

## MONITORAMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO EM ÁREAS COM CINZAS POR MEIO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

LUCAS SANTOS SANTANA<sup>1</sup>, GABRIEL DE ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>2</sup>, ALDIR CARPES MARQUES FILHO<sup>3</sup>, MOZARTE SANTOS SANTANA<sup>4</sup>, JOSIANE MARIA DA SILVA<sup>5</sup> RAFAEL DE OLIVEIRA FARIA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. no Instituto de Ciências Agrárias ICA – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, santana.santos@ufvjm.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. no Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. no Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA.

<sup>4</sup> Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Lavras – UFLA.

<sup>5</sup> Engenheira Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. no Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA.

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

**RESUMO:** O expressivo destaque da cafeicultura nacional, está associado a inserção de tecnologia no campo produtivo. Entre as tecnologias inseridas para monitoramento na cafeicultura, destacam-se as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) que são exploradas expressivamente, fornecendo características de alta resolução espacial da superfície em diferentes comprimentos espectrais. Em lavouras cafeeiras, as práticas de incineração do material vegetal para reforma ainda são promovidas por alguns produtores, depositando cinzas na superfície em pontos específicos. Sabe-se que a queima de material vegetal disponibiliza nutrientes no solo, podendo interferir no desenvolvimento das plantas. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento inicial das plantas cafeeiras por meio índices vegetativos (IVs) obtidos em imagens de ARP. Foram avaliadas duas épocas após o plantio por sobrevoos de ARP com Câmera multiespectral, em seguida, os dados foram processados e aplicados os IVs. Os melhores índices foram determinados de acordo com os valores médios obtidos em regiões com e sem cinzas, bem como, as diferenças entre os meses de desenvolvimento. O índice indicado para análises de cinzas foram os índices NDVI, NNRI e NNIR aos três meses, NGI aos seis meses.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto; Agricultura de Precisão; Agricultura Digital.

## INITIAL MONITORING OF COFFEE GROUP IN AREAS WITH ASH USING VEGETATION INDEXES

**ABSTRACT:** National coffee farming's significant prominence is associated with technology insertion in production. Among the technologies used in coffee farming for monitoring, remotely piloted aircraft (ARPs) have been significantly explored, providing high spatial resolution characteristics of the surface at different spectral lengths. In coffee growing, incinerating plant material practices for reform are still promoted by some producers, depositing ash on the surface at specific points. It is known that burning plant material makes nutrients available in the soil, which can interfere with plant development. Therefore, the objective of this work was to evaluate the initial growth of coffee plants using vegetative indices (VIs) obtained from ARP images. Two periods after ARP overflights evaluated

planting with a multispectral camera, the data was processed, and the IVs were applied. The best indices were determined according to the average values obtained in regions with and without ash, as well as the differences between months of development. The index indicated for ash analysis was the NDVI, NNRI and NNIR indexes at three months, NGI at six months.

**KEYWORDS:** Remote Sensing; Precision Agriculture; Digital Agriculture.

**INTRODUÇÃO:** A cafeicultura está entre as culturas mais importantes do mundo, nesse contexto o Brasil se destaca como o maior produtor. O destaque para o desenvolvimento efetivo dessa cultura no país está ligado a condições edafoclimáticas, inserção de tecnologias desde o plantio até as etapas de secagem e armazenamento (SANTOS et al., 2023). A aplicação de tecnologias trouxe para a cultura do café vantagens importantes para o mapeamento e planejamento de instalação. O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) se tornou frequente no mapeamento de atributos das plantas e solo para o cultivo, gerando informações importantes nas tomadas de decisão (BENTO et al., 2023). A implantação de uma lavoura de café tem passado por mudanças importantes ao longo dos anos, mas algumas formas de preparo da área de cultivo são mantidas a décadas. A renovação do cafeeiro, em alguns casos, ainda é feita por meio da queima do material vegetal do cultivo anterior, promovendo a geração de cinzas na superfície de plantio. Os efeitos do depósito de cinzas no plantio podem influenciar no desenvolvimento das plantas, promovendo futuramente interferências no manejo e produtividade do café. Diante disso, o monitoramento de plantas de cafeeiros em regiões depositadas por cinzas pode trazer informações importantes para o manejo inicial das lavouras. As ARPs são tecnologias que podem ser inseridas nesse monitoramento, devido a capacidade de monitorar grandes áreas e disponibilizar resolução espacial de centímetros (SANTANA et al., 2021). Diante disso, essa pesquisa objetivou-se analisar a aplicação de índices vegetativos em imagens multiespectrais obtidas por ARPs em áreas cafeeiras com depósitos de cinzas na superfície.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido em uma área de quatro hectares destinadas ao cultivo de café, situada no município de Bom Sucesso, Minas Gerais, Brasil, sob as coordenadas 21°00'55.55" S e 44°54'57.75". Região de clima quente e temperado, temperaturas médias anuais 21 C°, pluviosidade média de 1500 mm anuais e altitude entre 800 e 1000 metros (ALVARES et al. 2013).

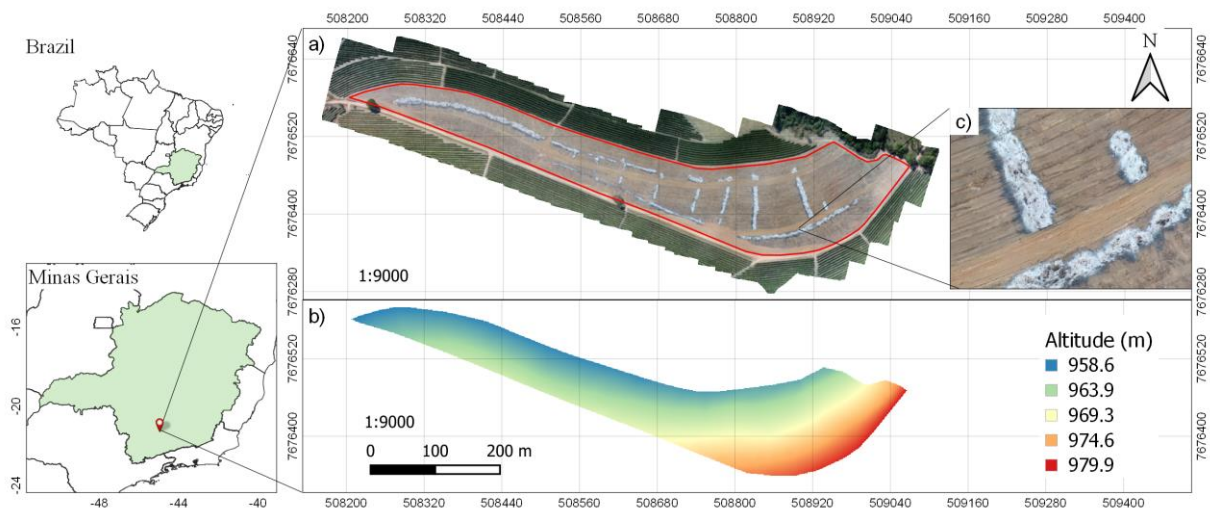


FIGURA 1. Localização, características da área de estudo e distribuição das cinzas na área

Os dados foram coletados por um sensor multiespectral parrot sequoia, composta por cinco sensores, acoplado a uma ARP Modelo DJI MATRICE 100. Os sobrevoos foram realizados em duas épocas após o transplante do cafeeiro, os voos foram planejados para definição de pouso e decolagem, além dos fatores de segurança, como condições climáticas, velocidade do vento, presença de objetos. O planejamento dos voos foi realizado no software Precision Flight (Versão 1.3.2, Precision Hawk, Raleigh, NC, USA). As características do voo foram: 90 m above ground level (AGL), sobreposição frontal e lateral das imagens 80x80% e velocidade de voo de 6m/s. As imagens coletadas foram processadas no PIX4Dmapper versão 4.4.12 (Pix4D, Lausanne, Suíça), software é baseado em algoritmo Structure-from-Motion (SfM). Para melhorar a precisão e a exatidão dos ortomosaicos, as imagens foram georreferenciadas usando pontos de controle coletados previamente na área de campo por um diferencial GNSS - modelo SP 60. Após o processamento foram aplicadas as técnicas de geoprocessamento para o monitoramento de crescimento do cafeeiro, determinados a partir de índices de vegetação descritas na Tabela 1. Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas de mapas para extração dos valores dos índices, realizados médias e desvio padrão para obtenção dos resultados.

TABELA 1. Índices de vegetação de imagens multiespectrais obtidas por RPA R: Red Band; G: Green Band; NIR: Infrared band; RE: Red band.

Índice vegetativo	Equação
Normalized Green Index (NGI)	$G/(NIR + RE + G)$
Normalized Red Edge Index (NREI)	$RE/(NIR + RE + G)$
Normalized Red Index (NRI)	$R/(NIR + RE + R)$
Normalized NIR Index (NNIR)	$NIR/(NIR + RE + G)$
Red Edge Difference Vegetation Index (REDVI)	$NIR - RE$
Red Edge Optimal Soil Adjusted Vegetation Index (REOSAVI)	$(1 + 0.16)(NIR - RE)/(NIR + RE + 0.16)$
Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (RENDVI)	$\frac{(RE - R)}{(RE + R)}$
Normalized Near Infrared Index (NNIRI)	$NIR/(NIR + RE + R)$
NDVI (normalized difference vegetation index)	$\frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$
Nnormalized difference red edge (NDRE)	$\frac{\rho_{nir} - \rho_{edge}}{\rho_{nir} + \rho_{edge}}$

Os índices de vegetação foram processados nos softwares Rstudio e Qgis para compreender o desenvolvimento das plantas em regiões com depósitos de cinzas e em solos naturais cultivados. As imagens de índice foram cortadas e separadas em áreas com e áreas sem cinzas para entender o efeito direto das cinzas nas plantas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A aplicação dos índices vegetativos gerou resultados importantes para o monitoramento do cafeeiro, transplantado em solos com presença de cinzas. Os valores encontrados após o processamento dos dez índices vegetativos são demonstrados na Figura 2. A aplicação ou depósitos de cinzas sobre o solo é descrita na literatura como forma de aumentar o pH e deposição de macronutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, como K, Mg e Ca (Ribeiro et al., 2017). Dessa forma, as variações em coloração das folhas e desenvolvimento diferenciado eram previstas, mas como

as cinzas não foram depositadas e sim formadas a partir da queima de biomassa os resultados poderiam ser importantes.

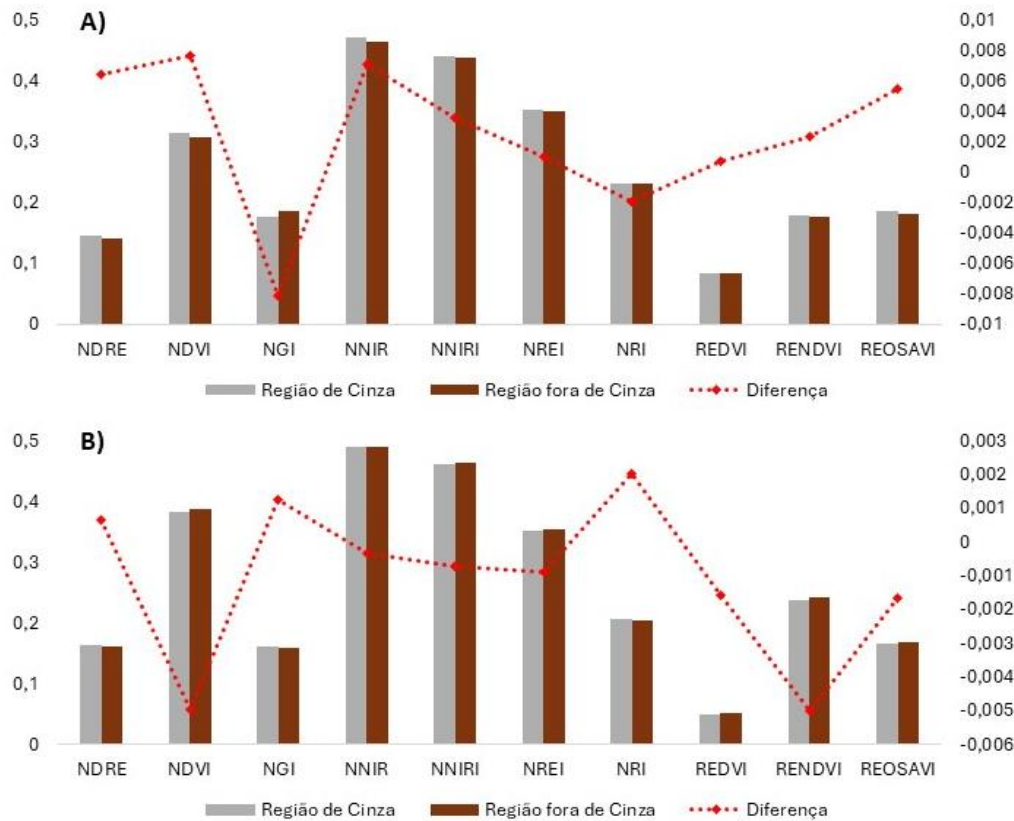


Figura 2. Médias dos valores dos índices vegetativos dentro e fora das cinzas em duas épocas: A) três meses após o transplântio e B) seis meses após o transplântio.

Os resultados observados na figura 2, demonstram que alguns IV se comportaram de forma inesperada, naturalmente a partir do desenvolvimento das plantas, a tendência é a elevação dos valores de IV. O índice NDRE se demonstrou em estabilidade em duas épocas de avaliação, mesmo demonstrando valores baixos. O índice mais reportado em pesquisas, o NDVI, demonstrou capacidade efetiva no monitoramento de cafeeiros em cinzas, mas o desenvolvimento em seis meses da planta a capacidade diferenciação foi ineficiente. Isso pode ajudar a explicar que os efeitos da cinza são apenas nos meses iniciais do transplântio. O potencial de desenvolvimento inicial das plantas pode ser comparado as taxas de potássio “K” depositadas em regiões de cinzas, as pesquisas de Kasongo et al., (2011) destacou que a quantidade desse nutriente presente nas cinzas podem ser uma alternativa para fertilização do solo. Dessa forma, é importante destacar que o K é um macronutriente que apresenta alta mobilidade no solo, confirmando as variações nos valores de índices vegetativos em seis meses de monitoramento. Segundo Nolasco et al. (1999), a cinza tem efeito benéfico como adubação de base e, principalmente, como cobertura. Resultado de sua composição química de lenta solubilização de macro e micronutrientes, pode ser comparado a uma fórmula NPK com proporção (1:3:7) mais Ca, Mg e micronutrientes. Seguindo a sequência de IVs da figura 2, um fato importante a se destacar foi a capacidade do NGI em monitorar cafeeiros em cinzas aos 6 meses, pois com o desenvolvimento do cafeeiro (Figura 2B), as diferenças aumentaram. Em lavouras de café, a alta similaridade das plantas no desenvolvimento inicial impossibilita a identificação de algumas anomalias. Dessa forma, a avaliação do primeiro mês pode ser entendida, pois o índice considera desafiador diferenciar plantas em regiões cinzas.

Dificuldades na avaliação dos estágios iniciais do cafeeiro também foram evidenciadas nos estudos de Bento et al. (2023) que aplicaram índices vegetativos para diferenciar o desenvolvimento das cultivares após o plantio. Os autores evidenciaram baixa densidade foliar interferente no desempenho do índice vegetativo nos primeiros meses após o plantio. Os índices de vegetação que utilizaram as bandas do NIR e REG como os principal banda espectral foram efetivas somente no início do desenvolvimento, como pode ser observado nos índices NNIR e NNIRI que demonstraram redução de valores durante os desenvolvimentos da cultura. As aplicações de índices vegetativos em imagens multiespectrais para o monitoramento de características específicas ainda são desafiadoras, visto que, variações mínimas podem ocorrer dentro do intervalo de variações espectral. A principal função do índice vegetativo é também caracterizar os objetos para uma visualização natural, dessa forma são apresentados em forma de classificação em cores. Na figura 3, são apresentadas a diferenciação no melhor índice encontrado para o monitoramento de cinzas, NGI.

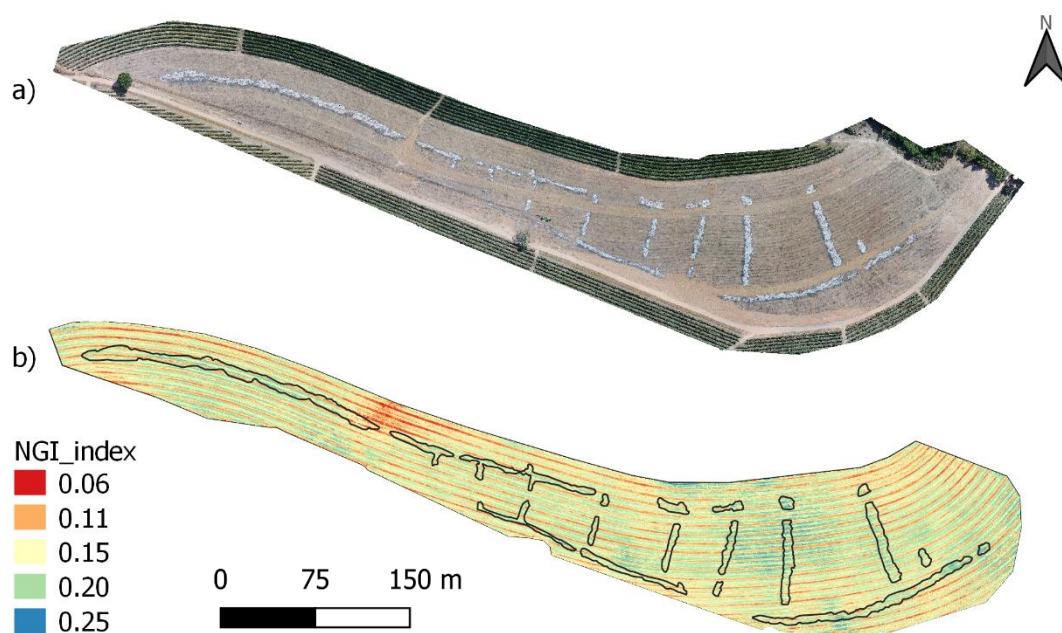


Figura 3. Localização das áreas de depósitos de cinzas, a) composição RGB (natural), b) composição em índice vegetativo (NGI).

Conforme demonstrado na Figura 3, o índice NGI apresentou o melhor desempenho para ressaltar características das cinzas em plantio de café. A interação entre as bandas do NIR e RE foram predominantes para a diferenciação, demonstrando que IV formados por essas bandas espectrais podem estar relacionadas com variações, principalmente, com variações de potássio “K” em plantas de café. Aplicando índices de vegetação para o monitoramento de nitrogênio em lavouras cafeeiras, Marin et al. (2021) forneceram informações importantes para pesquisas cafeeiras, demonstrando a capacidade de índices baseados em bandas NIR em situações de deficiência de nutrientes. Diante disso, alguns pontos podem ser levantados para relacionar a presença de cinzas e interação de nutrientes com o cafeeiro, pois as cinzas depositam principalmente Potássio para o solo, confirmando a capacidade expressiva de IV baseados em banda NIR para monitorar cinzas. O monitoramento do efeito de cinzas por meio de índices vegetativos ainda é desafiador, isto acontece devido a vulnerabilidade de nutrientes logo após a queima, uma vez que não foram incorporados ao solo. A vulnerabilidade dos nutrientes depositados pelas cinzas na superfície é intensificada por variáveis naturais como

precipitação, vento e solo. Com o passar do tempo, o desaparecimento dos pontos afetados pelas cinzas pode ser influenciado pelas chuvas, causando efeito de lixiviação, carreando alguns nutrientes e misturando-se ao solo. Esses acontecimentos e misturas ocorridas com outros atributos da superfície do solo podem levar a variáveis indesejadas nas respostas espectrais, causando interferências nas medidas qualitativas e quantitativas dos efeitos das cinzas. Diante disso, os testes para medidas de interferências de cinzas ainda devem ser aprimorados para concretização de resultados ainda mais aplicáveis.

**CONCLUSÕES:** A aplicação de diversos índices vegetativos no desenvolvimento do cafeeiro sobre cinzas depositadas no solo, forneceu um direcionamento para o monitoramento do desenvolvimento de plantas nessas condições. O índice indicado para tal análises, de acordo com os resultados, são os índices NDVI, NNRI e NNIR aos três meses, NGI aos seis meses.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal – PPGPV e ao Consórcio EMBRAPA CAFÉ (projeto 10.18.20.041.00.00) e CAPES.

#### **REFERÊNCIAS:**

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BENTO, N. L. et al. Coffee Growing with Remotely Piloted Aircraft System: Bibliometric Review. **AgriEngineering**, v. 5, n. 4, p. 2458-2477, 2023.
- KASONGO, R.K.; Verdoodt, A.; Kanyankagote, P.; Baert, G.; Ranst, E. Van Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. **Soil Use Manag.** 2011, 27, 94–102, doi:10.1111/j.1475-2743.2010.00315.x.
- MARIN, D. B. et al. Remotely piloted aircraft and random forest in the evaluation of the spatial variability of foliar nitrogen in coffee crop. **Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1471, 2021.
- NOLASCO, A.M.; G., I.A.; B., V.; Gonçalves, J.L.M. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In **Proceedings of the Simpósio sobre Fertilização e Nutrição Florestal**; Piracicaba, 1999; p. 29.
- RIBEIRO, J.P. et al. Effect of industrial and domestic ash from biomass combustion, and spent coffee grounds, on soil fertility and plant growth: experiments at field conditions. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 2017, 24, 15270–15277, doi:10.1007/s11356-017-9134-y.
- SANTANA, L. S. et al. Influence of flight altitude and control points in the georeferencing of images obtained by unmanned aerial vehicle. **European Journal of Remote Sensing**, v. 54, n. 1, p. 59-71, 2021.
- SANTOS, V. P. et al. Sustainability assessment of coffee production in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 4, p. 11099-11118, 2023.