

## ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO POR MEIO DE IMAGEM RGB DE VANT

**Gustavo Moreira Ribeiro<sup>1</sup>, Neiliane Aparecida da Silva<sup>1</sup>, Hugo Gabriel Peres<sup>1</sup>, Marco Iony dos Santos Fernandes<sup>1</sup>, Leticia Gonçalves do Nascimento<sup>1</sup>, Renan Zampiroli<sup>1</sup>**

1 Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo-MG  
(gustavo.m.01@ufu.br)

**RESUMO:** Na cafeicultura observa-se uma demanda de métodos para a estimativa da produção de café. Além disso há uma necessidade do aprimoramento de técnicas para elevação da produtividade como o monitoramento de fatores bióticos e abióticos dos cultivos e definição de zonas de manejo para tratar a variabilidade dos talhões. Diante disso o objetivo do trabalho foi avaliar o monitoramento da produtividade do café por meio de imagens RGB de veículo remotamente pilotado em diferentes épocas de avaliação por meio de modelagem a partir de índices obtidos pelas imagens. Foi avaliado a produtividade do ano de 2022 do café Mundo Novo, em oito épocas de avaliação 0, 7, 14, 21, 28, 60, 90 e 120 dias após a florada. Os vôos foram realizados com Phantom 4 Pro e a partir as imagens foi realizado o cálculo de oito índices com a composição de bandas RGB. Os índices, a dependência espacial coordenadas N e E e as bandas espectrais RGB foram utilizados para geração de modelos de regressão linear para a predição da produtividade. Os modelos foram comparados por meio do RMSE e coeficiente de determinação  $R^2$ . As épocas de avaliações 0 e 21, do momento de abertura floral e 21 dias após abertura ou início da expansão dos frutos foram mais eficientes na predição da produtividade com  $R^2$  de 58% e 60 % respectivamente. O método é uma alternativa para estimativa e avaliação da variabilidade espacial da produtividade no cafeeiro.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, veículos aéreos não tripulados, *Coffea arabica* L.

## INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, para a safra de 2023 estima-se uma produção de 54,74 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2024). Geralmente a produtividade da lavoura é estimada através do uso de amostras de frutos colhidos a campo, que torna o processo oneroso, destrutivo e dificulta realizar a estimativa em grandes áreas (CARVALHO *et al.*, 2017). Outro método utilizado é monitorar através da colhedora no momento da colheita, porém está associado a elevado custo de investimento (MARTELLO *et al.*, 2022).

A agricultura de precisão vem sendo bastante utilizada na obtenção de características físicas e espectrais das plantas (altura de planta, diâmetro de copa, estande populacional) com

alto potencial para estimar de produtividade, visto que as plantas sofrem mudanças no comportamento espectral nos diferentes estágios fenológicos (BOLAÑOS; CORRALES; CAMPO, 2023). Apresentando a vantagem de tornar-se uma tecnologia acessível a pequenos, médios e grandes produtores.

Diante o exposto, objetivou-se avaliar a melhor época do estágio fenológico do cafeeiro para estimar a produtividade da lavoura através de imagens RGBs coletadas via VANTs e qual o melhor modelo para realizar essa predição.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em uma propriedade de café na Fazenda Jataí localizada no município de Monte Carmelo-MG, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Brasil (18°52'12.0"S, 47°21'43.9"O e 960 m). A lavoura avaliada foi da cultivar Mundo Novo com espaçamento de 3,8 x 0,5m, plantada em 05/12/2016.

Avaliou-se 44 pontos amostrais distribuídos em blocos casualizados com 5 repetições, definidos 11 parcelas com 12 plantas sendo consideradas três plantas centrais para estimativa da produtividade. Essas plantas foram georreferenciadas por meio de GPS (Sistema de Posicionamento Global, do inglês Global Position System) por posicionamento cinemático em tempo real (RTK).

Foi realizado oito voos sendo cada um considerado uma época de avaliação em determinado estágio fenológico da cultura (Tabela 1). As imagens foram coletadas com veículo aéreo remotamente pilotado (Phanthon 4 PRO) equipada com uma câmera nativa que capta azul (B) (430–460 nm), comprimentos de onda verde (G) (550–570 nm) e vermelho (R) (640 680 nm). Posteriormente as imagens foram processadas para a geração dos ortomosaicos.

Tabela 1. Índices gerados a partir de imagens RGB

Época de avaliação	Dias após a florada (DAF)	Data	Estádio de desenvolvimento
E1	0	16/11/21	Florada
E2	7	23/11/21	Chumbinho
E3	14	30/11/21	Chumbinho
E4	21	07/12/21	Expansão dos frutos
E5	28	16/12/21	Expansão dos frutos
E6	60	16/01/22	Granação dos frutos
E7	90	16/02/22	Granação dos frutos
E8	120	16/03/22	Granação dos frutos

R=red, G=green e B=blue

A produtividade foi avaliada por meio da colheita de três plantas em cada parcela em maio de 2021, coletando o volume e peso do café colhido, em seguida foi realizado a secagem em terreiro e posterior beneficiamento dos grãos. Por meio do peso colhido e beneficiado mensurou-se a variável em  $\text{kg planta}^{-1}$  e realizou-se uma estimativa em ( $\text{sacas ha}^{-1}$ ) considerando a população (número de plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) para cada ponto avaliado.

A partir dos ortomosaicos gerados de cada época esses foram processados no software ENVI 5.1 utilizando a ferramenta Band Math para gerar imagens dos índices estimado por meio das bandas RGB, com indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Índices gerados a partir de imagens RGB

Índice	Equação
EXG – Excess of Green	$2G - R - B$
EXR – Excess of Red	$1,4 * R - G$
GLI - Green Leaf Index	$2G - R - B / 2G + R + B$
MGVRI - Modified Green Red Vegetation Index	$(G)^2 - (R)^2 / (G)^2 + (R)^2$
MPRI - Modified photochemical reflectance index	$G - R / G + R$
NDVI – Normalized Difference Vegetation Estimate	$0,04 * R - 0,03 * G - 119,5 \text{ NPGR} + 118,2 \text{ NPGB} + 123,8 \text{ NPRB} + 0,25$
	NPGR= $G - R / G + R$ NPGB= $G - B / G + B$ NPRB= $R - B / B + R$
RGBVI - Red green blue vegetation index	$G - (B * R) / (G)^2 + (B * R)$
TGI – Green Triangular Index	$G - (0.39 * R) - (0.61 * B)$
VEG - Vegetation	$G / (R)^{0,667} * B^{(1-0,667)}$

R=red, G=green e B=blue

Após a geração dos índices essas imagens foram submetidas a separação de bandas no Software QGIS por meio da ferramenta SCP Split (QGIS Development Team, 2024). E posteriormente foi realizado a estimativa das respostas espectrais dos índices e das bandas para cada ponto georreferenciado.

De posse dos dados foi gerado um modelo de aprendizado de máquina supervisionado por meio de regressão linear no software Minitab 19 (Minitab LLC, 2019). Os modelos foram gerados por meio da dependência espacial coordenadas N e E, as bandas espectrais RGB e os índices correlacionadas com a produtividade.

Os modelos foram comparados por meio da análise do coeficiente determinação  $R^2$  e a acurácia dos modelos foi comparada pelo RMSE

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta a acurácia (RMSE) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos de predição baseados no algoritmo de regressão linear (RL) de acordo com cada época de avaliação.

Tabela 3. Performance dos algoritmos para estimativa da produtividade

Épocas de avaliação	RL	
	$R^2$	RMSE
E1	0.5816	10.0395
E2	0.4216	11.8672
E3	0.4046	12.1637
E4	0.6016	9.8490
E5	0.4091	11.9944
E6	0.2663	13.3659
E7	0.4196	11.8875
E8	0.4572	11.4962

Comparando as épocas de avaliação percebe-se que a época 4 que corresponde a fase inicial de expansão de frutos no período de 21 dias após a florada apresentou melhor acurácia com RMSE de 9,8490 sacas  $ha^{-1}$  e  $R^2$  de 60,16%, apresentando menor erro de predição da produtividade e a maior porcentagem de explicação da variância observada para esse atributo. O segundo modelo que obteve melhor resposta para a produtividade foi a época 1, com RMSE de 10,0395 sacas  $ha^{-1}$  e  $R^2$  de 58,16%, que corresponde a fase de chumbinho no período de 7 dias após a florada do cafeeiro. Esse resultado mostra que a fase de chumbinho e início da expansão dos frutos pode ser uma época mais adequada para avaliar a produtividade por meio de imagem RGB, dentre as épocas avaliadas nesse estudo.

Além disso métodos de previsão da produtividade podem ser utilizados para avaliar a variabilidade de distribuição da produção dentro da área por meio de uma metodologia acessível ao produtor. Desenvolver um processo de agricultura de precisão e auxiliar na identificação e definição de estratégias de manejo locais buscando maior produtividade e rentabilidade do talhão.

Em estudo treinando um algoritmo de aprendizado de máquinas para estimar o NDVI usando um sensor RGB passivo obteve correlação com os dados de NDVI do sensor óptico ativo Greenseeker. Avaliando este índice para estimativa da produtividade obteve-se

coeficiente de determinação de 0,43 por meio de regressão linear e 0,37 para modelo de florestas aleatórias (CAMPOS *et al.* 2022).

## CONCLUSÕES

As épocas de avaliações um e quatro referentes ao momento de abertura floral e 21 dias após abertura floral foram as que chegaram mais próximo de prever a produtividade real através de bandas RGB e seus respectivos índices, apresentando uma determinação de 58% e 60% respectivamente.

O método de predição apresenta uma boa alternativa de estimativa da produção do café e potencial de aplicação em técnicas de agricultura de precisão para definição de zonas de manejo e avaliação da variabilidade espacial da produtividade dentro do talhão, além de se apresentar uma alternativa com custo acessível por meio de aquisição de imagens RGB com veículo remotamente pilotado.

## REFERÊNCIAS

BOLAÑOS, J.; CORRALES, J. C.; CAMPO, L. V. Feasibility of Early Yield Prediction per Coffee Tree Based on Multispectral Aerial Imagery: case of arabica coffee crops in cauca-colombia. **Remote Sensing**, v. 15, n. 1, p. 282, 2023.

CAMPOS, G. A. De O. *et al.* The coffee NDVI modeling using built-in RGB passive sensor in UAS. **Theoretical And Applied Engineering**, v. 6, n. 3, p. 1-11, 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Segundo levantamento. Brasília, DF, v.11, n.2, maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CARVALHO, L.C.C. *et al.* Geostatistical Analysis of Arabic Coffee Yield in Two Crop Seasons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 410-414, 2017.

MARTELLO, M. *et al.* Assessing the Temporal and Spatial Variability of Coffee Plantation Using RPA-Based RGB Imaging. **Drones**, v. 6, n. 10, p. 267, 2022.

MINITAB, LCC. **Minitab**. 2019. Disponível em: <https://www.minitab.com>.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.org> . Acesso em: 24 mai 2024.