climatológica instalada no Campo Experimental, o que pode ter provocado senescência nas folhas e assim, descarecterizou o estresse induzido. A aceleração da senescência, a abscisão das folhas e a redução da área foliar ocorre porque o solo seco não pode fornecer nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura , sendo que o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento [1].

No experimento com soja (Tabela 4), no estádio V3, apenas os índices REWDRVI e OSAVIREG não mostraram diferenças significativas. Nesse sentido, no estádio R5, todos os índices indicaram diferenças significativas entre áreas com e sem estresse, evidenciando a eficiência dos IVs. Na Figura 2 é apresentado parte do mosaico da área do experimento de soja em que pode-se identificar visualemente as áreas com o estresse induzido.



Figura 2. Recorte de mosaico da área do experimento de soja com indicação de locais com o estresse induzido

Em relação ao experimento do feijão (Tabela 5), o insumo utilizado no estádio V4 para induzir o estresse não foi eficiente, em que o tipo e dosagem utilizados foram inadequados. No estádio V5, a sensibilidade dos índices demonstra que, em condições de estresse bem definidas, a detecção pelos IVs foi eficaz. Observa-se que os indices de vegetação REWDRVI e OSAVIREG apresentaram resultados contrários aos demais no mesmo estádio fenológico.

Com isso, entende-se que há um indicativo de comportamento atipico desses indices neste estudo. Nesse sentido, no estudo [2], o REWDRVI apresentou um comportamento similar ao NDVI no cultivo de arroz quando relacionado à características da planta de arroz, cujos coeficientes de determinação (R^2) e a Raiz do Erro Médio Quadratico (RMSE) variaram entre 0,80 a 0,95 e entre 0,04 a 0,21, respectivamente. Enquanto que o OSAVIREG teve relação significativa com o indice de área foliar, o índice de doença e a taxa fotossintetica, com R^2 de 0,2304, -0,4489 e 0,2034, respectivamente ([3] e [4]).

O comportamento átipico dos IV's REWDRVI e OSAVIREG podem estar ligados à resposta espectral proveniente, principalmente, da banda RedEdge do VANT. Nesse caso, apesar de o fabricante informar que o VANT possui sensor de luz solar espectral que detecta a irradiância solar em tempo real para obter refletividade de banda mais precisa [5], pode estar havendo distorções nas imagens originais, visto que os IV´s foram calculados utilizando as imagens brutas provenientes do VANT e sem a utilização de placa de referencia. Esta placa seria utilizada para a calibração radiométrica e obtenção de valores de reflectância absolutos. Para fins de ilustração, as Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento espectral das bandas Green, Red, RedEdge e NIR para o VANT Mavic 3M (sem placa de referência) e para o VANT Ebee SQ (utiliza de placa de referência para correção radiométrica e sensor de correção de iluminação). Em ambos os casos, utilizou-se média de pixeis nos pontos amostrais das parcelas do feijão com estresse, estádio fenologico V4. Observa-se que quando não há o uso da placa de referência, há uma inversão das bandas NIR e RedEdge, visto que na vegetação sadia a banda NIR deveria refletir mais que a RedEdge. E neste caso ambas são usadas no calculo, tanto do REWDRVI quanto do OSAVIREG.

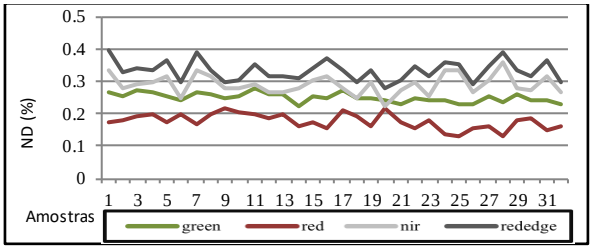


Figura 3. Comportamento espectral das bandas por ponto amostral em Numero Digital

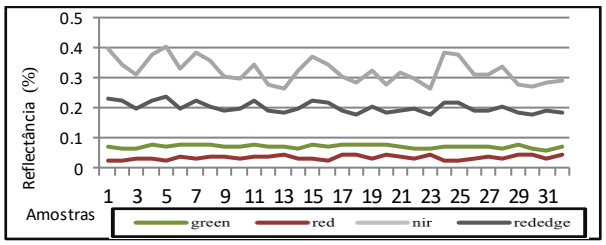


Figura 4. Comportamento espectral das bandas por ponto amostral em Reflectância

(Observação: Valores obtidos através do VANT Ebee SQ com sua respectiva placa de referencia)

5. CONCLUSÕES

A depender do grau de estresse, os índices de vegetação usados neste estudo tendem a ser eficases para identificar áreas em estresse. No entanto, aqueles calculados de imagens de VANT sem calibração radiométrica, podem causar erros na interpretação da condição fisiológica da planta.

Em trabalhos próximos, há que se considar a necessidade de avaliar os níveis de severidade das áreas a fim de indicar a sensibilidade dos índices em função destes níveis de estresses.

6. AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e à Fundação e Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelos recursos disponibilizados.

7. REFERÊNCIAS

[1] Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

[2] Muharam, F.M et al. UAV- and Random-Forest-AdaBoost (RFA)-Based Estimation of Rice Plant Traits. Agronomy 2021, 11, 915. https://doi.org/10.3390/agronomy11050915

[3] Liu, Yang et al. Leaf area index estimation under wheat powdery mildew stress by integrating UAV-based spectral, textural and structural features. Computers and Electronics in Agriculture, v. 213, p. 108169, 2023.

[4] Lu Z, et al. Inversion of Soybean Net Photosynthetic Rate Based on UAV Multi-Source Remote Sensing and Machine Learning.Agronomy.2024;14(7):1493.https://doi.org/10.3390/agronomy14071493.

[5] DJI. DJI Mavic 3 M - DJI Mavic 3M - Manual do usuário v.1.2. DJI. 2023. Disponível em: (https://ag.dji.com/pt-br/mavic-3-m/downloads). Acesso em 27/12/2024.