

1 UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS OBTIDOS POR MEIO DE SENSORES AÉREOS PARA DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DE SOLO EXPOSTO

Ana Clara Souza Jardim², André Luiz de Jesus Dantas², Mauro Vitor Moreira Nascimento²,
Maria Fernanda Reis dos Santos³, Odair Lacerda Lemos⁴

RESUMO

A identificação precoce do estresse hídrico, condição diretamente ligada à umidade do solo, é um desafio na agricultura de precisão. Este estudo objetivou avaliar o potencial de índices espectrais, obtidos por sensores aéreos para diagnosticar a umidade em uma área de solo exposto. O estudo foi realizado em uma área de solo franco-argilo-arenoso no campus da UESB, em Vitória da Conquista-BA, onde seis parcelas de 1m² receberam diferentes lâminas de irrigação (0 a 10 mm/m²). Voos com o drone Mavic 3M foram realizados a 20, 60 e 100 metros de altura, enquanto a umidade do solo era medida em campo utilizando o equipamento Falker Hidrofarm HFM2030. A partir das imagens e utilizando as bandas do infravermelho próximo (NIR) e Verde, foram calculados os índices NDWI e a razão NIR/Green, e analisada a correlação de Pearson (R) com os dados de campo. Os resultados indicaram forte correlação no voo de 20 m, com R=0,91 para NIR/Green e R=-0,91 para NDWI, onde o modelo linear proposto explicou até 83% (R²=0,83) da variação da umidade. Contudo, a capacidade preditiva do método diminuiu consideravelmente com o aumento da altura, tornando-se fraca a 100 m (R≈±0,32). Essa perda pode ser atribuída ao aumento da área por pixel (GSD), que gera um efeito de mistura espectral. Conclui-se que os índices espectrais são eficazes para estimar a umidade do solo em baixas altitudes, e a altura de voo é um fator que limita a precisão do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Altura de voo, Correlação, Drone, Infravermelho próximo.

USE OF SPECTRAL INDEXES OBTAINED BY MEANS OF AIRBORNE SENSORS FOR DETERMINING EXPOSED SOIL MOISTURE

ABSTRACT

Early identification of water stress, a condition directly linked to soil moisture, is a challenge in precision agriculture. This study aimed to evaluate the potential of spectral indices obtained by aerial sensors to diagnose moisture in an area of exposed soil. The study was conducted in a clay loam area on the UESB campus in Vitória da Conquista, Bahia, where six 1m² plots received different irrigation depths (0 to 10 mm/m²). Flights with the Mavic 3M drone was conducted at altitudes of 20, 60, and 100 meters, while soil moisture was measured in the field using a Falker Hidrofarm HFM2030. Using the images and utilizing the near-infrared (NIR) and green bands, the NDWI indices and the NIR/green ratio were calculated, and Pearson's correlation (R) with the field data was analyzed. The results indicated strong correlation at 20 m flight altitude, with R = 0.91

¹ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

² Discentes do curso de graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

³ Discente do curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

⁴ Professor Pleno da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

for NIR/Green and $R = -0.91$ for NDWI, where the proposed linear model explained up to 83% ($R^2 = 0.83$) of the moisture variation. However, the method's predictive ability decreased considerably with increasing altitude, becoming weak at 100 m ($R \approx \pm 0.32$). This loss can be attributed to the increase in area per pixel (GSD), which generates a spectral mixing effect. We conclude that spectral indices are effective for estimating soil moisture at low altitudes, and flight altitude is a factor that limits model accuracy.

KEYWORDS: Flight Height, Correlation, Drone, Near Infrared.

INTRODUÇÃO

A utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), na aerofotogrametria, oferece grande potencial para a modernização da agricultura (PINHEIRO et al., 2019). Essa técnica permite a aquisição de dados de alta resolução que são importantes para a transformação digital do campo, otimizando o manejo de insumos e o planejamento do uso do solo em aplicações que vão do mapeamento de áreas de preservação até identificação de plantas daninhas (FELIPETTO et al., 2022; QUADROS et al., 2018).

Um dos desafios no manejo agrícola é a detecção precoce de áreas com estresse hídrico, pois essa condição limita o potencial produtivo das culturas e está diretamente ligada à disponibilidade de água no solo. Nesse contexto, a aerofotogrametria surge como uma ferramenta para o monitoramento da umidade do solo. O sucesso dessa análise depende da capacidade dos sensores embarcados em RPAs, que registram a resposta da superfície em diferentes bandas, permitindo a análise da saúde da vegetação e das condições do solo (SENSORIA, 2022).

A partir dos dados, é possível calcular índices espectrais, que são capazes de fazer diagnóstico de vários parâmetros da lavoura, muitas vezes antes que os sintomas sejam visíveis. O desafio está na validação dos índices, se estes podem ser utilizados para a predição dessas características. Por isso, busca-se desenvolver um método rápido e não destrutivo que permita estimar a umidade do solo a partir de dados aéreos. Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar as potencialidades dos índices espectrais obtidos por sensores aéreos e terrestres para um diagnóstico rápido da umidade do solo exposto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área experimental de solo exposto, classificado como franco-argilo-arenoso, no campus da UESB, em Vitória da Conquista - BA. O delineamento experimental consistiu em seis parcelas de 1 m², submetidas a diferentes lâminas de irrigação antes do primeiro voo, com cinco repetições cada, sendo elas: T1

(0 mm/m²), T2 (2 mm/m²), T3 (4 mm/m²), T4 (6 mm/m²), T5 (8 mm/m²) e T6 (10 mm/m²). A umidade do solo foi determinada em amostras coletadas a 20 cm de profundidade, utilizando o equipamento Falker Hidrofarm HFM2030 para obtenção de uma média representativa.

As imagens foram adquiridas por meio de um drone DJI Mavic 3 Multispectral, em três alturas de voo (20, 60 e 100 m). Os voos foram planejados para cobertura total das parcelas, com sobreposição lateral e longitudinal adequadas. Os dados foram processados em software específico para geração de ortomosaicos e mapas de reflectância, a partir dos quais foram calculados os índices NDVI, NDWI e NIR/Green.

O processamento das imagens brutas foi feito no software PIX4D, gerando os ortomosaicos e mapas de reflectância. No software QGIS 3.44.0, a partir das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do Verde, foram calculados os índices espectrais NDWI (Verde – Infravermelho Próximo) / (Verde + Infravermelho Próximo) e a razão simples NIR/Green utilizando a metodologia adaptada de Pashova e Mihaylova (2024). Os valores médios de cada índice foram extraídos das parcelas por meio de estatísticas zonais. Por fim, analisou-se a correlação entre os dados dos índices (obtidos nos voos de 20, 60 e 100 m) e a umidade medida em campo, calculando os coeficientes de correlação de Pearson (R) e de determinação (R²), gerando ainda um gráfico de dispersão entre essas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão sintetizados os coeficientes de correlação entre os índices espectrais e a umidade do solo, discriminados por altura de voo.

TABELA 1: Coeficientes de correlação de Pearson (R) e de determinação (R²) entre os índices espectrais e a umidade do solo, por altura de voo.

Altura de voo (m)	Índice Espectral	Coeficiente de Correlação (R)	Coeficiente de determinação (R ²)
20	NIR/Green	0,91	0,83
	NDWI	-0,91	0,82
60	NIR/Green	0,72	0,53
	NDWI	-0,72	0,52
100	NIR/Green	0,33	0,11
	NDWI	-0,32	0,10

Fonte: Autor, 2025

Os resultados demonstraram uma relação clara entre os índices espectrais e a umidade do solo, onde observa variação conforme altura de voo. Na menor altura, 20m o índice NIR/Green apresentou correlação forte positiva, com o mesmo comportamento a 60 m, entretanto, no voo 100 m, a correlação apresenta-se como fraca, conforme a classificação de Rumsey (2023).

O NDWI, por sua vez, apresentou correlação negativa forte a 20 m, reforçando sua sensibilidade em condições de solo exposto. Elevados valores de correlação é um fator positivo em modelos preditivos, como reforçado por Lopes et al. (2011). Além disso, Pashova e Mihaylova (2024) reafirma o potencial do uso de índices como preditores para umidade do solo.

Conforme apresentado na Figura 1, os pontos ajustaram-se de forma próxima à linha de tendência, e o coeficiente de determinação (R^2) indicou que 83% da variabilidade da umidade foi explicada pelo modelo.

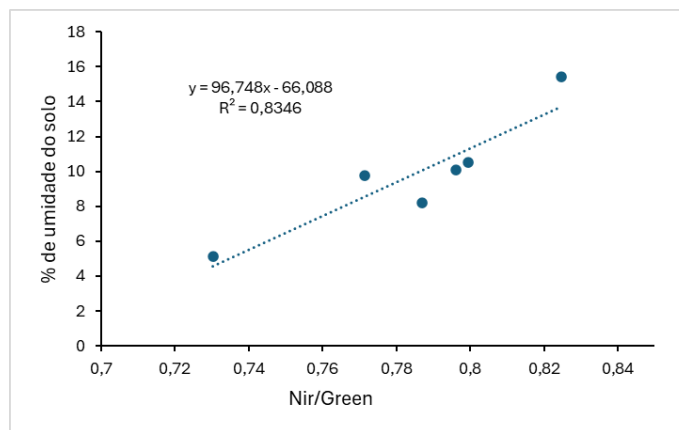


FIGURA 1: Correlação entre a umidade do solo (%) e o índice NIR/Green a 20 metros.

A correlação permaneceu forte a 60 m e tornou-se fraca a 100 m, que segundo Rumsey (2023), valores que indicam grande dispersão dos pontos e ausência de tendência linear clara, e por isso a capacidade preditiva diminuiu com a elevação da altura de voo. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da área por pixel (GSD), que gera um efeito de “mistura espectral”, mascarando a resposta pura do solo como também observado por Adedeji et al. (2024).

Por serem derivados das mesmas bandas espectrais, os índices apresentaram correlação inversa quase perfeita, indicando que a utilização de apenas um deles seria

suficiente para a análise, ou seja, há um comportamento de redundância entre informações dos índices NIR/Green e NDWI.

CONCLUSÕES

Os índices espectrais obtidos por sensores aéreos (ARPs) demonstraram ser eficazes na predição da umidade do solo exposto, tendo forte correlação ($R > 0,90$) com dados de sensores terrestres. Ademais, o método se mostrou diretamente dependente da altura de voo, com a correlação se tornando fraca em voos a 100 metros explicado pela perda de resolução espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEDEJI, O. et al. Flight Altitude and Sensor Angle Affect Unmanned Aerial System Cotton Plant Height Assessments. **Drones**, v. 8, n. 3, p. 89, 2024.
2. FELIPETTO, H. et al. Análise de imagens multiespectrais de RPA para mapeamento de vegetação em áreas ciliares. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 9., 2022, Campo Grande. Campo Grande: Embrapa, 2022. p. 86-90.
3. LOPES, H. L. et al. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 973–980, 2011.
4. PASHOVA, T. I.; MIHAYLOVA, E. M. Estimation of soil moisture from multispectral remote sensing data. **Agricultural Science Digest**, 2024. (Publicado online/no prelo).
5. PINHEIRO, H. S. K. et al. Potencialidades de usos de RPAs: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 5, p. 1779-1793, 2019.
6. QUADROS, F. L. F. et al. Uso de VANT na identificação de plantas daninhas em pastagens. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 91-97, 2018.
7. RUMSEY, D. J. How to Interpret a Correlation Coefficient (r). **Dummies**, 7 mar. 2023. Disponível em: <https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/math/statistics/how-to-interpret-a-correlation-coefficient-r-169792/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SENSORIA, Equipe. Câmera com sensores RGB e Multispectral. **ModelismoBH Blog**, 2022. Disponível em: <https://www.modelismobh.com.br/blog/camera-com-sensores->

[rgb-e-multispectral-conheca-as-diferencas-e-as-cameras-mais-usadas-em-drones/](#).

Acesso em: 27 set. 2025.