

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GUILHERME PERUZZI CÂNDIDO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANÁLISE DA MATURAÇÃO DO
CAFÉ E A RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE BIENAL DA
CULTURA**

**UBERLÂNDIA – MG
2025**

GUILHERME PERUZZI CÂNDIDO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANÁLISE DA MATURAÇÃO DO
CAFÉ E A RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE BIENAL DA
CULTURA**

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
2025

GUILHERME PERUZZI CÂNDIDO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ANÁLISE DA MATURAÇÃO DO
CAFÉ E A RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE BIENAL DA
CULTURA**

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: 20 de setembro de 2025

Banca examinadora:

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

Prof^ª. Dra. Larissa Barbosa de Sousa

Dr. Gustavo Carvalho Santos

UBERLÂNDIA - MG
2025

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer a Deus pelas benções e a oportunidade de estar finalizando o curso de agronomia na UFU. Meus sinceros agradecimentos aos meus pais Leila e Washington, pois sempre me apoiaram e incentivaram para que eu buscasse e conquistasse todos meus sonhos e objetivos e nunca mediram esforços para me ajudar nessa jornada da graduação. Minha irmã Luiza, que sempre me motivou e deixa até os dias difíceis mais alegres e divertidos. A todos da família Peruzzi e da família Cândido, que mesmo a distância, nunca deixaram que eu desistisse e sempre foram minhas referências pessoais e profissionais.

Meus agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Sandro Hurtado e a minha tutora Prof^a. Dra. Larissa Barbosa, que juntos, mostraram e proporcionaram oportunidades para que me desenvolvesse profissionalmente e pessoalmente ao longo de todo o curso e, principalmente, pelos aprendizados e experiências que tive dentro dos grupos GeAP e PET Agro UFU.

Aos famosos “Diretores”, Arthur, Múcio, Felipe, Wanessa, Vitória e Ventura, que juntos, fizeram com que este trabalho se torna-se possível a ser realizado com muita responsabilidade, confiança e maestria, além de muitas conversas, risadas e, principalmente, aos momentos que se tornaram inesquecíveis para cada um de nós.

A toda turma 70º da Agronomia, que trilharam um caminho exemplar dentro e fora da universidade, dando valor a cada momento vivido ao longo desses anos em Uberlândia.

E por fim, mas não menos importante, a Universidade Federal de Uberlândia, por toda estrutura, serviços e oportunidades, além de cada professor que fez parte de minha formação como engenheiro agrônomo.

RESUMO

O café é de ampla importância para a economia do Brasil, onde o uso de novas tecnologias permite direcionar estratégias visando o aumento da eficiência produtiva. O trabalho de pesquisa teve por objetivo evidenciar a importância que o momento da colheita do café tem sobre a produtividade de frutos beneficiados e a sua possível relação com a qualidade final do fruto, durante as safras de 2024 e 2025 e a utilização de inteligência artificial Yolo_m8 para a classificação e automatização do processo. O local de 27 ha, encontra-se a 980 m de elevação, com a cultura de café irrigado por gotejamento. Demarcada uma malha de 50 pontos amostrais com uso do software Qgis, para a coleta de informações. Em cada ponto foram identificadas quatro plantas e realizadas a colheita manual e a obtenção de fotografias do material colhido. As imagens foram obtidas a partir de um celular com câmera de 50 megapixels a 1,70 m do chão. Para obtenção da produtividade os grãos foram secados até uma umidade próxima de 11,5% e beneficiados. A análise das imagens consistiu na obtenção das porcentagens dos diferentes graus de maturação encontrados no momento da colheita. Mapas de dependência espacial foram obtidos para todos os dados coletados com uso da geoestatística e Qgis. Os resultados permitiram concluir que há dependência espacial para os atributos café beneficiado e grau de maturação de frutos no momento da colheita. A relação encontrada entre estes atributos no momento da colheita pode afetar a resposta em produtividade e qualidade, sobretudo quando verificada maior presença de grãos com maturação verde.

Palavras – chave: Maturação de café, imagens, variabilidade espacial.

Abstract

Coffee plays a crucial role in Brazil's economy, where the adoption of new technologies enables strategies aimed at improving production efficiency. This research aimed to highlight the importance of the harvest timing on the productivity of processed coffee and its possible relationship with final fruit quality during the 2024 and 2025 seasons, as well as the use of artificial intelligence (Yolo_m8) for fruit classification and process automation. The study was conducted in a 27-ha irrigated coffee area located at 980 m of altitude, under a drip irrigation system. A grid of 50 sampling points was delimited using QGIS software for data collection. At each point, four plants were selected for manual harvest, and photographs of the harvested material were taken. The images were obtained with a 50-megapixel mobile phone camera at 1.70 m above ground. For productivity determination, the grains were dried to approximately 11.5% moisture and processed. Image analysis allowed for the estimation of the percentages of fruits at different maturation stages at harvest time. Spatial dependency maps were generated for all collected attributes through geostatistical analysis and QGIS. The results indicated spatial dependence for both processed coffee yield and fruit maturation stages. The relationship observed between these attributes at harvest time may influence productivity and quality, especially when a higher proportion of green fruits was present.

Keywords: Coffee maturation, images, spatial variability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 Coleta de dados	9
2.2 Colheita do café	10
2.3 Imagens digitais das amostras.....	11
2.4 Análise de imagens	11
2.5 Análise estatística	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 Safra 2024.....	13
3.2 Safra 2025.....	17
4. CONCLUSÃO.....	19
5. REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café é um pilar no desenvolvimento econômico do Brasil, com cerca de 8,4 milhões de empregos (CNC, 2021), e uma produção nacional de 39,6 milhões de sacas. No país destaca o estado de Minas Gerais, com produção estimada de 28 milhões de sacas de café arábica, na safra de 2024 (CONAB, 2025), cultivado majoritariamente na região do Cerrado, com presença de terras planas e estações climáticas bem definidas (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017).

De acordo com o Catálogo de Cultivares de Café Arábica (2022), a cultivar topázio apresenta origem no cruzamento entre Catuaí Amarelo e Mundo Novo, ciclo médio de maturação, cor amarela do fruto maduro e uma alta produtividade. Em relação a maturação, uma mesma planta pode conter frutos em diferentes estádios de maturação: chumbinho, verde, verde cana, cereja, passa e seco (GRACIANO *et al.*, 2019), além de frutos com cores, densidades e teor de umidade diferentes no momento da colheita (DURANTE *et al.*, 2011).

A não homogeneização na maturação dos frutos ocorre principalmente pela ocorrência de várias floradas ao longo do ciclo de floração e frutificação do café. Essas múltiplas floradas são decorrentes de aspectos ambientais que incluem distribuição sazonal das chuvas, variações de temperatura e de fotoperíodo (DURANTE *et al.*, 2011; ALMEIDA, 2019). Fatores como este no momento da colheita, pode comprometer a composição química dos grãos e consequentemente a qualidade e a segurança da bebida do café (ANGÉLICO *et al.*, 2011).

Visando o aprimoramento da resposta produtiva da cultura, é importante o desenvolvimento de técnicas de manejo que permitam direcionar estratégias para a maior eficiência do sistema produtivo (LIMA *et al.*, 2013), o que é viabilizado a partir do uso da Agricultura de Precisão - AP (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). Fatores ambientais, relevo, tipo e atributos físicos e químicos do solo, além do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta, apresentam variações espaciais que devem ser consideradas (GREGO *et al.*, 2024), identificadas e demonstradas por técnicas de AP.

Entre estas técnicas, Assad *et al.* (2002) aponta os métodos de sensoriamento remoto, cujo objetivo é caracterizar determinado padrão de forma e cor, variáveis identificadas com grande facilidade por visão computacional (SANTOS, 2022). Tais informações obtidas a partir do comportamento espectral de alvos agrícolas podem ser

úteis tanto para discriminar e quantificar esses alvos na paisagem local, como a sua utilização para trabalhos de monitoramento, como é o caso do monitoramento das fases fenológicas das culturas, o monitoramento da seca, o monitoramento de queimadas, previsão de safras e a identificação do ponto ideal de colheita (MEIRELES *et al.*, 2009; MENDES *et al.*, 2014).

O trabalho teve por objetivo analisar a relação entre a maturação dos frutos de café no momento da colheita, a partir de imagens digitais e inteligência artificial, com a produtividade dos grãos beneficiados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra de 2024 e 2025, em área de 27 hectares, pertencente à Fazenda Mandaguari, município de Indianópolis, MG (18°59' S; 47°47' O), a 980 metros de altitude. O talhão foi implantado há dois anos, com *Coffea arabica*, cultivar Topázio, em sistema de irrigação por gotejamento, com espaçamento entre linhas de 3,8 m e 0,7 m entre plantas, totalizando 3.759 plantas. ha⁻¹.

2.1 Coleta de dados

O talhão foi demarcado por uma malha homogênea com 50 pontos amostrais, numa densidade aproximada de dois pontos por ha, a partir do uso do software Qgis (Figura 1).



Figura 1: Talhão de 27 ha e malha de pontos para coleta de dados.

A localização dos pontos a campo foi a partir do receptor GNSS de navegação E-trex Vista 30X. Para cada ponto foram selecionadas e identificadas quatro plantas, sendo duas plantas vizinhas em duas linhas de plantio contiguas. Na seleção das plantas foram evitadas aquelas fora do padrão predominante de uniformidade de altura e diâmetro, carga pendente de frutos, bifurcação de ramos ortotrópicos e sanidade para o local.

2.2 Colheita do café

O método de colheita empregado foi a derriça manual, com auxílio de lonas dispostas na parte inferior das quatro plantas, para evitar perdas. Os frutos foram limpos de impurezas como folhas e galhos, homogeneizados (Figura 2A) e dispostos sobre lonas para obtenção de fotografias do material colhido. Posteriormente, foram construídas baias de madeiras sobre o terreiro em piso de cimento, a fim de proporcionar a secagem natural dos frutos sem que haja a contaminação entre as amostras, até atingirem umidade próxima de 11,5 % (ISQUIERDO *et al.*, 2011) (Figura 2B). Na safra de 2025, anterior ao processo de secagem sobre o terreiro, foi feito o processo de lavagem do café, para retirada dos frutos boias (JÚNIOR *et al.*, 2003).

Concluída a secagem, os pontos foram beneficiados em uma máquina elétrica, de forma gradativa, a fim de preservar a integridade dos grãos e deixar a amostra livre de impurezas (Figura 2C), considerando uma alíquota de 2 kg de café em coco. Após este procedimento foi obtida a produtividade para cada ponto da malha amostral.

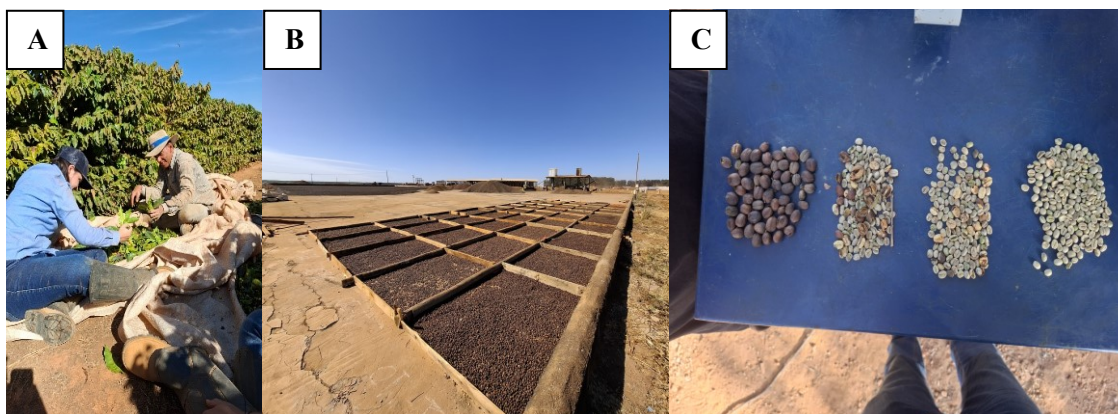


Figura 2: Limpeza de amostras recém-colhidas (A), secagem de frutos no terreiro (B), beneficiamento dos frutos (C).

2.3 Imagens digitais das amostras

Posterior a limpeza em cada ponto amostral e prévio a secagem em terreiro, os frutos foram homogeneizados, dispostos em camada de aproximadamente 5 cm sobre uma lona e devidamente identificados (Figura 3A). Em seguida, as imagens foram obtidas evitando a incidência direta do sol sobre as amostras e sobre a lente da câmera, com uso de um celular marca Samsung®, modelo A55, com câmera principal de 50 megapixels e zoom de 1.0, a uma altura de 1,70 m do chão (Figura 3B). Estas imagens foram capturadas ao final da colheita de cada ponto amostral para as safras 2023/24 e 2024/25.



Figura 3: Coleta de imagens digitais (A) e imagem retirada do ponto amostral (B).

2.4 Análise de imagens

Na safra 2023/24, a obtenção da porcentagem dos diferentes estádios de maturação do café, foi realizado a partir da análise de imagens por meio do software Qgis. A partir de uma camada de pontos (Figura 4) e a tabela de atributos gerada pelo próprio Qgis, foram efetuadas contagens simples de frutos contidos em uma subamostra de aproximadamente 300 frutos (513.099 pixels). Foi obtido o percentual de frutos correspondente as fases de maturação verde, verde-cana, cereja, passa e seco (PEZZOPANE *et al.*, 2003), considerando o número total de frutos de cada imagem como 100 %. De posse dos dados de peso dos frutos e da análise visual da maturação, foram gerados os devidos mapas com

a análise espacial dos atributos por meio da geoestatística, utilizando modelos de semivariogramas e interpolação pelo método de krigagem, com auxílio do complemento Smart-Map, no ambiente Qgis.

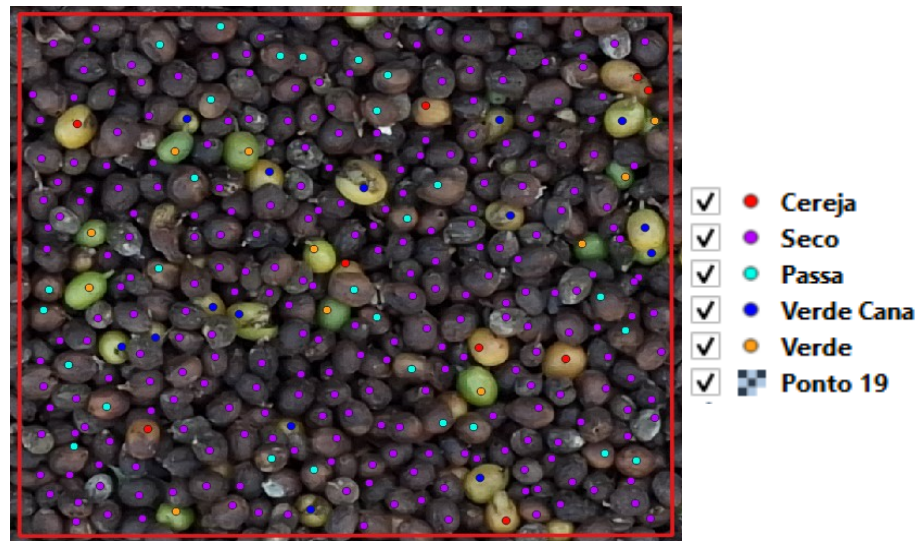


Figura 4: Camada de pontos e identificação dos tipos de frutos por cores.

Na safra 2024/25, as imagens digitais foram analisadas por meio de inteligência artificial Yolo_m8. Para isto, três fotos pertencentes a cada safra foram recortadas no ambiente QGIS 3.34.4, pelo plugin Deepness, totalizando 289 imagens com 640 x 640 pixels de resolução, tornando-as aptas a serem rotuladas nas cinco classes de maturação.

Com uso da plataforma Roboflow foi utilizada a ferramenta Smart polygon para separar cada fruto nas seguintes classes: verde, verde-cana, cereja, passa e seco. Foi utilizado o tipo de modelo “Segmentação de instâncias”, com 240 imagens para treinamento, 30 para validação e 19 para teste.

O site da ultralytics foi utilizado para treinar a inteligência artificial Yolo_m8 com um total de 99 gerações de aprendizagem, limiar de confiança de 0,25 e um limite IoU de 0,45. O arquivo gerado no formato “.onnx”, a partir da plataforma, foi carregado novamente para o plugin Deepness, e realizada a classificação automática dos pontos amostrais. Foram desenhados polígonos em torno dos frutos que se enquadravam aos respectivos estádios de maturação (Figura 6), e posteriormente, foi apresentada a quantidade de frutos para cada estágio de maturação por meio da tabela de atributos.

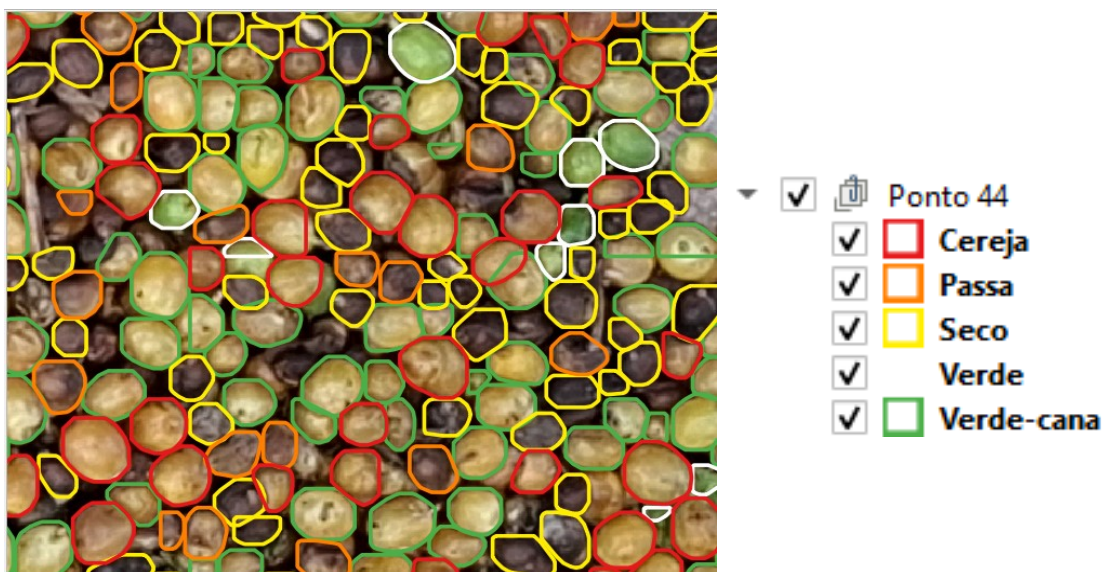


Figura 6: Classificação dos cinco estádios de maturação feitas pela inteligência artificial.

2.5 Análise estatística

A análise foi realizada com uso do programa Excel® (EXCEL, 2024) da Microsoft 365®, a partir de análises estatísticas descritivas e obtenção dos valores mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão e coeficiente de variação (%), além da análise de correlação linear de Pearson. Na sequência, foi realizada a verificação do comportamento espacial dos dados, por meio da análise de semivariogramas e interpolação por krigagem (VIEIRA, 2000), e gerados mapas com uso do programa Smart – Map (PEREIRA *et al.*, 2022), na interface do software Qgis. O procedimento foi repetido para ambas as safras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Safra 2024

Os resultados da análise descritiva permitem verificar uma média de 61,2 sc.ha⁻¹ de café beneficiado, valor superior à média nacional de 26,2 sc.ha⁻¹ e à média do Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste mineiro (CONAB, 2025) (Tabela 1). Quando avaliado o grau de maturação no momento da colheita observa-se a maior porcentagem para o café com grãos secos (70,1 %) e a menor para o tipo cereja (3,4 %). Destaque é dado aos quase 9% de café considerado como verde, média condizente com o parâmetro de 15 % para se iniciar a derriça. A adição de apenas 2% de grãos verdes em um lote de café classificado como “bebida mole” torna-o bebida “apenas mole”. Quando adicionado 10%, o lote de bebida “mole” passa para bebida “dura”, caracterizada por um sabor adstringente,

provocando queda na classificação oficial de bebida (MONTEIRO, 2002; ALMEIDA *et al.*, 2019).

A proximidade dos valores de média e mediana indicam um possível comportamento normal nos dados. Por sua vez, os dados de coeficiente de variação (CV%) permitem evidenciar altos valores para a maioria de atributos ($CV > 20\%$), a exceção do registrado para os grãos colhidos como secos ($10\% < CV < 20\%$) (Gomes, 1990), servindo como indicativo de presença de variabilidade espacial nos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise descritiva para os dados de produtividade de café beneficiado e de maturação do grão no momento da colheita de café.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Erro padrão	CV
Café Beneficiado (sc/ha)	33,3	132,9	61,2	50,3	3,1	35,6
Grãos Verde (%)	0,6	29,3	8,7	6,9	0,8	68,5
Grãos Verde Cana (%)	1,6	17,4	7,0	6,4	0,5	52,8
Grãos Cereja (%)	0,6	13,2	3,4	3,0	0,3	62,7
Grãos Passa (%)	3,1	29,4	10,9	9,4	0,8	49,8
Grãos Seco (%)	46,8	86,1	70,1	70,8	1,5	15,1

CV: coeficiente de variação

A análise espacial dos dados, realizada a partir da geoestatística, permitiu verificar a existência de dependência espacial para os atributos café beneficiado e grãos com maturação em verde e cereja, com semivariogramas do tipo esférico e alcances entre 90 m (cereja) e 150 m (café beneficiado). Para estes atributos foi possível a geração de mapas a partir da interpolação por krigagem (SILVA *et al.*, 2008). Para os demais atributos foi verificado a existência de efeito pepita puro, sendo a interpolação realizada pelo inverso do quadrado da distância (IDW).

A maior produtividade de grãos beneficiados (Figura 7A) é verificada na parte sul do talhão. Para Couto *et al.*, (1999), a massa específica aparente de grãos cresce com a diminuição do teor de umidade do produto, sendo que áreas com maior porcentagem de grãos secos podem apresentar maior massa e produtividade final. Esse mesmo comportamento espacial é verificado para os mapas gerados a partir das porcentagens de grãos com maturação verde e verde cana, conforme apresentado nas figuras 7B e 7C. Por sua vez, comportamento oposto pode ser evidenciado para os grãos com maturação considerado como seco (Figura 7F). Esta relação condiz com a análise de correlação, onde foi visualizada relação direta entre a produtividade de café já beneficiado e os grãos colhidos como verdes ($r = 0,68$) e verde cana ($r = 0,68$), e relação inversa com os grãos

colhidos como secos ($r = -0,65$).

A partir dos dados foi possível verificar também correlação inversa ($r = -0,73$) entre o grão de maturação verde (Figura 7B) e seco (Figura 7F), indicando a desuniformidade para o tempo de maturação. De acordo com Souza *et al.* (2016), fatores climáticos, em especial a temperatura, afetam diretamente o somatório de graus- dia próprio a cada fase fenológica. Semelhante comportamento visual foi verificado para os mapas com grãos na maturação verde cana (Figura 7C) e cereja (Figura 7D).

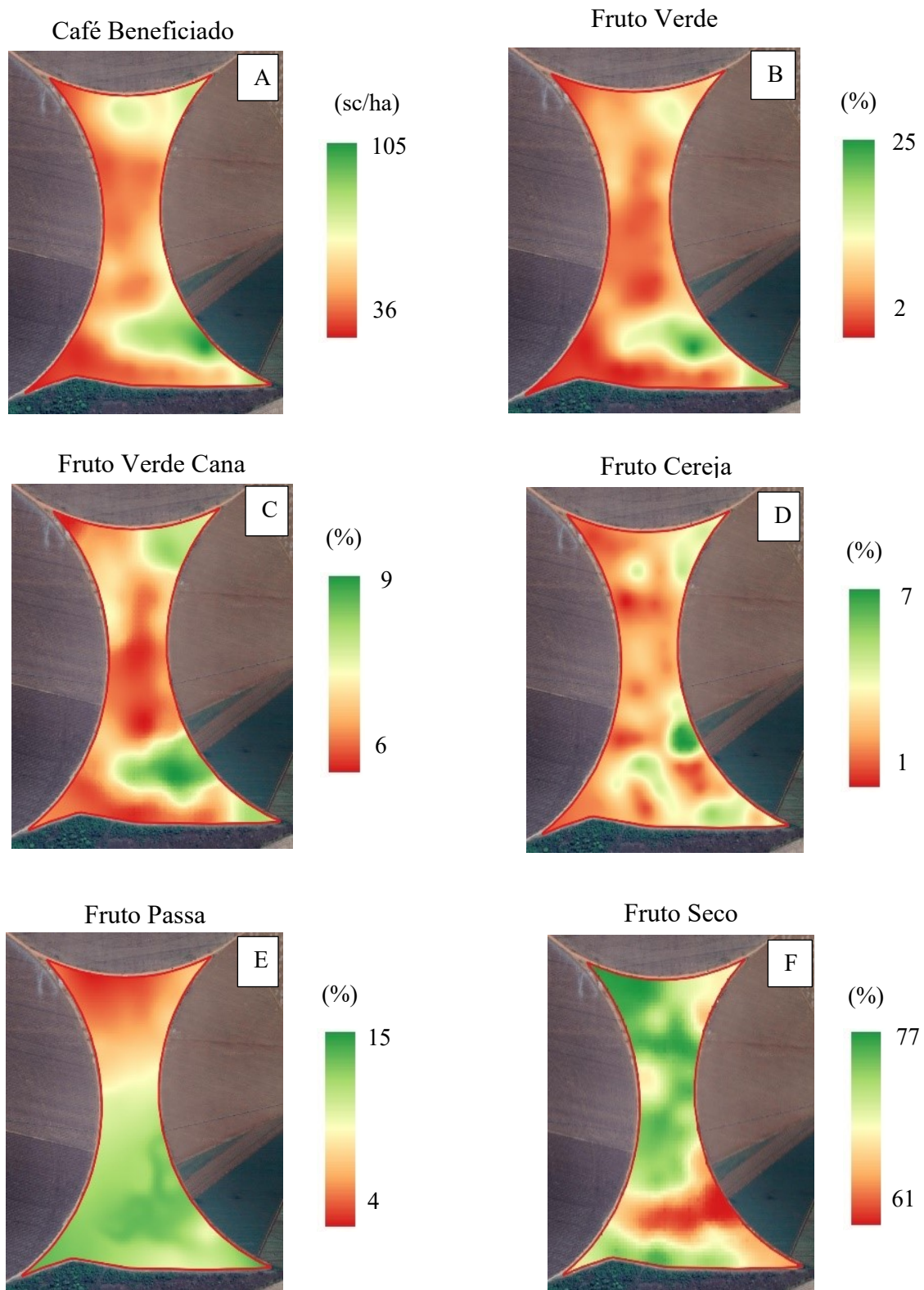


Figura 7. Análise espacial para os dados de produtividade de café beneficiado e porcentagens de maturação do fruto na colheita da safra de 2024.

A relação encontrada entre a produtividade de grãos já beneficiados e a porcentagem de grãos com maturação verde e verde cana ilustrados nas figuras 7 A, B e C, alerta para a existência de variabilidade na umidade dos grãos no processo de secagem. Embora os grãos tenham sido retirados do terreiro ao atingirem umidade próxima de 11,5%, a variação de umidade, ao parecer, foi mantida entre os tipos de grãos colhidos.

Esta informação alerta ainda para a elaboração de cafés especiais, onde a maior presença de grãos verdes no lote pode afetar a composição e qualidade final da bebida, também denominados, defeitos de xícara, e intimamente ligado ao tipo de matéria-prima colhida (QUINTERO-YEPES; RODRÍGUEZ-VALENCIA, 2022). Para amostras contendo mais de 2,5 % de grãos verdes, Puerta-Quintero (2000) detectou defeitos do tipo: fermentação, sujeira, vinagre, terra e sabores estranhos e desagradáveis na bebida.

3.2 Safra 2025

A análise descritiva demonstrou uma média de 39,8 sc.ha⁻¹ de café beneficiado (Tabela 2). Quando avaliado o grau de maturação no momento da colheita observa-se a maior porcentagem para o café com grãos verde-cana (37,07%) e a menor para o tipo verde (8,50%), destacando-se a média de 21,40% de frutos cereja, estágio ideal para a colheita, uma vez que o maior acúmulo de sólidos solúveis nesta fase contribui para o rendimento industrial e para o corpo da bebida do café (JÚNIOR *et al.*, 2003).

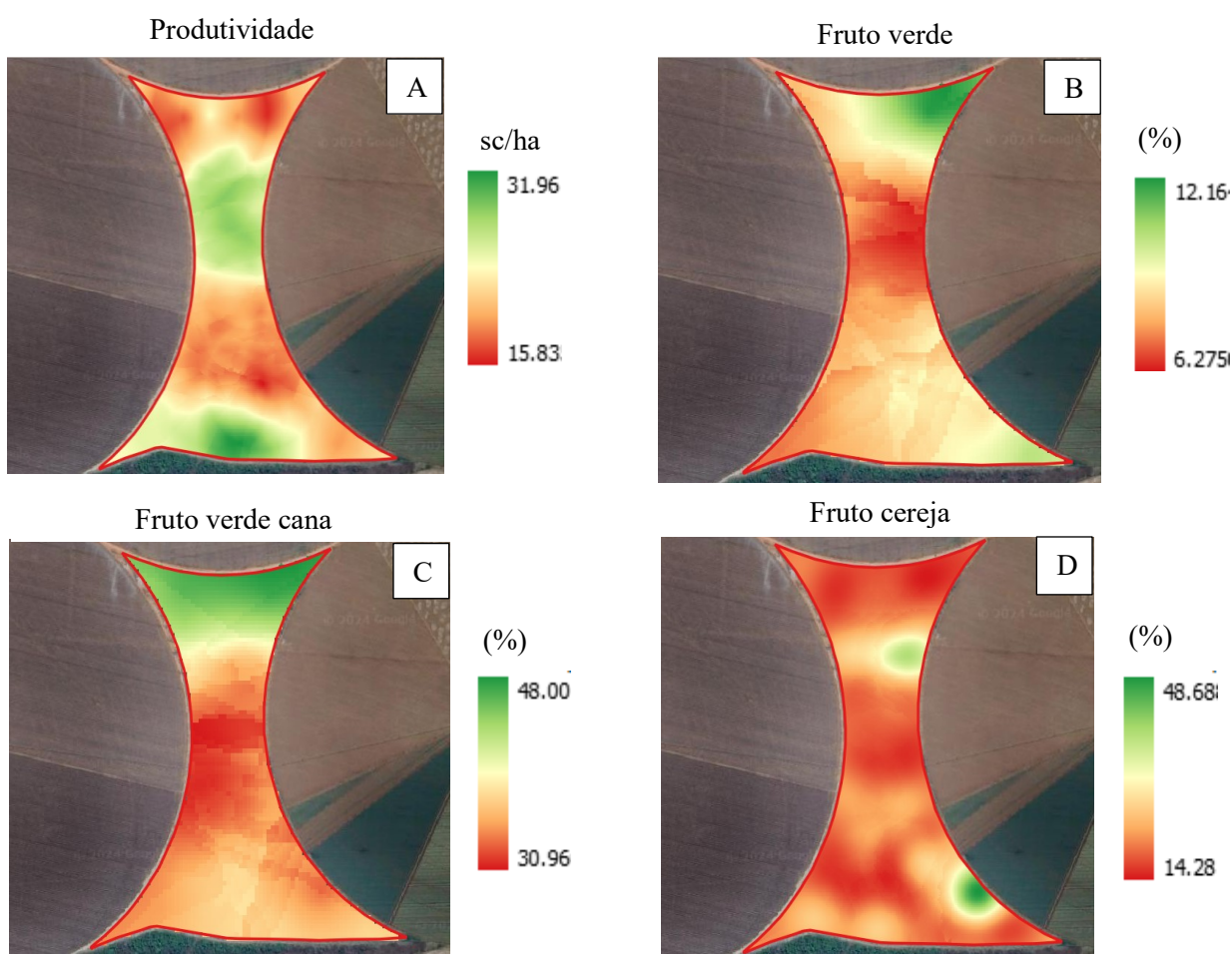
De maneira geral, a distribuição dos estádios de maturação apresentou elevada variabilidade espacial, com coeficientes de variação acima de 40% para os frutos verde, cereja e passa (Tabela 2). Essa heterogeneidade evidencia que diferentes pontos do talhão se encontravam em estágios distintos de maturação, o que pode dificultar a definição de um momento único de colheita. Além disso, a elevada proporção de frutos secos (23,7%) sugere perdas qualitativas potenciais, uma vez que, os teores de açúcares presentes nos frutos diminuem (JÚNIOR *et al.*, 2003).

Tabela 2. Análise descritiva para os dados de produtividade de café beneficiado e porcentagens de maturação do grão no momento da colheita de café.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Erro padrão	CV
Café Beneficiado (sc/ha)	13.12	66.25	39.80	38.07	1.74	30.93
Grãos Verde (%)	1.70	24.50	8.50	7.00	0.60	51.00
Grãos Verde-cana (%)	10.10	60.80	37.10	38.00	1.50	29.10
Grãos Cereja (%)	5.50	71.70	21.40	17.80	1.70	56.70
Grãos Passa (%)	1.50	20.30	9.30	8.70	0.60	47.00
Grãos Seco (%)	4.10	44.30	23.70	24.30	1.30	37.80

CV: Coeficiente de variação.

A maior produtividade da safra 2025 se concentra na parte superior do talhão e ao centro sul do mesmo, observado na figura 8A, possuindo relação positiva com a porcentagem de frutos cereja ($r = 0,14$), secos ($r = 0,19$) e (Figura 8D). Em segunda análise, observou-se correlação negativa entre produtividade e frutos verdes ($r = -0,38$) e verde-cana ($r = -0,19$) indicando que áreas com maior concentração desse estágio tendem a apresentar menores produtividades, figuras 8A, 8B e 8C. As correlações entre a produtividade com frutos passas ($r = 0,06$), foram fracas, sugerindo baixa influência direta desses estádios sobre a produtividade média.



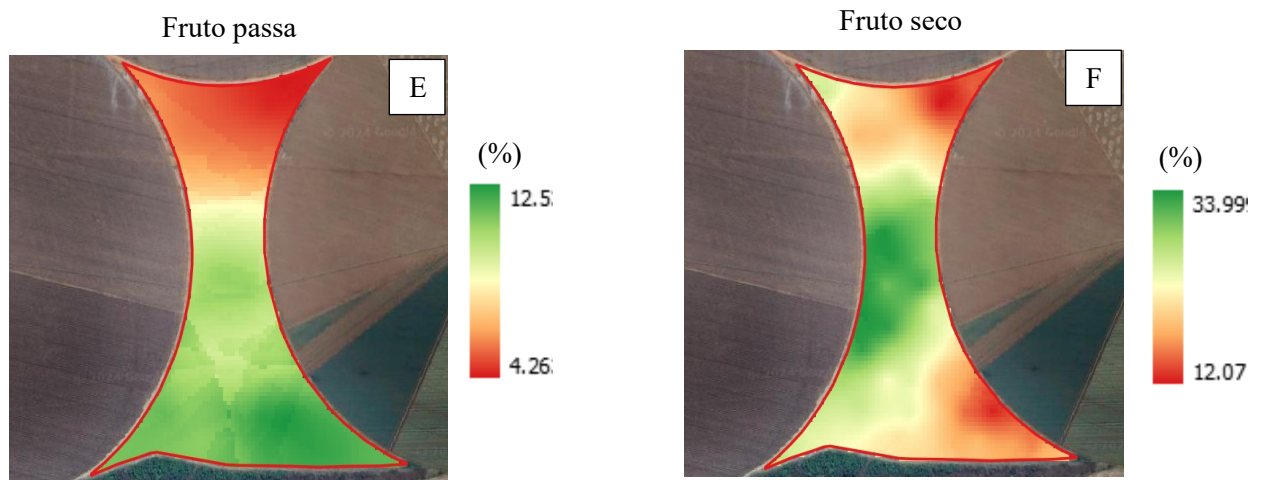


Figura 8. Análise espacial para os dados de produtividade de café beneficiado e porcentagens de maturação do fruto na colheita da safra de 2025.

Por meio da geoestatística, observou-se correlação negativa entre frutos verde-cana e passa ($r = -0,39$). Além disso, identificou-se correlação negativa entre frutos secos e verdes ($r = -0,52$), sugerindo que regiões com alta porcentagem de frutos verdes coincidem com baixa ocorrência de frutos secos, e vice-versa. Resultados que reforçam a heterogeneidade da maturação ao longo do talhão foram descritos por KAZAMA *et al.* (2020).

O presente trabalho demonstrou ser possível especializar o grau de maturação dos frutos no momento da colheita. Esta informação é válida para a verificação do trabalho de colheita manual, ao atribuir melhores benefícios quando requerido um maior cuidado na colheita de frutos cereja, por exemplo. Finalmente, abre-se a possibilidade para a definição do melhor momento da colheita por meio do uso de imagens, podendo ser esta mais bem validada quando o fruto se encontrar ainda no pé.

4. CONCLUSÃO

Há dependência espacial para os atributos café beneficiado e grau de maturação de frutos no momento da colheita.

A relação entre a maturação dos frutos e a produtividade é ferramenta de auxílio para a definição do melhor momento da colheita.

O uso de imagens digitais e da inteligência artificial contribuem na rápida aferição da porcentagem de maturação dos grãos.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Samira Luns Hatum de. **MONITORAMENTO DA MATURAÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA UTILIZANDO CÂMERA DIGITAL MODIFICADA A BORDO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

ANGÉLICO, Caroline Lima *et al.* DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E TEMPOS DE ENSACAMENTO SOBRE A QUALIDADE DO CAFÉ. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 8-19, jan. 2011.

ASSAD, Eduardo Delgado *et al.* Identificação de impurezas e misturas em pó de café por meio de comportamento espectral e análise de imagens digitais. **Agrarian Academy**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 211-216, fev. 2002.

CARVALHO JÚNIOR, Cássio de *et al.* Influência de diferentes sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 27, n. 5, p. 1089-1096, out. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542003000500017>.

CATÁLOGO DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA. Brasília: Embrapa Café, 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café. Brasília, DF, v. 11, n. 4, jan. 2025.

Conselho Nacional do Café – CNC. Café do Brasil: confira a história. Confira a história, 2021, Disponível em: <https://cncafe.com.br/cafe-do-brasil-historia/>. Acesso em: 18 ago 2024.

COUTO, S. M. *et al.*, Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 3, n. 1, p. 61-68, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi,v3n1p61-68>.

DURANTE, Antônio Donizetti *et al.* QUALIDADE DO CAFÉ COLHIDO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO. In: VII SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Muzambinho. **Resumo expandido**. Araxá: Spcb, 2011. v. 7, p. 1-4.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. *Science*. Nova Iorque, v. 327, p. 828 831, fev. 2010.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

GRACIANO, Patrícia Diniz *et al.* ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO DE CULTIVARES DE *Coffea arabica* L. EM MONTE CARMELO-MG E SUAS CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS. **Revista Ciência Agrícola**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 7-14, 25 jul. 2019.

GREGO, Célia Regina *et al.* Implantação da agricultura de precisão para manejo diferenciado em sistema de produção de cafés especiais na região sul de Minas Gerais. In: BASSOI, Luís

Henrique *et al.* **Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar na Era Digital**. São Carlos: Cubo, 2024. p. 1-811.

ISQUIERDO, Eder Pedroza *et al.* QUALIDADE DO CAFÉ CEREJA DESMUCILADO SUBMETIDO AO PARCELAMENTO DA SECAGEM. *Coffee Science*, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, set. 2011.

KAZAMA, E. H. *et al.* Methodology for selective coffee harvesting in management zones of yield and maturation. *Precision Agriculture*, n. 0123456789, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s11119-020-09751-1>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-020-09751-1>

LIMA, J. S. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902013000100003>.

MEDEIROS, Rodrigo de Vasconcellos Viana; RODRIGUES, Patricia Mattos Amato. A ECONOMIA CAFEEIRA NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DAS INOVAÇÕES PARA ESSA CADEIA. **A Economia em Revista - Aere**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1, 5 out. 2017. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/aere.v25i1.35511>.

MEIRELES, E. J. L., CAMARGO, M. B. P. D., PEZZOPANE, J. R. M., THOMAZIELLO, R. A., FAHL, J. I., BARDIN, L., ... & FERREIRA, R. A. Fenologia do Cafeeiro: Condições Agrometeorológicas e Balanço Hídrico do Ano Agrícola 2004–2005. Embrapa-Documents. ISSN 1678-1694. Brasília-DF: 2009. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/3381>>.

MENDES, Danilo de *et al.* CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DE UMA LAVOURA DE CAFÉ CONILON EM IMAGENS LANDSAT. **Agrarian Academy**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 108-121, abr. 2014. Centro Científico Conhecer.
http://dx.doi.org/10.18677/agrarian_academy_2014_008.

MONTEIRO, Marlene Azevedo Magalhães. **CARACTERIZAÇÃO SENSORIAL DA BEBIDA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.): ANÁLISE DESCRITIVA QUANTITATIVA, ANÁLISE TEMPO-INTENSIDADE E TESTES AFETIVOS**. 2002. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PEREIRA, G.W. *et al.* Smart-Map: an open-source qgis plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. *Agronomy*, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1350, 1 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12061350>.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo *et al.* Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. *Bragantia*, [S.L.], v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052003000300015>.

PUERTA-QUINTERO, Gloria Inés. INFLUENCIA DE LOS GRANOS DE CAFÉ COSECHADOS VERDES, EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DE LA BEBIDA. **Cenicafé**, [S.L.], v. 2, n. 51, p. 136-150, fev. 2000.

QUINTERO-YEPES, Laura; RODRÍGUEZ-VALENCIA, Nelson. Efecto del manejo de frutos verdes de café, previo al proceso de beneficio, en su calidad física. **Revista Cenicafé**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 1-13, fev. 2022. Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia (CENICAFE). <http://dx.doi.org/10.38141/10778/73202>.

SAMPAIO, Cristiane Pires. **DETERMINAÇÃO DA FORÇA REQUERIDA PARA O DESPRENDIMENTO DE FRUTOS DE CAFÉ EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO**. 2000. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SANTOS, Darlisson Medeiros. **REDES NEURAIAS CONVOLUCIONAIS PARA CLASSIFICAR A MATURAÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ**. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2022.

SILVA, F. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008. http://dx.doi.org/10.1590/s1413_70542008000100034.

SOUZA, C. A. de *et al.* Componentes genéticos do desenvolvimento e maturação de frutos de *Coffea canephora pierre ex a.froehner*. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 355-364, 2016. Universidade Federal de Alogaos. <http://dx.doi.org/10.28998/rca.v17i1.5608>.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.