

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

Múcio Fernando Rodrigues Carneiro Filho

ÍNDICE NDVI E A SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE CAFÉ

UBERLÂNDIA – MG

2026

Múcio Fernando Rodrigues Carneiro Filho

**ÍNDICE NDVI E A SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE
CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Instituto de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel
Carmelino Hurtado

UBERLÂNDIA – MG

2026

Múcio Fernando Rodrigues Carneiro Filho

**ÍNDICE NDVI E A SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE
CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Instituto de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel
Carmelino Hurtado

Aprovado pela Banca Examinadora em: 05 de fevereiro de 2026

Banca examinadora:

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado (ICIAG - UFU)

Prof. Dr. Hamilton Kikuti (ICIAG – UFU)

Prof(a). Dr(a). Rayssa Camargo de Oliveira (ICIAG – UFU)

UBERLÂNDIA - MG

2026

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela oportunidade de desfrutar a oportunidade de vivenciar essa faculdade, todas as dificuldades, alegrias, oportunidades e vivências.

Agradecer minha família por todo apoio em todos esses anos de graduação, pelas visitas, conversas, preocupações e orações. Espero poder retribuir um pouco desse apoio e espero ter deixados orgulhosos dessa nossa conquista.

Agradecer aos colegas de faculdade por todo apoio, risadas, cervejas, companheirismo e todo o convívio que tivemos nos anos de graduação e que permaneça por muitos anos.

Ao GeAP e ao professor Sandro por todo apoio em trabalhos, congressos e no TCC, agradeço também aos participantes do grupo pelo apoio em toda a caminhada ao longo do tempo de grupo, espero que continuem legando o legado do grupo adiante e crescendo cada vez mais.

A todos os professores e professoras da Universidade Federal de Uberlândia por todos os ensinamentos passados, por todo acompanhamento nessa trajetória e oportunidades nesses anos que estivemos juntos.

RESUMO

A agricultura de precisão tem se consolidado como uma importante ferramenta no manejo agrícola, permitindo maior eficiência produtiva, redução de custos e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a produtividade do café arábica (*Coffea arabica* L.). O estudo foi conduzido em uma área irrigada de café, cultivar Topázio, de 27 ha, localizada no município de Indianópolis–MG, utilizando uma grade amostral composta por 50 pontos georreferenciados. A produtividade foi determinada por meio da colheita manual de plantas selecionadas em cada ponto, com posterior secagem e beneficiamento. Foram obtidos índices NDVI, a partir de imagens do satélite Planet, abrangendo o período de agosto de 2023 a julho de 2024. Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise descritiva e correlação linear de Pearson, além da interpolação espacial por krigagem para geração de mapas de produtividade. Observou-se a maior correlação positiva entre o NDVI obtido em dezembro de 2023 e a produtividade final, enquanto o NDVI obtido em março de 2024 apresentou correlação negativa, refletindo diferenças fisiológicas da cultura ao longo do ciclo. Conclui-se que o NDVI pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na estimativa da produtividade do cafeeiro, desde que considerada a época de aquisição das imagens, sendo mais eficiente em períodos de maior atividade vegetativa.

Palavras-chave: agricultura de precisão; café arábica; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Precision agriculture has become an important tool in modern farming, enabling increased productivity, cost reduction, and environmental sustainability. In this context, this study aimed to evaluate the relationship between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the productivity of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). The research was conducted in a cultivar coffee irrigated area of approximately 27 ha, located in the municipality of Indianópolis, Minas Gerais, Brazil, using a sampling grid composed of 50 georeferenced points. Productivity was determined through manual harvesting of selected plants at each point, followed by drying and processing. NDVI indices were obtained from Planet satellite images, covering the period from August 2023 to July 2024. The data were statistically analyzed using descriptive analysis and Pearson's linear correlation, as well as spatial interpolation by kriging to generate productivity maps. A moderate positive correlation was observed between NDVI obtained in December 2023 and final coffee productivity, whereas NDVI from March 2024 showed a negative correlation, reflecting physiological differences of the crop throughout its growth cycle. It is concluded that NDVI can be used as an auxiliary tool for estimating coffee productivity, provided that the timing of image acquisition is considered, with greater efficiency during periods of higher vegetative activity.

Keywords: precision agriculture; Arabica coffee; remote sensing.

SUMARIO

1- INTRODUÇÃO-----	1
2- MATERIAL E MÉTODOS-----	2
3- RESULTADO E DISCUSSÃO-----	5
4- CONCLUSÃO-----	8
5- REFERÊNCIAS-----	9

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) tem se tornado mais presente no campo, como ferramenta para aumentar a produtividade, minimizar os gastos e maximizar o lucro dos produtores. Essa tecnologia manifesta-se de diversas formas, principalmente na coleta e no uso de dados em campo, com o intuito de auxiliar o produtor a tomar decisões mais assertivas.

O Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária - MAPA (2023), define a AP como o sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva que visa ao aumento do retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito sobre o ambiente. Com isso, é possível estabelecer que, a partir dos resultados significativos provenientes da inclusão desse novo modo de agir no campo, as diferentes técnicas da agricultura de precisão vêm ganhando cada vez mais reconhecimento no Brasil.

Uma das ferramentas utilizadas pela AP é o sensoriamento remoto, que consiste na obtenção de informações de um objeto, área ou fenômeno localizado na terra, sem manter contato físico direto com estes (IBGE, 2026). Entre as diferentes maneiras de obter informações, a aquisição de imagens via satélite auxilia também pelo auxílio na definição de índices de vegetação. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2025), os índices de vegetação realçam a contribuição das propriedades da vegetação e permitem estabelecer comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel. As imagens são compostas por bandas, que são radiações emitidas ou refletidas em faixas do espectro eletromagnético que nos possibilita a sua aplicação em fórmulas matemáticas gerando assim os índices de vegetação. Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, entre eles, os obtidos de medidas da refletância nas faixas espectrais do espectro eletromagnético do vermelho e do infravermelho próximo (INMET, 2025).

Tendo em mãos essas ferramentas e estando diante de uma cultura tão importante e desafiadora, como o café, torna-se fundamental a utilização dessas ferramentas visando uma melhor condução da lavoura, buscando um aumento da eficiência. O café é um dos mais valiosos produtos primários comercializados no mundo, sendo superado apenas em valor pelo petróleo, onde seu cultivo, processamento, comercialização, transporte e mercado proporcionam milhões de empregos em todo o mundo (SINDICAFÉ, 2026). É fundamental para a economia e

política de muitos países em desenvolvimento, com exportações chegando até 70% das divisas (Sindicafé, 2026).

No Brasil a produção de café corresponde a cerca de um terço da produção mundial, ocupando o segundo lugar no ranking de consumidores (MAPA, 2023). Destaque é dado ao estado de Minas Gerais-MG, como maior produtor de café do país (CONAB, 2024), evidenciando sua importância econômica. Em 2024, o estado produziu cerca de 29,8 milhões de sacas, o que representa aproximadamente 51% da safra nacional (CONAB, 2024). Já para 2025 estimou-se 55,2 milhões de sacas (CONAB, 2025).

Entre os cultivares, a cultivar Topázio (cruzamento entre Catuaí Amarelo e Mundo Novo), destaca pela adaptação favorável às condições do Cerrado Mineiro. Possui ciclo médio de maturação, frutos maduros de coloração amarela e elevada produtividade (Catálogo de Cultivares de Café Arábica, 2022). A sua fenologia está de acordo com Camargo; Camargo (2001), ao apontar ao mês de dezembro como época de florescimento, e março como melhor época de granação de seus frutos.

Diante da relevância econômica da cafeicultura, torna-se necessário o estudo e o aprimoramento de técnicas que visem o aumento da produtividade. Isso deve-se ao fato de que a implantação da cultura demanda elevado investimento inicial e a que a produção necessita de dois a três anos de desenvolvimento para a obtenção da primeira colheita (PIZOL, 2022). Assim, torna-se fundamental aumentar a acurácia na tomada de decisão no manejo da lavoura, a fim de minimizar custos e potencializar a produtividade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a produtividade do café arábica (*Coffea arabica* L.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

O trabalho foi conduzido na Fazenda Mandaguari, município de Indianópolis-MG (−18.9899, −47.8043), com altitude de 980 m, clima CWA, segundo a metodologia de Köppen-Geiger, e solo tipo Latossolo Vermelho. O experimento foi desenvolvido com a cultura de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Topázio, na safra 2023-2024, em área irrigada por gotejamento. O cafezal possuía aproximadamente dois anos de idade, com ano da colheita caracterizado como de alta produtividade (Figura 1).



Figura 1 – Área experimental de café (27 ha) com grade amostral composta por 50 pontos georreferenciados, no município de Indianópolis- MG.

Na área de 27 ha, com plantas foram instaladas no espaçamento de 0,70 m entre plantas e 3,8 m entre linhas, totalizando 3.759 plantas.ha⁻¹, foi estabelecida uma grade amostral composta por 50 pontos georreferenciados (Figura 1), utilizando-se o software QGIS (QGIS Development Team, 2015).

2.2 Colheita e Processamento

Cada ponto amostral foi constituído por quatro plantas (duas linhas com duas plantas consecutivas cada). A colheita foi realizada manualmente, com a retirada de todos os frutos das plantas selecionadas. O período de colheita ocorreu entre os dias 11/07/2024 e 16/07/2024 (Figura 2).



Figura 2 – Colheita manual do café nas plantas amostradas em área agrícola no município de Indianópolis- MG.

Após a colheita, os frutos de café foram encaminhados ao terreirão, área concretada destinada à secagem dos frutos em coco. Os frutos foram aferidos na sua massa no momento da entrada e da saída do terreirão e separados em baias correspondentes a cada ponto amostral (Figura 3).



Figura 3 – Baías de secagem dos frutos de café identificadas conforme os pontos amostrais em área agrícola no município de Indianópolis- MG.

Durante o período de secagem, que variou de três a cinco dias, os frutos foram revolvimento três vezes ao dia, visando garantir uniformidade na secagem, até atingir a umidade próxima de 11,7%. Após essa etapa, os frutos foram beneficiados em alíquotas de 2 kg, utilizando-se uma máquina descascadora elétrica (Figura 4A), onde foram passados 3 vezes para não comprometer a estrutura dos grãos, promovendo a separação do grão e da casca.



Figura 4 – Beneficiamento dos frutos (A) e amostras de café beneficiado (B) oriundos de área agrícola do município de Indianópolis- MG.

Os grãos beneficiados foram aferidos na sua massa e armazenados em sacos plásticos transparentes, devidamente identificados com seus respectivos pontos amostrais (Figura 4B).

2.3 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI

Para o cálculo do NDVI, foram utilizadas imagens de satélite, utilizando as bandas do infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V) (Fórmula 1). O cálculo foi realizado no programa Qgis, a partir da calculadora raster. As imagens foram obtidas a partir do satélite Planet (2025 Planet Labs PBC), com resolução espacial de 3 m, em intervalos mensais, no período de agosto de 2023 a julho de 2024.

$$\text{Fórmula 1: } NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Onde: NDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada
IVP: bandas do infravermelho próximo
V: bandas do vermelho

2.4 Análises estatísticas

Foram realizadas as análises estatísticas descritiva e espacial. A análise descritiva visou a obtenção dos valores mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão e coeficiente de variação (%), além da análise de correlação linear de Pearson, com uso do programa Excel® (Microsoft 365®, 2024). A análise espacial foi realizada a partir da análise geoestatística, com interpolação por krigagem. Foram elaborados mapas de isolinhas dos atributos produtividade do café úmido, seco e beneficiado, em sacas por hectare. Os mapas foram gerados com uso do software QGIS, versão 3.34.4, e auxílio do plugin Smart Map-SMP (Pereira et al., 2022).

A extração das informações das imagens de NDVI foi realizada com a ferramenta: amostrar valores de raster, do Qgis, onde foram obtidos os valores para os 50 pontos da grade, tanto para o NDVI como para a produtividade. A partir desses dados foi possível realizar a análise de correlação com auxílio do Excel®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise descritiva, observou-se média de produtividade de café beneficiado de 61,2 sc ha⁻¹, valor superior à média nacional aproximada de 30 sc ha⁻¹

registrada para o ano de 2024 (CONAB, 2024). Os resultados evidenciaram reduções nos valores de produtividade da ordem de 30% após o processo de secagem e de aproximadamente 52% após o beneficiamento dos grãos, totalizando uma redução de 67% em relação a produtividade inicialmente obtida (Tabela 2). Destacam-se os elevados coeficientes de variação ($CV > 20\%$) observados para todos os atributos (GOMES, 1990), indicando a possível presença de variabilidade espacial nos dados.

Tabela 2. Análise descritiva dos dados de produtividade de café úmido, seco e beneficiado.

Produtividade (sacas.ha ⁻¹)	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Erro padrão	CV (%)
Café Úmido	79,1	326,6	184,4	157,8	10,3	39,6
Café Seco	70,5	216,9	128,0	110,4	5,4	29,6
Café Beneficiado	33,3	132,9	61,2	50,3	3,1	35,6

Quando avaliados os dados de produtividade, de forma espacial, foi possível evidenciar dependência espacial, possibilitando a geração dos mapas temáticos. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2007), ao relatarem dependência espacial para a produtividade do cafeeiro da variedade Mundo Novo no sul de Minas Gerais. A partir dos mapas gerados, verificou-se que a perda de umidade, desde o fruto colhido até o grão limpo, não alterou o padrão de distribuição espacial da produtividade (Figura 6A, 6B e 6C).

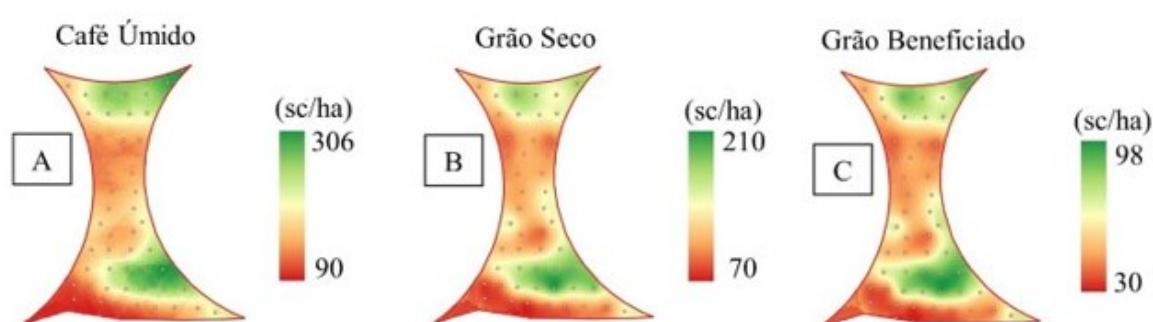


Figura 6: Mapas de produtividade (sc/ha⁻¹) de café na área agrícola no município de Indianópolis- MG

Quando avaliado o índice NDVI para o intervalo mensal proposto (agosto/23 a julho/24), foram observados os menores valores na parte superior e no extremo inferior esquerdo, e os maiores valores alocados na parte inferior direita (Figura 7).

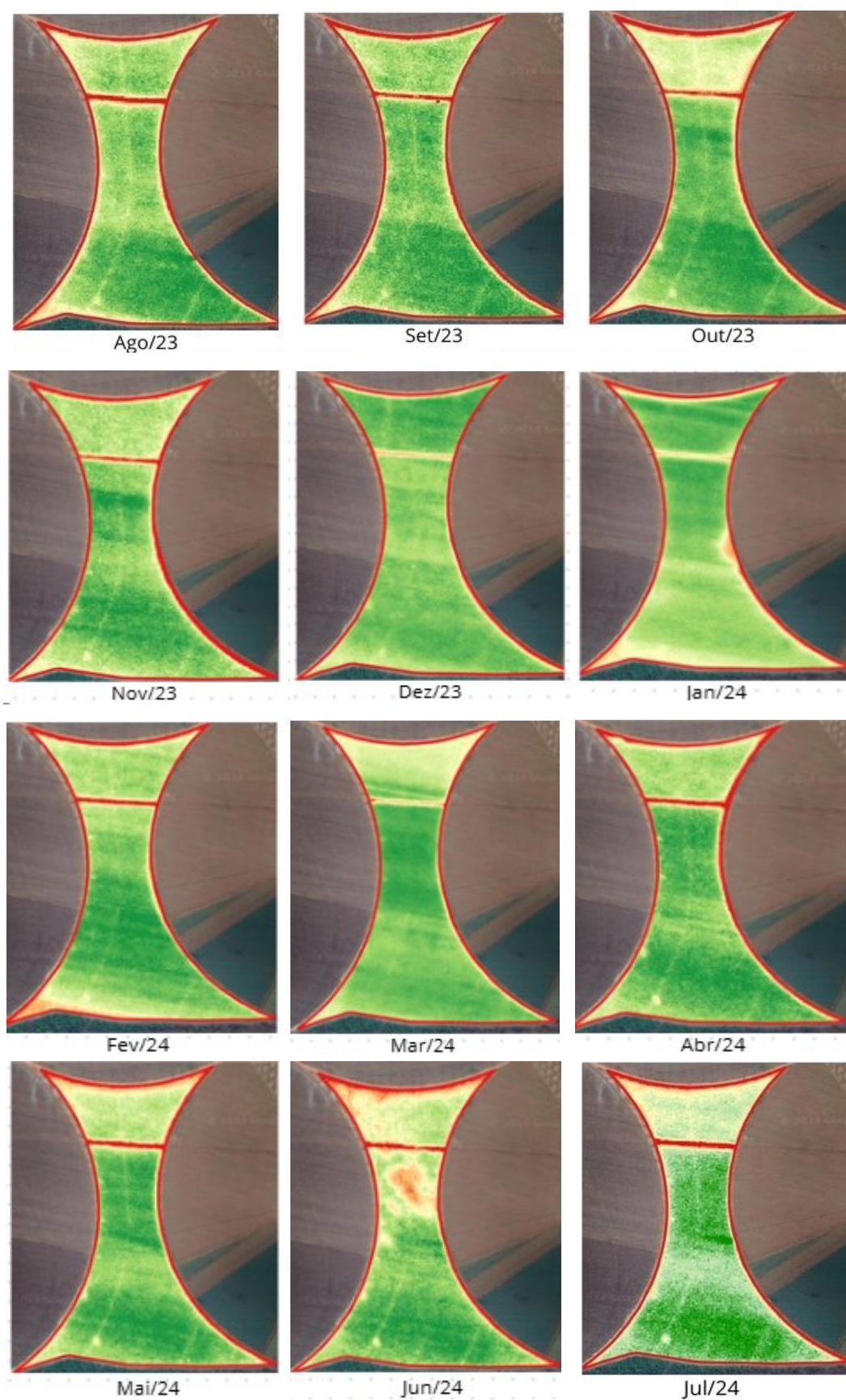


Figura 7: Mapas de NDVI da área agrícola oriunda da propriedade agrícola no município de Indianópolis- MG

Este comportamento é oposto ao observado para os dados de produtividade (Figura 6), a exceção do encontrado para o mês de dezembro de 2023, onde as correlações foram: agosto/23 ($r = 0,30$); setembro/23 ($r = 0,18$); outubro/23 ($r = 0,06$); novembro/23 ($r = 0,21$); dezembro/23 ($r = 0,48$); janeiro/24 ($r = 0,10$); fevereiro/24 ($r = 0,08$); março/24 ($r = -0,41$); abril/24 ($r = 0,20$); maio/24 ($r = -0,05$); junho/24 ($r = -0,03$); julho/24 ($r = 0,10$).

A análise conjunta dos mapas de NDVI e produtividade evidência como o comportamento temporal do índice de vegetação pode refletir o desempenho final da cultura. A maior correlação dos dados de produtividade com os dados de NDVI, registrada para o mês de dezembro de 2023 ($r = 0,48$), estaria direcionando um maior vigor vegetativo nessa fase do ciclo da cultura, direcionado à parte superior e inferior direita do talhão (Figura 7). Nesse período, a planta encontra-se em intenso desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa fotossintética e formação do aparato produtivo, favorecendo a correlação positiva com a produtividade. Os dados corroboram com os resultados encontrados por Eduardo et al. (2008), onde também foi observada maior correlação para o mês de dezembro, ao trabalharem com café *Canephora* em três safras consecutivas.

Por outro lado, o mapa de NDVI obtido para o mês de março evidenciou áreas com menores valores do índice, indicando redução do vigor vegetativo. Nessa fase do ciclo, a cultura encontra-se no estágio de granação dos frutos (Camargo; Camargo, 2001), momento em que os fotoassimilados são direcionados, preferencialmente, para os frutos, reduzindo a atividade fotossintética das folhas. Tal comportamento explica a correlação negativa observada entre o NDVI de março e a produtividade.

Diante desses pontos apresentados destaca-se a importância do acompanhamento da lavoura mostrando a diferença que existe no decorrer do tempo, com ênfase para o mês de dezembro, onde foi encontrada a maior correlação. Com isso é fundamental a continuidade de pesquisas na área visando a melhora das correlações aqui obtidas.

4. CONCLUSÃO

Verificou-se que é possível estimar a produtividade da cultura do café por meio do uso de imagens de satélite, a partir do índice NDVI, principalmente quando utilizada imagens referentes ao período da floração.

5. REFERÊNCIAS

CASTRO, G. D. M. **Modelos de estimativa de produtividade do cafeeiro por planta utilizando índices fenológicos**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Estimativa atualiza produção de café para 55,2 milhões de sacas na safra 2025**. *Portal Gov.br*, 04 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/estimativa-atualiza-producao-de-cafe-para-55-2-milhoes-de-sacas-na-safra-2025>. Acesso em: 20 dez. 2025.

DAVIS, A. P. et al. **Coffee atlas of Ethiopia and South Sudan**. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 2012.

DELIZA, R. **Café**. Embrapa Agroindústria de Alimentos — Agência de Informação Tecnológica, 09 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cafe>. Acesso em: 31 jan. 2026.

DURANTE, F. et al. Qualidade do café associada a diferentes estádios de maturação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 371–378, 2011.

EDUARDO, J. et al. Variabilidade temporal da produtividade do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 45–52, 2008.

EMBRAPA. **Seis maiores estados produtores dos Cafés do Brasil atingiram 98% do volume da safra de 2017**. Portal Embrapa, 04 jan. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31081641/seis-maiores-estados-produtores-dos-cafes-do-brasil-atingiram-98-do-volume-da-safra-de-2017>. Acesso em: 31 jan. 2026.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1990.

GRACIANO, J. D. et al. Estádios de maturação e qualidade do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 325–334, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Sensoriamento remoto**. Atlas Escolar IBGE, s.d. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/cartografia/21735-sensoriamento-remoto.html>. Acesso em: 25 dez. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Café: produção agropecuária**. IBGE Explica, s.d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cafe/br>. Acesso em: 31 jan. 2026.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Índice de Vegetação (SISDAGRO)**. Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária – SISDAGRO, s.d. Disponível em: <https://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/indiceVegetacao>. Acesso em: 25 dez. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Agricultura de precisão**. Brasília, DF, 2023.

PEREIRA, R. S. et al. Smart-Map: plugin para interpolação espacial no QGIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 4, p. 312–320, 2022.

PIZOL, J.V. **Pé de café: conheça os tipos e saiba como plantar**. Nutrição de Safras, 8 set. 2022. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/pe-de-cafe>. Acesso em: 31 jan. 2026.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401–407, 2007.

SINDICAFÉ-MG. **Café no mundo**, s.d. Disponível em: <https://sindicafe-mg.com.br/cafe-no-mundo>. Acesso em: 31 jan. 2026.

CARVALHO, C. H. S. de; BARTELEGA, L.; SERA, G. H.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. de; SANTINATO, F.; HOTZ, A. L. **Catálogo de cultivares de café arábica**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022. 115 p. Disponível em: <Catálogo de cultivares de café arábica>