

CAPÍTULO 7

DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DE CALDA APLICADA POR AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA EM UMA LAVOURA DE CAFÉ CONILON

**Thávylla Moreira Santos
Maria Luisa Carvalho Aiala
Thales Gomes dos Santos
João Guilherme Pereira Nunes
Maria Eduarda Audizio Ribeiro
Maria Eduarda da Silva Barbosa
Luis Felipe Oliveira Ribeiro
André Luiz Oliveira Cirqueira
Edney Leandro da Vitória**

RESUMO

O café conilon desempenha um papel vital na economia do Espírito Santo, sendo o segundo maior produtor de café do Brasil. A cultura do café gera empregos e receita significativa para o estado, porém, enfrenta desafios no manejo fitossanitário de pragas, doenças e plantas daninhas, que podem comprometer a qualidade e produtividade da colheita. A utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) na aplicação de defensivos agrícolas mostra um potencial significativo para melhorar o manejo fitossanitário do café conilon. Essas aeronaves permitem pulverização precisa e eficiente, atingindo áreas de difícil acesso e proporcionando distribuição uniforme dos produtos, reduzindo custos de produção e minimizando riscos ambientais e de saúde, além de otimizar a produção. Este estudo objetivou determinar a deriva de calda pulverizada em uma lavoura de café conilon sob diferentes condições operacionais e climáticas. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com tratamentos organizados em esquema fatorial 2 x 2. O primeiro fator foi as taxas de aplicação (10,0 e 15,0 L ha⁻¹) e o segundo, as alturas de voo da aeronave (3,0 e 4,0 metros). Balizas de policloreto de vinila com placas de acrílico foram instaladas para fixar etiquetas de papel hidrossensível, posicionadas a uma distância de 8 metros para dentro da lavoura, começando a partir da 5ª entrelinha do cafeeiro, na direção do vento, distribuídas em intervalos de 3, 6, 9, 12 e 15 metros, para quantificar a deriva da pulverização pela ARP. Os resultados mostraram que as alturas de voo influenciam mais na ocorrência de deriva do que as taxas de aplicação. Com o aumento da distância, o risco de deriva diminui.

Palavras-chave: Drone, *Coffea canephora*, Tecnologia de aplicação.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a posição de destaque como o principal produtor e exportador global de café (MAPA, 2023), tornando a cafeicultura uma atividade econômica de grande relevância tanto nacional quanto internacionalmente. A produção de café estimada para a safra de 2023 atingiu 54.742,9 mil sacas beneficiadas, representando um aumento de 7,5% em relação à safra de 2022 (CONAB, 2023). No contexto do país, o estado do Espírito Santo desempenha um papel de grande relevância, ocupando a segunda posição como um dos principais produtores de café, com ênfase na variedade de café conilon.

O estado tem sido reconhecido nacional e internacionalmente como um líder na produção do café conilon desde o início da década de 1990, especialmente após a introdução das primeiras variedades clonais (BRAGANÇA et al., 1993). A cafeicultura do conilon tem sido a principal atividade econômica em mais de 80% dos municípios do Espírito Santo (PEZZOPANE et al., 2010), assim gerando milhares de empregos, direta ou indiretamente.

Vários fatores, como infestações de pragas, doenças e plantas invasoras, podem afetar adversamente a qualidade e produtividade das plantações de café, a ponto de causar danos econômicos significativos. Portanto, a aplicação de tecnologia de defensivos agrícolas se torna essencial para mitigar esses riscos (SOELA et al., 2020). Atualmente, tem havido um aumento significativo no uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's) para a aplicação de defensivos agrícolas. Essa prática oferece diversas vantagens, incluindo a redução de custos, a utilização de equipamentos mais compactos, a otimização da força de trabalho, a minimização dos impactos tanto para os trabalhadores quanto para o meio ambiente, e a melhoria da eficiência na produção. Além disso, representa uma abordagem eficaz para a vigilância e gestão de surtos de pragas e doenças em extensas áreas, contribuindo para a redução da dependência da mão de obra rural e da quantidade de defensivos utilizados (LAN et al., 2017).

Nos dias que correm, a pulverização química ainda se mantém como o método mais eficiente globalmente para prevenir e controlar pragas e doenças (LAN e CHEN, 2018). Uma das consequências de utilizar o controle químico é a deriva dos herbicidas não seletivos que pode ser causada. A deriva é reconhecida como a principal origem de contaminação em aplicações de defensivos agrícolas em culturas de árvores, acarretando riscos tanto para o ambiente quanto para os seres humanos (NUYTTENS et al., 2007; BUTLER ELLIS et al., 2010; NUYTTENS et al., 2008; CUNHA et al., 2012).

Um dos desafios associados à utilização de ARP's é a questão da deriva de gotículas. Quando as gotas são pequenas, é possível obter uma cobertura superficial mais ampla e uma distribuição mais uniforme da solução, no entanto, existe o risco de que essas gotículas possam evaporar

em condições de baixa umidade relativa ou serem deslocadas pela corrente de ar. Quando as gotas são de maior tamanho, existe a possibilidade de que escorram da superfície da folha antes que o produto seja devidamente absorvido pelo alvo. Isso pode levar a uma deposição inadequada, frequentemente resultando em resíduos de agrotóxicos, redução da eficácia do controle, ou até mesmo problemas de poluição e envenenamento (BAESSO et al., 2014; MENG et al., 2020).

Para aproveitar essa tecnologia, diversos parâmetros operacionais e climáticos devem ser cuidadosamente determinados, incluindo a velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura, altitude e velocidade de voo, bem como a avaliação da biodiversidade nas proximidades da área de aplicação. É importante destacar que, entre os parâmetros operacionais das ARP's, a altitude e a velocidade de voo desempenham um papel crucial na distribuição e deposição das gotículas, tendo um impacto significativo na eficácia operacional e no uso de pesticidas (LAN et al., 2017).

Estudos recentes têm investigado o impacto da pulverização utilizando ARP's para a proteção de árvores frutíferas, bem como suas possíveis aplicações. Em um estudo conduzido por (CHEN et al., 2017), foi examinada a influência de diversos parâmetros de pulverização das ARP's na distribuição das gotículas sobre o dossel de árvores cítricas por meio de um teste ortogonal de três fatores. Os resultados revelaram que, em ordem de importância, os fatores que mais afetaram a deposição de gotículas foram a velocidade de voo, a altitude de voo e a taxa de fluxo do bocal.

Além disso, estudos anteriores, como o de Zhang et al. (2016), identificaram que diferentes tipos de bicos de pulverização e as características das copas das árvores também exercem influência significativa na deposição de gotículas. Consequentemente, a partir do conhecimento dessas variáveis, o objetivo é minimizar a deposição de gotículas fora da área-alvo, abordando assim preocupações relacionadas à contaminação ambiental resultante do transporte desses poluentes pelo vento.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental e caracterização da cultura

O estudo foi conduzido na fazenda experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (Figura 1), localizada a uma latitude de 18° 45' S e longitude de 40° 06' W. A região possui um clima do tipo Aw (quente e úmido), caracterizado por uma estação seca durante o outono e inverno, seguida por uma estação chuvosa na primavera e verão, conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). Esta área está inserida no bioma da Mata Atlântica, apresentando uma temperatura média de 24,2 °C e uma precipitação média anual de 1240 mm. A cultura de Café Conilon foi cultivada em um campo

Deriva na pulverização de calda aplicada por aeronave remotamente pilotada em uma lavoura de café conilon

experimental com espaçamento de 3,0 metros entre as linhas e 1,0 metro entre as plantas na linha. O solo na região é classificado como Argissolo com textura franco-arenosa.

Figura 1 – Local do experimento.



Fonte: Próprio autor.

Método de amostragem

Foi empregada uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) da marca DJI Agras, modelo T10, fabricada pela DJI (SZ DJI Technology Co., Ltda) (Figura 2).

Figura 2 – Aeronave Remotamente Pilotada usada no experimento.



Esta ARP possui um tanque com capacidade para 10,0 litros, o qual foi rigorosamente regulado e calibrado antes das operações de pulverização. Além do reservatório para armazenamento dos produtos, a aeronave conta com uma bomba de água, um sistema de tubulação para a circulação do líquido, controle eletrônico, válvulas e outros componentes essenciais. As pontas de pulverização da ARP estão posicionadas de forma equidistante e

perpendiculares ao eixo da aeronave, com um espaçamento de 1,0 metro entre elas. As principais características estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações da ARP DJI Agras modelo T10.

Eficiência de operação por hora	15 acres
Número de rotores	4
Velocidade máxima de voo operacional	0 a 7 m s ⁻¹
Velocidade máxima de voo nivelado	4 a 10 m s ⁻¹ (com sinais de GNSS fortes)
Velocidade máxima de vento suportável	0 a 8 m s ⁻¹
Capacidade do tanque	10 L
Largura máxima efetiva de pulverização	3 a 5,5 m
Duração de voo estacionário	0 a 17 min
Fluxo máximo de pulverização	1,81 L/min ⁻¹
Número de pontas	4

O experimento foi realizado seguindo um delineamento de blocos ao acaso (DBC), onde os tratamentos foram organizados em um esquema fatorial 2 x 2. O primeiro fator correspondeu às diferentes taxas de aplicação (10,0 e 15,0 L ha⁻¹), enquanto o segundo fator foi relacionado às alturas de voo da aeronave (3,0 e 4,0 metros), foram realizadas 4 repetições, como especificado na tabela 2.

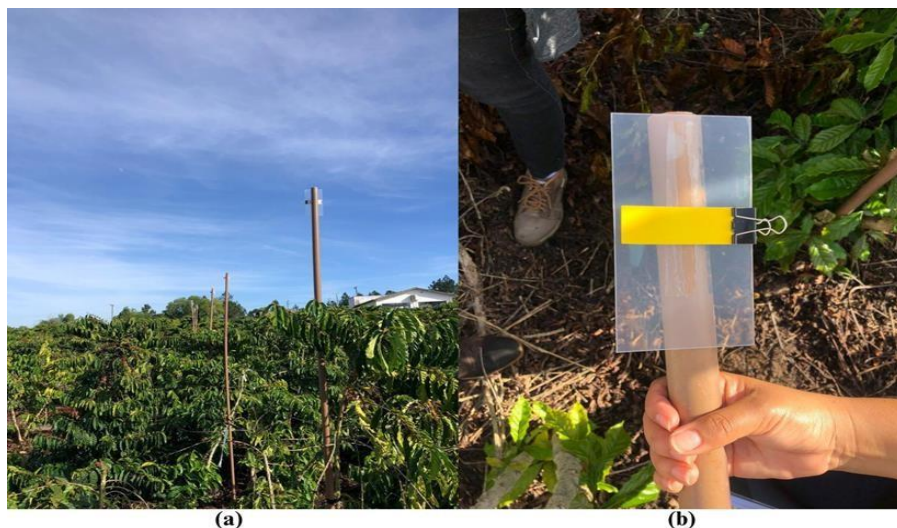
Tabela 2 – Tratamentos experimentais

Tratamentos	Taxas de Aplicação	Alturas de Voo
I	10 L ha ⁻¹	3,0 m
II	10 L ha ⁻¹	4,0 m
III	15 L ha ⁻¹	3,0 m
IV	15 L ha ⁻¹	4,0 m

Na área experimental, foram instaladas balizas feitas de policloreto de vinila (PVC) com uma placa de acrílico na extremidade destinada a fixar etiquetas de papel hidrossensível (Figuras 3a e 3b). Um total de cinco balizas

foi utilizado, sendo posicionadas a uma distância de 8 metros para dentro, começando a partir da 5ª entrelinha do cafeeiro, na direção favorável ao vento. Estas balizas foram distribuídas em intervalos de 3, 6, 9, 12 e 15 metros, com o propósito de quantificar a deriva da pulverização causada pela Aeronave Remotamente Pilotada. A solução de pulverização consistia em água com a adição de corante azul brilhante (MarcAzul®, Porto Alegre/RS, Brasil) como um marcador para fins de medição.

Figura 3 – a) Balizas posicionadas na cultura do café. b) Balizas de policloreto de vinila com uma placa de acrílico na extremidade.



Para coletar informações sobre o espectro das gotas pulverizadas, foram empregadas etiquetas de papel sensível à água com dimensões de 76 x 26 mm. Essas etiquetas foram fixadas de forma imediata antes da realização da operação de pulverização, seguindo o método previamente descrito por Vitória et al. (2022). Após a conclusão de cada tratamento, as etiquetas de papel sensível foram cuidadosamente removidas usando luvas cirúrgicas. Estas etiquetas foram devidamente acondicionadas em sacos de papel kraft que foram previamente identificados. Essa abordagem permitiu a caracterização e quantificação dos impactos nas etiquetas no mesmo dia. Todas as análises subsequentes foram conduzidas no Laboratório de Mecanização e Defensivos Agrícolas (LMDA), localizado no Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, situado em São Mateus, ES, Brasil. O sistema sem fio DropScope® wireless (SprayX, São Carlos/SP, Brasil) foi empregado para digitalizar as etiquetas de papel sensível, com o propósito de analisar e coletar dados. Esse sistema é composto por programas de aplicação e um microscópio

digital sem fio equipado com um sensor de imagem digital de alta resolução, excedendo 2.500 dpi. Isso permite a estimativa de gotas parcialmente sobrepostas, com um tamanho de aproximadamente 35 µm (Figura 4). Estudos recentes validaram a confiabilidade dos dados obtidos pelo DropScope® na análise do espectro de gotas pulverizadas por meio de ARP. (VITÓRIA et al., 2022; RIBEIRO et al., 2023; VITÓRIA et al., 2023; CUNHA e SILVA, 2023).

Figura 4 – Sistema sem fio Drop Scope®.



Fonte: RIBEIRO et al., 2023

As aplicações ocorreram no período matutino, às 8h, e durante esse processo, monitorou-se os dados relativos à velocidade do vento, umidade e temperatura do ar. Essas medições foram realizadas com o auxílio de uma estação meteorológica automática da marca Davis®, modelo Vantage Pro2 wireless K6152 (figura 5), que estava posicionada a cerca de 100 metros da área experimental. Para garantir a conformidade com as diretrizes estabelecidas, seguiu-se a metodologia descritiva da Norma 22866 da International Organization for Standardization (ISO, 2005). Conforme essa norma, a temperatura durante as aplicações deve situar-se entre 5 e 35 °C, com um máximo de 10% das medições de velocidade do vento abaixo de 1,0 m s⁻¹, e a direção do vento deve estar dentro da margem de 90° ± 30° em relação à linha de aplicação. Essas condições ambientais foram monitoradas antes, durante e após cada operação de pulverização aérea.

Figura 5: Estação meteorológica utilizada.



Para a análise estatística, foi empregada uma análise de regressão com o intuito de ajustar uma curva que representasse o potencial de risco de deriva. Adicionalmente, foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias quando os fatores demonstraram significância entre os tratamentos. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software Jamovi, com um nível de significância estabelecido em 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, estão resumidas as médias das quantidades depositadas em relação às diferentes distâncias.

Tabela 3 – Potencial risco de deriva (%) em função da taxa de aplicação e altura para cada distância fora da área alvo.

Distância (m)					
Tratamentos	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
10 L/ha a 3,0 m	25,87 a	16,83 b	8,99 b	6,18 a	1,7 c
10 L/ha a 4,0 m	28,11 a	20,53 a	13,65 a	7,09 a	4,67 a
15 L/ha a 3,0 m	26,27 a	14,10 b	9,31 b	4,63 b	2,78 b
15 L/ha a 4,0 m	29,98 a	19,73 a	12,23 a	6,20 a	3,89 a

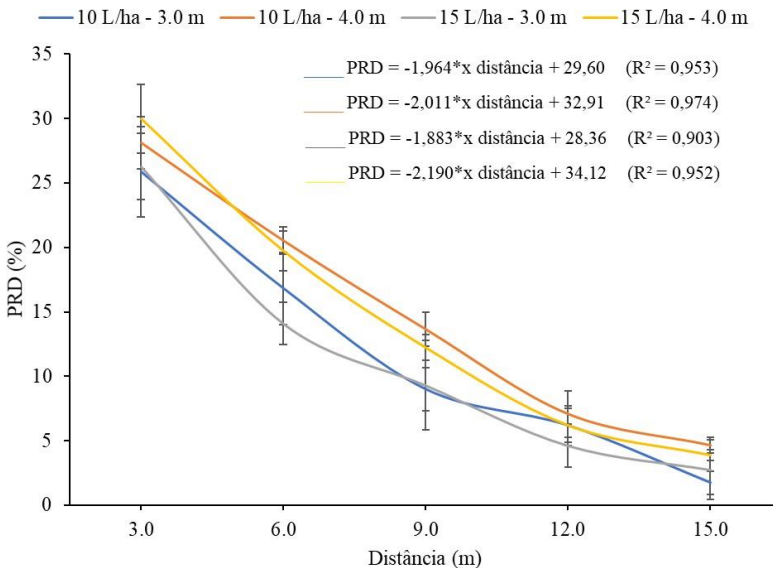
CV: 54,52%

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

É notável, ao analisar a tabela em relação à distância e ao percentual de deriva depositada, que os dados coletados nas diversas distâncias não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Isso sugere que, independentemente da taxa de aplicação ou da altura de voo utilizadas, os índices de deriva não mostraram variações estatisticamente relevantes quando observados a uma distância de 3,0 metros.

É evidente que, nas demais distâncias, as aplicações com 10 L ha⁻¹ a 4,0 metros e 15 L ha⁻¹ a 4,0 metros resultaram nos índices mais elevados de deriva. Essas médias mais altas podem estar mais relacionadas à altura de voo do que à taxa de aplicação em si. De acordo com Bócoli et al. (in Crause et al. 2020), essas observações podem estar relacionadas a diversos fatores, como o equipamento de pulverização utilizado, a distância entre o pulverizador e o alvo, bem como a arquitetura da planta. A Figura 6 ilustra uma curva de potencial risco de deriva das distâncias dos tratamentos. Nota-se que, quanto mais próximo à área de pulverização, maior foi o nível de deposição em comparação com as distâncias mais afastadas da área onde a pulverização foi realizada.

Figura 6 – Potencial Risco de Deriva (PRD) em função da distância para cada um dos tratamentos.



Conforme a distância em relação à linha de café pulverizada aumentou, a quantidade depositada diminuiu, sendo essa diminuição facilmente identificada ao longo da curva gerada. Os maiores valores de PRD

são encontrados nas menores distâncias (3,0 e 6,0 metros), o que pode estar diretamente associado à deriva exterior. Em trabalho semelhante a este, Crause et al. (2020) encontrou uma porcentagem de exoderiva de 98,44% em uma distância de até 15 metros.

CONCLUSÃO

As taxas de aplicação não interferiram tanto quanto as alturas voo na causa da deriva. Quanto maior a distância percorrida da área alvo, menor será o potencial risco de deriva. Ademais, torna-se necessário mais pesquisas a respeito da deriva em condições experimentais diferentes, para que seja possível fornecer mais informações a respeito deste assunto tão relevante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P.C., *et al.* Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theor. Appl. Climatol.** V. 13, p. 407-427, 2013.

BAESSO, Murilo Mesquita et al. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 780-785, 2014.

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S. de; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, R. G.; SILVEIRA, J. S. M. 'Emcapa 8111', 'Emcapa 8121', 'Emcapa 8131': Primeiras variedades clonais de café conilon lançadas para o Espírito Santo. Vitória, ES: Emcapa, 1993. 2p. (Emcapa. Comunicado Técnico, 68).

BUTLER ELLIS, M.C., LANE, A.G., O'SULLIVAN, C.M., MILLER, P.C.H., GLASS, C.R. Bystander exposure to pesticide spray drift: new data for model development and validation. *Biosystems Engineering*. v.107, 162-168, 2010.

CHEN, S.D., LAN, Y.B., ZHOU, Z.Y., *et al.* Effects of spraying parameters of small plant protection UAV on droplets deposition distribution of orange trees. **Journal of South China Agricultural University**, v.38, n.5, p. 97–102, 2017. (in Chinese).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v. 10, n. 2, segundo levantamento, maio, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 26 jul. 2023.

CRAUSE, Déborah Hoffmam et al. Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café Conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 85-94, 2020.

CUNHA, J.P., CHUECA, P., GARCERA, C., MOLTO, E. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus application with air-blast sprayers in Spain. *Crop Protection*. v.42, p.116-123, 2012.

VITÓRIA, EL da; DE OLIVEIRA, RF; CRAUSE, DH; RIBEIRO, LFO. Efeito da altura operativa de voo e genótipos na pulverização de café conilon com veículo aéreo não tripulado. *Ciência do Café - ISSN 1984-3909* , [S. l.] , v. e172003, 2022. DOI: 10.25186/.v17i.2003.

LAN, Y. B.; CHEN, S. D. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *Int J Precis Agric Aviat*, v.1, n.1, p.1–9, 2018. doi: 10.33440/j.ijpaa.20180101.0002

LAN, Y., SHENGDE, C., FRITZ, B. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. 2017 <https://www.ijabe.org/>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Sumário do Café – abril 2023**. Disponível em:

http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2023/Abril/Sumario_Cafe_abr_il_2023.pdf. Acesso em: 26 jul. 2023.

MENG, Y.; SU, J.; SONG, J.; CHEN, W. H.; LAN, Y. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.170, p.105282, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282>

NUYTTENS, D., BAETENS, K., DE SCHAMPHELEIRE, M., SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*. v.97 (3), p.333-354, 2007.

NUYTTENS, D., DE SCHAMPHELEIRE, M., BAETENS, K., SONCK, B., 2011. Comparison of different drift risk assessment means. *Aspects of Applied Biology*. v.84, p.35-42, 2008.
PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S.

Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

SOELA, Débora Moro et al. Controle estatístico de processo em pulverização usando veículo aéreo não tripulado na cultura do café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 52- 63, 2020.

VITÓRIA, Edney Leandro da et al. 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**, v. 13, n. 2, p. 340, 2023.

ZHANG P, Deng L, Lyu Q, et al. Effects of citrus tree-shape and spraying height of small unmanned aerial vehicle on droplet distribution. *Int J Agric Biol Eng*. 2016;9(4):45-52. doi:10.3965/j.ijabe.20160904.2178

ISO22866; I. S. O. Equipment for Crop Protection-Methods for Field Measurements of Spray Drift. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, p. 1–17, 2005.

CUNHA, J. P. A. R. da , & Silva, M. R. A. da .. (2023). Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. *Revista Ciência Agronômica*, 54, e20217862. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>

RIBEIRO, L.F.O.; Vitória, E.L.d.; Soprani Júnior, G.G.; Chen, P.; Lan, Y. Impact of Operational Parameters on Droplet Distribution Using an Unmanned Aerial Vehicle in a Papaya Orchard. *Agronomy* 2023, 13, 1138. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041138>.