

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

CAIO OLIVEIRA RODRIGUES ALVES

**DEPOSIÇÃO DE CALDA NO DOSSEL DO CAFEEIRO E PERDAS
PARA O SOLO PROMOVIDAS PELA PULVERIZAÇÃO COM
AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA E
TURBOPULVERIZADOR**

**Uberlândia – MG
2025**

CAIO OLIVEIRA RODRIGUES ALVES

**DEPOSIÇÃO DE CALDA NO DOSSEL DO CAFEEIRO E PERDAS
PARA O SOLO PROMOVIDAS PELA PULVERIZAÇÃO COM
AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA E
TURBOPULVERIZADOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes
Rodrigues da Cunha.

**Uberlândia – MG
2025**

RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para aplicação de defensivos agrícolas em cafeeiros tem crescido muito, no entanto, pode promover baixa deposição de calda nas folhas e maiores perdas de produtos nas entrelinhas em comparação aos turbopulverizadores terrestres. Este trabalho teve como objetivo avaliar a deposição de calda no dossel do cafeeiro e as perdas para o solo promovidas pela pulverização com RPA e turbopulverizador, operando em diferentes volumes de calda. O experimento constou de 4 tratamentos e 8 repetições: RPA (10 L ha⁻¹), RPA (20 L ha⁻¹), turbopulverizador (200 L ha⁻¹) e turbopulverizador (300 L ha⁻¹). Foram avaliadas a deposição de calda, por meio da detecção de um traçador nas folhas do café, considerando as partes inferior e superior das plantas, por espectrofotometria, e as perdas de calda para o solo, por meio da detecção do traçador em placas de Petri posicionadas junto ao solo no centro da entrelinha e sob a copa do cafeeiro. A aplicação terrestre com turbopulverizador promoveu maior deposição de calda ao longo do dossel do cafeeiro. A aplicação com a RPA em área total promoveu maiores perdas de calda nas entrelinhas do cafeeiro. Não houve diferença entre os tratamentos terrestres e aéreos em relação ao escoamento para solo sob a copa do café.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, drones, tecnologia de aplicação, volume de calda.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 MATERIAL E MÉTODOS	7
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4 CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS.....	16

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café (*Coffea arabica* L.) tem grande importância para o Brasil, que se destaca mundialmente como o maior produtor e exportador dessa *commodity* devido à sua elevada capacidade produtiva (Machado *et al.*, 2020). Originário do continente africano, o cafeeiro cresce espontaneamente nos sub-bosques das altas regiões da Etiópia (Ricci *et al.*, 2009). Contudo, no Brasil, a cultura é amplamente cultivada em monocultivo e a pleno sol, uma adaptação desenvolvida ao longo do tempo (Braun *et al.*, 2007).

A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), em agosto de 2024, estimou a colheita em 96% da área plantada, com uma produção total de 54,79 milhões de sacas beneficiadas, representando uma leve queda de 0,5% em relação ao ano anterior. O clima influenciou as expectativas entre o segundo e o terceiro levantamentos da Conab, frustrando algumas projeções iniciais de alto rendimento das lavouras (Conab, 2024).

Com o aumento da demanda por alimentos, a produção agrícola vem expandindo para áreas anteriormente dedicadas à pecuária. Esse crescimento, impulsionado por tecnologias que otimizam e rentabilizam as atividades agrícolas, visa maximizar o uso dos recursos naturais. Estratégias como a redução do consumo de água na irrigação e a diminuição de insumos são essenciais para uma produção sustentável (Ribeiro; Marinho; Espinosa, 2018).

A tecnologia, elemento central na cadeia produtiva agrícola, se destaca especialmente na Agricultura 4.0, que integra os princípios da Indústria 4.0 e supera a mecanização tradicional. Com operações orientadas por dados em tempo real sobre clima, solo e características de cultivo, a tomada de decisões se torna mais precisa (Silva; Cavichioli, 2020). Entre as inovações mais relevantes estão as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), utilizadas para pulverização de produtos fitossanitários, ilustrando o potencial das tecnologias digitais no campo (Martin; Woldt; Latheef, 2019).

Essas máquinas agrícolas estão em constante evolução, e, na era da “Agricultura 4.0”, as transformações digitais aparecem de várias formas. As RPAs, também conhecidas como drones, por exemplo, são definidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) como aeronaves controladas remotamente, sem a presença de um piloto a bordo, por meio de dispositivos como computadores, simuladores e controles remotos (Silva Neto; Sasaki; Alvarenga, 2021).

Conforme o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag, 2017), os drones poderão substituir boa parte dos equipamentos de pulverização convencionais, oferecendo precisão e segurança. Vantagens como o baixo custo e a alta flexibilidade das RPAs são relatadas por Verger *et al.* (2014) e Gao *et al.* (2018), além da capacidade de aplicação em

áreas de difícil acesso e terrenos íngremes, onde pulverizadores tradicionais não alcançam (Silva Neto; Sasaki; Alvarenga, 2021).

Outra vantagem do uso de drones está na aplicação localizada e em taxas variáveis, o que reduz o consumo de produtos. Além da pulverização, as RPAs possibilitam o mapeamento de pontos de irrigação, a estimativa de áreas com erosão, a identificação de focos de incêndio, a exploração de áreas de difícil acesso e o planejamento para abertura de estradas (Luchetti, 2019; Assaiante; Cavichioli, 2020).

Outro aspecto relevante a ser considerado nas aplicações com drones é o baixo volume de calda comumente utilizado, o que impõe desafios significativos à cobertura e penetração, especialmente em culturas como o cafeeiro, que apresenta copas densas e sobrepostas. Nessas condições, a distribuição uniforme da calda se torna mais difícil, podendo comprometer a eficiência da aplicação, principalmente para produtos de contato, que exigem boa cobertura superficial. Além disso, o tamanho de gota utilizado nas aplicações com drones costuma variar entre fino e médio, o que influencia diretamente tanto na cobertura quanto na suscetibilidade à deriva. Gotas muito finas tendem a aumentar a cobertura superficial, mas são mais propensas à deriva, especialmente em condições adversas de vento e temperatura. Por outro lado, gotas maiores reduzem a deriva, mas podem comprometer a cobertura em folhas internas da planta. Considerando também a natureza dos produtos aplicados se de contato ou sistêmicos, a calibração adequada do equipamento e a escolha do tamanho de gota tornam-se ainda mais críticas.

Apesar dos avanços tecnológicos, a agricultura nacional ainda enfrenta desperdícios de produtos químicos, levando a ineficiências. O aumento dos custos de produtos fitossanitários e mão de obra, somado à preocupação ambiental, destaca a necessidade de aprimorar não apenas a tecnologia de aplicação, mas também os procedimentos e equipamentos, visando à segurança dos operadores e à eficiência (Adegas; Grazziero, 2020).

Adicionalmente, os pulverizadores hidráulicos convencionais também são utilizados. No entanto, apresentam limitações em atingir alvos como árvores e arbustos devido ao alcance restrito das gotas. Para superar esse desafio, especialmente em cultivos em linhas, o uso de fluxo forçado de ar tem mostrado eficácia na condução e deposição adequada das gotas (Ramos, 2012). Pulverizadores assistidos a ar, como os de "cortina de ar" (turbopulverizadores), vêm ganhando popularidade em culturas arbóreas e arbustivas, devido à sua eficiência em contornar as copas densas e volumosas dessas plantas ao longo das estações (Ramos, 2012).

Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a deposição de calda no dossel do cafeeiro e as perdas para o solo promovidas pela pulverização com aeronave remotamente pilotada e turbopulverizador.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, MG, Brasil). A área possui uma altitude de 912 m, com coordenadas geográficas 18°58'52"S de latitude e 48°12'24"O de longitude. O clima característico da região é do tipo Aw tropical úmido megatérmico, segundo a classificação de Köppen, caracterizado pelo verão quente e úmido e inverno frio e seco. A temperatura do ar média mensal varia de 20,9 a 23,1 °C. A precipitação média anual é de 1.500-1.600 mm (Rodrigues e Lima, 2019). O solo apresenta uma topografia levemente ondulada.

O experimento constou de 4 tratamentos (Tabela 1) e 8 repetições. Empregou-se um delineamento inteiramente casualizados.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos empregados.

Tratamento	Pulverizador	Volume de calda (L ha ⁻¹)
1	RPA	10
2	RPA	20
3	Turbopulverizador	200
4	Turbopulverizador	300

A aeronave remotamente pilotada empregada foi um octocóptero AGRAS MG-1P (DJI, China), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (Figura 1). Em todos os tratamentos, trabalhou-se com largura de faixa de 4 m, altura de trabalho de 1,5 m em relação à copa do cafeeiro e velocidade de avance de 12,2 km h⁻¹. Empregaram-se volumes de calda de 10 e 20 L ha⁻¹. Foram utilizadas na RPA pontas de pulverização de jato plano XR 11001 (Teejet, EUA), com espectro de gotas muito finas a finas dependendo da pressão de trabalho (essas são as pontas que vêm originalmente de fábrica com o equipamento). A RPA voou no sentido perpendicular às linhas de plantio.



Figura 1. Aeronave utilizada nos ensaios.

O turbopulverizador empregado foi um Arbo360 (Montana, Brasil), tanque com capacidade de 300 L, bomba de pulverização de 40 L min^{-1} , controle de sessões manual e ventilador com 615 mm de diâmetro e 9 pás de ângulo fixo. O equipamento possuía 6 portabicos em cada um dos dois arcos laterais, com pontas de pulverização de jato cônico vazio ATR (amarela) (Albuz, França), confeccionada em cerâmica, ângulo de 80° e espectro de gotas muito finas, segundo o fabricante. Para acionar o pulverizador, empregou-se um trator New Holland T4 4 x 2 com tração dianteira auxiliar e potência de 62,5 kW (85 cv) (Figura 2).



Figura 2. Turbopulverizador e trator empregados nos ensaios.

Os volumes de calda utilizados foram de 200 e 300 L ha^{-1} . Para isso, foram empregadas pressões de 400 e 800 kPa (4 e 8 bar), respectivamente, rotação da tomada de força de 2000 rpm e velocidade de avanço de $6,6 \text{ km h}^{-1}$.

Os estudos de deposição de calda no dossel do cafeeiro e perdas para o solo foram feitos em uma área de cultivar Topázio, com espaçamento entre linhas de 3,5 m, 0,6 m entre plantas, altura média de 2,3 m e projeção da copa com diâmetro de 1,8 m (Figura 3).



Figura 3. Lavoura de café empregada para os ensaios de deposição de calda e perdas para o solo.

As parcelas experimentais foram constituídas de 50 m de comprimento e 30 m de largura, com parcela útil de 44 m de comprimento e 24 m de largura, sendo o restante considerado bordadura (Figura 4).

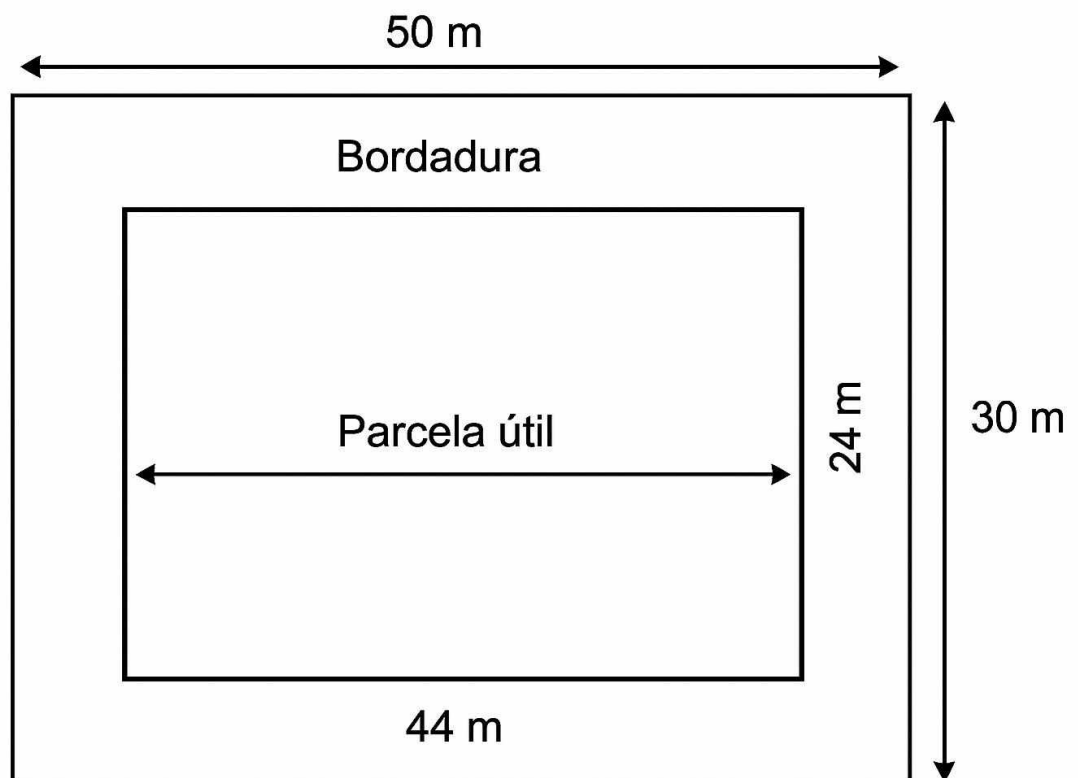


Figura 4. Representação esquemática das parcelas experimentais utilizadas no estudo.

Foi avaliada a deposição de calda, por meio da detecção de um traçador nas folhas do dossel do café, considerando as partes inferior e superior da planta de forma separadas. Adicionou-se à calda de aplicação um traçador composto do corante alimentício Azul Brillhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na dose fixa de 500 g ha⁻¹ para ser detectado por absorbância em espectrofotometria.

Utilizou-se um espectrofotômetro com cubetas de vidro de 3,5 mL e caminho óptico de 10 mm, com lâmpada de tungstênio-halogênio para realizar as leituras. A detecção foi feita por absorbância em 630 nm.

Após a pulverização, foram marcadas 10 plantas ao acaso em cada repetição e, em cada planta, foram coletadas uma folha na parte superior e uma folha na parte inferior. As folhas, separadas por posição, foram, então, colocados em sacos plásticos e acondicionadas em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o laboratório.

Em laboratório, adicionaram-se 100 mL de água destilada em cada saco plástico contendo as 10 folhas. Eles foram fechados e agitados por 15 min em agitador pendular TE- 240 (Tecnal, Brasil) a 120 rpm para a extração do traçador presente nas amostras. Em seguida, o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro. A área das folhas foi medida com um medidor de área foliar Licor LI 3100C (Licor, USA).

Através de curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão do traçador, os dados de absorbância, obtidos no espectrofotômetro, foram transformados em concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida nas folhas coletadas nas parcelas. O depósito total foi dividido pela área de cada amostra, para obter-se a quantidade em μg de traçador por cm^2 de área foliar.

Também foi avaliada a perda de calda para o solo. Para isso, foi colocada uma placa de Petri (14,4 cm²) por repetição no centro da linha do cafeeiro e uma abaixo da saia do cafeeiro junto ao solo, a 0,45 m do tronco das árvores, para avaliações em separado (Figura 5). Em laboratório, adicionaram-se 30 mL de água destilada a cada placa, agitou-se e procedeu-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro, obtendo a quantidade em µg de traçador por cm² de placa.



Figura 5. Posicionamento das placas de Petri para avaliação das perdas para o solo: centro da linha (direita) e sob a saia do café (esquerda).

Durante as aplicações, foram monitoradas as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A temperatura variou de 23 a 26°C, a umidade relativa de 66% a 68% e a velocidade do vento média de 1,3 a 1,8 km h⁻¹.

Para efeito de análise estatística, realizou-se um estudo de análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso com 8 repetições, seguido do teste F de Snedecor, ao nível de 0,05 de significância. Para comparação das variáveis estudadas, utilizou-se o teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância. As análises foram realizadas utilizando o software R na versão 4.4.0. (R Core Team, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, tem-se os resultados de deposição de calda na parte superior do dossel do cafeeiro. As aplicações com o turbopulverizador proporcionaram os maiores valores de deposição. Não houve diferença entre os volumes de calda para o mesmo método de aplicação. Há que se salientar que as soluções foram preparadas sempre na mesma dose de traçador, o que reduz o efeito do volume de calda na avaliação de deposição feita com base em massa por unidade de área.

Tabela 2. Médias de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) do traçador na parte superior da cultura do café, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA), em diferentes volumes de calda.

Método de aplicação	Deposição superior ¹ ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
RPA (10 L ha ⁻¹)	0,8382 b
RPA (20 L ha ⁻¹)	0,9262 b
Turbopulverizador (200 L ha ⁻¹)	2,0794 a
Turbopulverizador (300 L ha ⁻¹)	2,0594 a

¹ Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

A aplicação realizada com o turbopulverizador direciona a solução para a copa das plantas, sendo que a distância entre o ponto de lançamento das gotas e as folhas em geral é inferior a 1 m, o que somado ao fluxo de ar do ventilador, permitiu a maior chegada do traçador no dossel superior.

Vitória *et al.* (2023), avaliando a aplicação de fungicida com uma RPA (5, 10 e 15 L ha⁻¹) e um pulverizador pneumático (400 L ha⁻¹) em cultivos de café em área de montanha, também encontraram maiores deposições em todas as partes da planta com aplicação terrestre em relação à aplicação com a RPA. Os autores sugeriram que mais estudos devem ser realizados para elucidar questões relativas à uniformidade de distribuição e penetração de gotas aplicadas com RPA, de forma a otimizar as aplicações.

Na Tabela 3, tem-se os resultados de deposição de calda na parte inferior do dossel do cafeeiro. As aplicações com o turbopulverizador novamente proporcionaram os maiores valores de deposição. No entanto, a aplicação com o turbopulverizador com 300 L ha⁻¹ não se diferenciou da aplicação com a RPA.

Tabela 3. Médias da deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) do traçador na parte inferior da cultura do café, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA), em diferentes volumes de calda.

Método de aplicação	Deposição inferior ¹ ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
RPA (10 L ha ⁻¹)	0,8920 b
RPA (20 L ha ⁻¹)	1,2406 b
Turbopulverizador (200 L ha ⁻¹)	2,0025 a
Turbopulverizador (300 L ha ⁻¹)	1,6112 ab

¹ Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

De forma similar à parte superior, não houve diferença entre os volumes de calda para cada método de aplicação. Cavalaris *et al.* (2022), estudando a aplicação de desfoliantes na cultura do algodão com uso de RPA, também não encontraram diferenças claras na eficácia dos produtos comparando 10 e 16 L ha⁻¹, sugerindo que o menor volume de calda pode ser utilizado visando aumentar a capacidade operacional. Há que se salientar que o aumento do volume de calda tende a gerar maior cobertura e densidade de gotas depositadas, conforme encontrado por Shan *et al.* (2021), embora a deposição do traçador tenha sido semelhante para os dois volumes. Esse ponto pode ser bastante relevante quando da aplicação de produtos com ação de contato, que requerem maior cobertura do alvo.

Na Tabela 4, tem-se os dados de perda de calda para o solo no centro das ruas do café. A aplicação com a RPA promoveu maiores perdas do que a aplicação terrestre. Como a RPA direciona a calda para a área total, parte da solução é lançada para o solo, onde não há projeção da copa, tendo sido capturada pelas placas de Petri.

Tabela 4. Médias de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) do traçador junto ao solo no centro da rua da cultura do café, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA), em diferentes volumes de calda.

Método de aplicação	Deposição junto ao solo ¹ ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
RPA (10 L ha ⁻¹)	41,9911 a
RPA (20 L ha ⁻¹)	31, 8928 a
Turbopulverizador (200 L ha ⁻¹)	12,3109 b
Turbopulverizador (300 L ha ⁻¹)	14,7762 b

¹ Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

No presente experimento, as linhas de plantas eram espaçadas em 3,5 m e a projeção da copa tinha diâmetro aproximado de 1,8 m. Isso resultou numa largura livre de 1,7 m, sem cobertura das plantas e, portanto, exposta diretamente à pulverização com a RPA. Neste sentido, como a quantidade aplicada de traçador por área foi a mesma para os métodos aéreo e terrestre, parte de produto se perdeu nas entrelinhas.

Uma possível solução seria o voo da aeronave diretamente sobre as linhas de plantas. De qualquer forma, como a largura da faixa de trabalho das aeronaves atuais, nas alturas de voo tradicionalmente empregadas, é superior a 4 m, e tende a crescer com o aumento do tamanho dos equipamentos, haveria perda de produto nas entrelinhas das plantas.

Em relação à perda promovida para o solo sob a copa do café, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 5). Em geral, maiores volumes de calda tendem a gerar maior escoamento para solo. No entanto, os volumes de calda empregados (200 e 300 L ha⁻¹) no presente trabalho não são considerados elevados para a cultura do café, o que reduz a possibilidade de escoamento. O volume de calda utilizado no manejo fitossanitário do café em tratamentos terrestres normalmente varia entre 200 e 1.500 L ha⁻¹, dependendo do alvo (Zampiroli *et al.*, 2021). Embora o conhecimento da biometria de cultivares seja necessária para aplicações bem-sucedidas, estudos sobre este tema são limitados de forma a determinar o volume de calda ideal para a cultura do café.

Tabela 5. Médias da deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) do traçador junto ao solo sob a copa da cultura do café, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA), em diferentes volumes de calda.

Método de aplicação	Deposição junto ao solo ¹ ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
RPA (10 L ha ⁻¹)	2,5668 a
RPA (20 L ha ⁻¹)	2,0406 a
Turbopulverizador (200 L ha ⁻¹)	3,1171 a
Turbopulverizador (300 L ha ⁻¹)	2,4356 a

¹ Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

Além disso, notou-se visualmente uma variabilidade elevada da disposição de folhas e ramos na parte inferior da copa do cafeeiro próximos ao solo, com diferentes graus de enfolhamento, o que aumenta a variabilidade dos dados e dificulta a diferenciação estatísticas das médias, mesmo havendo tendência de menor escoamento para o solo nos tratamentos com a RPA.

4 CONCLUSÕES

O turbopulverizador demonstrou maior eficiência na deposição de calda na parte superior do dossel do cafeeiro em comparação com a aplicação por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA).

No dossel inferior, os valores de deposição também foram maiores para o turbopulverizador, mas a aplicação com RPA com volume de 20 L ha⁻¹ se aproximou da eficiência do turbopulverizador com volume de 300 L ha⁻¹, o que sugere que a aplicação aérea tem potencial de eficiência em condições específicas.

A aplicação com RPA apresentou maior perda nas entrelinhas do plantio, evidenciando que o método aéreo pode gerar desperdício em áreas sem projeção da copa das plantas. Esse efeito pode ser minimizado ajustando o voo da RPA diretamente sobre as linhas das plantas, embora a largura da faixa de trabalho do equipamento e a altura de voo possam limitar essa otimização.

Não houve diferença significativa na deposição de calda junto ao solo sob a saia do cafeeiro entre os métodos de aplicação. Contudo, notou-se uma variabilidade elevada na disposição de folhas e ramos na parte inferior das plantas, o que pode ter influenciado os resultados e sugere que ajustes específicos no volume de calda e no posicionamento do equipamento podem ser necessários para reduzir perdas e maximizar a eficiência da aplicação em áreas menos acessíveis da planta.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. 2020.

ASSAIANTE, B. A. de S.; CAVICHIOLI, F. A. A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 444-455, 2020.

BRAUN, H. *et al.* Produção de mudas de café conilon propagadas vegetativamente em diferentes níveis de sombreamento. **Idesia (Arica)**, v. 25, n. 3, p. 85-91, 2007. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300009>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.11, n. 3, terceiro levantamento, setembro 2024.

GAO, J. *et al.* Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 67, p. 43-53, 2018.

LUCHETTI, A. **Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro**. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina. 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/8074>. Acesso em: 03 nov. 2024.

MACHADO, A. H. R. *et al.* A Cultura do Café (*Coffea arabica*) em Sistema Agroflorestal / Coffee Culture (*Coffea arabica*) in the Agroforestry System. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1357–1369, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-053.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>.

RAMOS, H. H. **Aplicação de Agrotóxicos: Turbopulverizadores**. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0278-Turbo-Pulverizador.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2024.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: **Simpósio de Engenharia de Produção**. 2018. p. 1-7.

RICCI, M. S. F. *et al.* **Cultivares de café arábica adequadas para cultivo orgânico em sistema sombreado**. 2009. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/7777>

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20573.

SILVA, J. M. P.; CAVICHIOLI, F. A. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i2.1068.

VERGER, A. *et al.* Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 654-664, 2014.

ALVARENGA, C. B. ; ZAMPIROLI, R. ; CUNHA, J.P.A.R. ; RINALDI, P. C. N. ; CUNHA, B. A. ; FARIA, L. O. . Application rate and hydraulic tips used in remotely piloted aircraft affect the phytosanitary products in coffee plant canopies. **ACTA SCIENTIARUM-AGRONOMY**, v. 46, p. e62969, 2024.

Cavalaris C., Karamoutis C., Markinos A. Efficacy of cotton harvest aids applications with unmanned aerial vehicles (UAV) and ground-based field sprayers—A case study comparison. *Smart Agric. Technol.* 2022;2:100047.

CUNHA, J.P.A.R.; SILVA, M. R. A. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 54, p. e20217862, 2023.

Dhananjayan, V.; Jayakumar, S.; Ravichandran, B. Conventional methods of pesticide application in agricultural field and fate of the pesticides in the environment and human health. In: *Controlled release of pesticides for sustainable agriculture*. Springer, p.1-39, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23396-9_1

Esgario, J.G.; de Castro, P.B.; Tassis, L.M.; Krohling, R.A. An app to assist farmers in the identification of diseases and pests of coffee leaves using deep learning Information Processing in Agriculture, 9 (1) (2022), pp. 38-47.

Langner, M.; Zhou, B.; Priebe, F.; Wolf, B. Statistical investigation of rotary fluidized bed agglomeration process with tangential spray and in-line particle size measurement for PAT process control. *Processes* 2023, 11, 1066, doi:10.3390/pr11041066.

MINITAB Inc. MINITAB®. Version 16.2, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 555 p.

OLIVEIRA, T. C. T. de; SILVA, A. C. G. C.; SANTOS, P.V. S. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: estudo aplicado em fabricante de chapas de gesso *Drywall*. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 1, p. 59-66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.25286/rep.v7i1.2191>

R CORE TEAM. The R Foundation for Statistical Computing Platform. R Version 4.4.0, 2024.

Rodrigues, E.A.S.; Lima, S.C. Associação entre a incidência do levantamento de índice rápido de *Aedes aegypti* (Liraa) e as condições climáticas em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, entre 2014 a 2016. *Caminhos de Geografia* 2019, 20, 251–263.

Shan C F, Wang G B, Wang H H, Xie Y J, Wang H Z, Wang S L, et al. Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. *Int J Agric & Biol Eng*, 2021; 14(1): 74–81.

Silva, J. E. R., Cunha, J. P. A. R., Siqueira, Q., & Nomelini, S. (2016). Controle estatístico de processo em pulverização hidropneumática na cultura do café. *Coffee Science*, 11(1), 11-21.

SOELA, D. M.; VITÓRIA, E. L.; OLIVEIRA, R. F.; CRAUSE, D. H.; FREITAS, I. L. J.; LOCATELLI, T. Controle estatístico de processo em pulverização usando veículo aéreo não tripulado na cultura do café conilon. *Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE*, p. 52-63, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/30180>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

Souza, F.G.; Portes, M.F.; Silva, M.V.; Teixeira, M.M.; Furtado Júnior, M.R. Impact of sprayer drone flight height on droplet spectrum in mountainous coffee plantation. *Rev. Bras Eng. Agric. E Ambient.* 2022, 26, 901–906. <https://doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v26n12p901-906>.

SUGUISAWA, J. M. et al. Qualidade da aplicação de herbicida em lavoura de trigo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 27, p. 41-47, 2007. Número especial.

Vitória, E.L.d.; Krohling, C.A.; Borges, F.R.P.; Ribeiro, L.F.O.; Ribeiro, M.E.A.; Chen, P.; Lan, Y.; Wang, S.; Moraes, H.M.F.e.; Furtado Júnior, M.R. Efficiency of Fungicide Application an Using an Unmanned Aerial Vehicle and Pneumatic Sprayer for Control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in Mountain Coffee Crops. *Agronomy* 2023, 13, 340. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020340>

ZAMPIROLI, R.; ALVARENGA, C. B. ; PARENTI, M. V. ; CUNHA, J.P.A.R. ; CELOTO, F. J. ; RINALDI, P. C. N. ; SASAKI, R. . Spray technology for deposition of droplets on coffee leaves and fruits. *Pesquisa Agropecuaria Tropical (Online)*, v. 51, p. 66806, 2021.