

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

TAXAS E ALTURAS DE VOO PARA PULVERIZAÇÃO VIA DRONE
NO CONTROLE DA LAGARTA-DO-CARTUCHO NA CULTURA DO
MILHO

ALEX DA SILVA CARDOSO

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2025

ALEX DA SILVA CARDOSO

**TAXAS E ALTURAS DE VOO PARA PULVERIZAÇÃO VIA DRONE NO
CONTROLE DA LAGARTA-DO-CARTUCHO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2025**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

C26t

Cardoso, Alex da Silva

Taxas e alturas de voo para pulverização via drone no controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. / Alex da Silva Cardoso. - 2025.
29 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes.
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia,
2025.

Inclui lista de tabelas.

1. Tecnologia de aplicação, 2. Espectro de gotas. 3. Deposição foliar. 4. *Spodoptera frugiperda*. 5. Pulverização aérea. I. Lopes, Mayara Cristina. II. Carmo, Eduardo Lima. III. Título.

CDD: 632.9

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

ALEX DA SILVA CARDOSO

**TAXAS E ALTURAS DE VOO PARA PULVERIZAÇÃO VIA DRONE NO CONTROLE DA
LAGARTA-DO-CARTUCHO NA CULTURA DO MILHO**

**Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.**

APROVAÇÃO: 22 de julho de 2025



Documento assinado digitalmente
MAYARA CRISTINA LOPES
Data: 31/07/2025 17:15:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Mayara Cristina Lopes
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV



Documento assinado digitalmente
TAMIRIS ALVES DE ARAUJO
Data: 31/07/2025 16:58:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Tamiris Alves de Araújo
Membro Externo – UFSCar



Documento assinado digitalmente
MATHEUS DE FREITAS SOUZA
Data: 31/07/2025 18:22:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Matheus de Freitas Souza
Membro – PPGPV/UniRV

DEDICATÓRIA

A Deus, que me fortalece nas tempestades, inspira minha fé e me motiva a crer em possibilidades maiores.

Aos meus pais: Juraci da Silva Cardoso e Maria Salete da Silva Cardoso, cuja sabedoria e sacrifício pavimentaram o caminho que percorri e me ensinaram a nunca desistir.

A minha esposa Adriana Maria Lopes Cardoso, cujo amor paciente e inabalável foi a chama que manteve acesa minha esperança em meio aos percalços.

A minha filha Ana Livia Lopes Cardoso, que me acompanhou também nessa caminhada, praticamente cresceu junto comigo.

Grato!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de aprendizagem e crescimento, tanto na vida pessoal, quanto na profissional.

A minha orientadora Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes, pela confiança ao me acolher como orientando, pelos ensinamentos e apoio ao longo de toda a jornada.

Ao coorientador Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo, pelos ensinamentos e pelas contribuições, ao longo de toda esta jornada.

Ao Prof. Dr. Matheus Freitas Souza, pelos ensinamentos, contribuições ao longo de toda a jornada.

À Universidade de Rio Verde (UniRV) e ao Programa de Pós-Graduação, em Produção Vegetal (PPGPV), pelo suporte institucional e pela infraestrutura, que tornaram este trabalho possível.

A todos os docentes da UniRV, pelos ensinamentos e pelo estímulo, durante a minha formação no PPGPV.

Grato!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A cultura do milho e a lagarta-do-cartucho.....	3
2.2 Uso de drone na agricultura e tecnologia de aplicação.....	4
2.3 Desafios no uso de drones.....	5
2.4 Uso de drone para controle de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i>	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Condições experimentais.....	6
3.2 Determinação da densidade de gotas, porcentagem de cobertura, volume, dispersão e diâmetro médio volumétrico.....	7
3.3 Determinação da deposição da calda no cartucho.....	7
3.4 Análise estatística.....	8
4 RESULTADOS.....	9
4.1 Densidade de gotas, porcentagem de cobertura, volume e dispersão.....	9
4.2 Determinação da deposição da calda na folha do cartucho do milho.....	12
5 CONCLUSÕES.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Dispersão de gotas em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros).....	9
TABELA 2	Volume de calda depositado (l/ha) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros).....	10
TABELA 3	Densidade de gotas (cm ²) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros).....	10
TABELA 4	Porcentagem de cobertura (%) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros).....	11
TABELA 5	Diâmetro mediano volumétrico (D50 %) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros).....	12
TABELA 6	Deposição (µg/cm ²) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha ⁻¹).....	13

RESUMO

CARDOSO, A. S. Mestrado, UniRV – Universidade de Rio Verde, julho de 2025. **Taxas e alturas de voo para pulverização via drone no controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho.** Orientador: Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes, Coorientador Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo.

O milho (*Zea mays* L.) apresenta elevada importância econômica, mas tem sua produtividade reduzida, pela infestação da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). A pulverização com veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem se consolidado como alternativa tecnológica, para o manejo químico dessa praga, embora existam lacunas, quanto à definição de parâmetros operacionais ideais. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes volumes de calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e alturas de voo (4 e 5 m) em: deposição, densidade, dispersão, cobertura de gotas, densidade de gotas e deposição de gotas. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial 3×2, com cinco repetições. Os resultados indicaram que volumes mais elevados (14 L há⁻¹) proporcionaram maior: deposição, densidade de gotas e cobertura, independentemente da altura de voo, configurando-se como a condição mais robusta para garantir pulverizações homogêneas. O volume de 10 L ha⁻¹ apresentou desempenho satisfatório a 4 m, mas foi mais sensível às variações de altura, enquanto 8 L ha⁻¹ não assegurou níveis adequados de deposição e cobertura. A altura de voo afetou a dispersão das gotas, sendo que aplicações a 5 m resultou em maior variação espacial. O D50 foi influenciado apenas pelo volume, com gotas médias predominantes em 10 L ha⁻¹, adequadas por aliarem cobertura eficiente e menor risco de deriva. Concluiu-se que, volumes mais altos, associados ao ajuste adequado da altura de voo, são essenciais para otimizar a eficiência das pulverizações aéreas com drones, contribuindo para o manejo da lagarta-do-cartucho no milho.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação; espectro de gotas; deposição foliar; *Spodoptera frugiperda*; pulverização aérea.

ABSTRACT

CARDOSO, A. S. Master's degree, UniRV – University of Rio Verde, July 2025. **Spray Rates and Flight Heights for Drone Application in the Control of Fall Armyworm in Maize.** Advisor: Prof. Dr. Mayara Cristina Lopes, Co-advisor: Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo

Corn (*Zea mays* L.) is economically important, but its productivity is reduced by fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation. Spraying with unmanned aerial vehicles (UAVs) has established itself as a technological alternative for chemical management of this pest, although gaps remain regarding the definition of ideal operational parameters. This study aimed to evaluate the influence of different spray volumes (8, 10, and 14 L ha⁻¹) and flight heights (4 and 5 m) on deposition, density, dispersion, droplet coverage, droplet density, and droplet deposition. The experiment was conducted in a 3×2 factorial design with five replicates. The results indicated that higher spray volumes (14 L ha⁻¹) provided greater deposition, droplet density, and coverage, regardless of flight height, constituting the most robust condition for ensuring homogeneous spraying. The 10 L ha⁻¹ volume showed satisfactory performance at 4 m but was more sensitive to height variations, while 8 L ha⁻¹ did not ensure adequate deposition and coverage levels. Flight height affected droplet dispersion, with applications at 5 m resulting in greater spatial variation. The D50 was influenced only by volume, with average droplets predominating at 10 L ha⁻¹, suitable for combining efficient coverage and lower risk of drift. It was concluded that higher volumes, combined with appropriate flight height adjustment, are essential to optimize the efficiency of aerial drone spraying, contributing to fall armyworm management in corn.

Key-words: Application Technology; Droplet Spectrum; Foliar Deposition; *Spodoptera frugiperda*; Aerial spraying.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é o cereal mais consumido mundialmente. Em 2024 foram produzidos mais de 1,20 bilhões de toneladas, em 202,9 milhões de hectares (USDA, 2024). Os maiores produtores de milho são: os Estados Unidos, China, Brasil, União Europeia e Argentina (USDA, 2024). Além da importância econômica, a cultura também é essencial para alimentação humana, animal e para as indústrias de vários setores (Martinez & Fernandez, 2018).

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma das principais pragas que atacam o milho. Esta lagarta é uma praga altamente polífaga que ataca 353 espécies de plantas (Montezano et al., 2018). No milho, as larvas de instares iniciais alimentam-se das folhas, sobretudo do cartucho e das espigas, o que pode causar perdas de rendimento do grão. Já as larvas em instares finais podem também, cortar a base da plântula, causando mortalidade (Harrison et al., 2019). A lagarta-do- cartucho pode causar perdas de 22% a 67% em diferentes regiões do mundo (Day et al., 2017; De Groote et al., 2020; Sharma et al., 2022). Na África, por exemplo, *Spodoptera frugiperda*, pode reduzir a produção anual em até 53% (Hussain, 2021).

A principal ferramenta para o manejo de insetos e pragas é o uso de inseticidas (Torrent et al., 2017; Tambo et al., 2023). Entretanto, o uso indiscriminado de inseticidas representa riscos, para: a saúde humana, ambiental e o aumento de casos de resistência de populações de pragas a inseticidas (Torrent et al., 2017; Sarwar, 2015). Neste sentido, a busca de práticas agrícolas mais sustentáveis, tem impulsionado a adoção de abordagens inovadoras, como a pulverização via drone (Shan et al., 2022; Yan et al., 2022).

O uso de drones (veículos aéreos não tripulados - VANTs) para pulverização agrícola representa uma inovação da agricultura moderna (Yang et al., 2018; Pathak et al., 2020; Yan et al., 2022). Esta tecnologia permite uma abordagem mais eficiente e precisa em comparação aos métodos tradicionais de pulverização (Shahrooz et al., 2020; Srivastava et al., 2020; Yan et al., 2022). Entre as vantagens do uso dos drones destacam-se: a ausência de amassamento de plantas, segurança do operador, rapidez na aplicação de pesticidas, segurança ambiental e ampla cobertura da área (Meng et al., 2018; Shamshiri et al., 2018; Subramanian et al., 2021). Além disso, os drones oferecem a adaptabilidade de realizar pulverizações em: baixa altitude, baixo volume e acessibilidade a terrenos difíceis como regiões montanhosas, o que permite a aplicação mais precisa e controlada e a redução do desperdício de produto (Xue et al., 2016; Yan et al., 2022; Chen et al., 2022).

Apesar dos avanços proporcionados pela tecnologia de drones, na proteção de plantas, algumas particularidades operacionais exigem atenção técnica. A formação de gotas, por exemplo pode ser influenciada pelo fluxo de ar gerado pelas hélices, comprometendo a uniformidade da deposição e elevando o risco de deriva. Neste contexto, as formulações de defensivos agrícolas devem atender a critérios rigorosos, como baixa volatilidade, elevada adesividade e espectro de gotas controlado, visando minimizar perdas e garantir a eficácia da aplicação (Balafoutis et al., 2021).

Além disso, os drones apresentam limitações operacionais importantes. A baixa capacidade de carga restringe o volume de calda aplicado por voo, o que exige múltiplos reabastecimentos e prolonga o tempo necessário para o tratamento de áreas extensas (Qin et al., 2022). Somando a isso, a autonomia das baterias, geralmente entre 20 e 30 minutos, demanda infraestrutura de suporte para recarga ou substituição em campo, o que pode impactar a eficiência logística da operação (Zhang et al., 2020).

A eficiência da aplicação também é influenciada pelas condições climáticas, em especial, pela velocidade do vento, que pode aumentar a deriva e reduzir a deposição no alvo (Faïçal et al., 2017). Além disso, o elevado custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, associado às exigências regulatórias e à necessidade de operadores tecnicamente capacitados, representa um desafio à adoção em larga escala, sobretudo, em pequenas propriedades (Huang; Lan, 2015).

Spodoptera frugiperda é uma praga de difícil controle, sobretudo em razão do seu comportamento críptico das larvas, que se alojam predominantemente no interior do cartucho foliar, dificultando a interceptação direta pelas gotas pulverizadas (Yan et al., 2022; Song et al., 2023). Este comportamento, compromete a eficiência das aplicações convencionais, uma vez que a deposição nas regiões internas da planta é limitada, resultando em subdosagem e controle insatisfatório. Considerando que a pulverização com drones é uma tecnologia recente, ainda há poucos estudos que definam a melhor forma de aplicação, especialmente no que se refere à eficiência, ao volume de calda e à altura de voo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes taxas e alturas de aplicação na pulverização com drones, visando ao controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Assim, busca-se, identificar a combinação mais eficaz para reduzir os danos causados pela praga e otimizar o uso de insumos agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do milho e a lagarta-do-cartucho

O milho (*Zea mays* L.), é uma planta originária das Américas e de ampla importância para a agricultura em escala global. Na safra de 2024/2025, a produção mundial deve atingir 1.220 bilhões de toneladas, cultivadas em uma área de aproximadamente 202,9 milhões de hectares (USDA 2024). Sua versatilidade o torna um dos principais cultivos do mundo, sendo amplamente utilizado na alimentação humana e animal, além de representar uma importante matéria-prima, para diversos setores industriais, incluindo a produção de biocombustíveis (Martinez & Fernandez, 2018).

Os maiores produtores mundiais de milho são: os Estados Unidos, a China e o Brasil. Os Estados Unidos lideram com uma produção de 377 milhões de toneladas, em uma área plantada de 38,6 milhões de hectares. A China ocupa a segunda posição com 288,8 milhões de toneladas, em 44,7 milhões de hectares. O Brasil, por sua vez, produz cerca de 127 milhões de toneladas, cultivadas em 22,3 milhões de hectares (USDA, 2024).

No contexto brasileiro, além do milho primeira safra, destaca-se o cultivo do milho de segunda safra, comumente denominado 'milho safrinha'. Esse sistema consiste na semeadura do milho logo após a colheita da soja, predominando nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e em áreas do Sul do país. Trata-se de uma estratégia típica de sistemas agrícolas intensivos e altamente tecnificados, que tem se consolidado como componente central da produção nacional, correspondendo atualmente à maior parte do volume total de milho produzido no Brasil (EMBRAPA, 2024; CONAB, 2024).

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto altamente polífago, com capacidade de atacar 353 espécies vegetais, incluindo: o milho, sorgo, algodão, amendoim e soja (Montezano et al., 2018; Zacarias, 2020). O milho é o hospedeiro preferido destes insetos. Nas fases iniciais de desenvolvimento, as larvas alimentam-se das folhas, sobretudo do cartucho e das espigas, comprometendo o potencial produtivo da planta. Em estágios larvais avançados, podem danificar a base das plântulas, resultando em sua morte (Harrison et al., 2019). As perdas devido ao ataque de *S. frugiperda* pode variar de 22% a 67% (Sharma et al., 2022). Na África, por exemplo, a lagarta-do-cartucho pode reduzir a produção anual de milho, em até 53% (Hussain, 2021; Mlambo et al., 2024).

A lagarta-do-cartucho é uma praga nativa da América do Norte, notadamente reconhecida por causar danos significativos a cultura do milho. Em 2016 ela foi registrada pela primeira vez na África, espalhando-se rapidamente para 44 países, em dois anos (Goergen et al., 2016; Zacarias, 2020). Em 2018, a *S. frugiperda* expandiu sua presença para a Ásia e em menos de um ano, ela disseminou para 26 províncias chinesas, representando uma ameaça grave à produção de grãos (Jing et al., 2020; Zacarias, 2020). Sua rápida disseminação explica-se por sua alta capacidade de se adaptar a diferentes condições climáticas (Guo et al., 2023).

2.2 Uso de drone na agricultura e tecnologia de aplicação

O uso de Aeronaves Pilotadas Remotamente (APRs), também conhecidas como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAs), tem se consolidado como uma tecnologia emergente na agricultura de precisão, especialmente para aplicações fitossanitárias. A eficácia da pulverização com drones depende de variáveis operacionais, como: altura, velocidade de voo, vazão de aplicação, espectro de gotas e tipo de atomizador, que influenciam diretamente na deposição da calda e nas perdas por deriva, escorrimento ou evaporação (Cunha; Juliatti; Reis, 2017).

Entre os benefícios operacionais destacam-se: a manobrabilidade em áreas de difícil acesso, a segurança para o operador e a precisão na aplicação, que favorece o uso racional de insumos. Um fator particular é o efeito “downwash”, fluxo descendente de ar gerado pelos rotores, que pode aumentar a penetração da calda no dossel, mas também causa turbulências, que prejudicam a uniformidade da deposição (Xiongkui et al., 2017).

A eficiência da pulverização liga-se ao espectro de gotas. Gotas pequenas favorecem cobertura uniforme, mas evaporam facilmente em condições de alta temperatura e baixa umidade; já gotas maiores reduzem perdas por evaporação, mas apresentam menor capacidade de cobertura (Baesso et al., 2014). Assim, a calibração adequada dos parâmetros de voo e pulverização, considerando clima e alvo, é essencial para o sucesso da aplicação (Ferreira, 2019).

O avanço tecnológico tem ampliado a autonomia operacional e a capacidade de carga dos drones, além de permitir ajustes automáticos de altitude em função do relevo, promovendo maior estabilidade e uniformidade na aplicação (Zhang et al., 2020). No entanto, ainda há a necessidade de pesquisas aplicadas, que adaptem essa tecnologia às condições específicas da agricultura brasileira.

2.3 Desafios no uso de drones

Apesar do potencial, a pulverização com drones ainda enfrenta desafios técnicos, ambientais e logísticos. A calibração é complexa, pois altura, velocidade e estabilidade de voo influenciam diretamente na dispersão das gotas (Cunha et al., 2017). Alturas muito baixas podem gerar sobreposição irregular, enquanto altitudes elevadas aumentam riscos de deriva; velocidades excessivas reduzem a uniformidade, mas muito baixas prolongam o tempo de operação (Zhang et al., 2020).

O volume de aplicação, geralmente inferior a 20 L ha⁻¹, exige gotas de menor diâmetro, mais suscetíveis à deriva e à evaporação, especialmente sob ventos acima de 3 m s⁻¹, umidade abaixo de 55% e temperaturas acima de 30 °C (Matthews & Reynolds, 2019). Para mitigar esses problemas, recomenda-se o uso de adjuvantes, bicos que gerem gotas médias a grossas e o monitoramento climático em tempo real (ASABE, 2018).

Outro entrave é logístico, com tanques de 10 a 30 L e baterias com autonomia de 15 a 25 minutos limitam a área efetiva por voo, exigindo recargas frequentes e múltiplos kits de baterias (He et al., 2019). Embora já existam soluções em desenvolvimento, como: estações móveis inteligentes, drones com tanques acima de 50 L e sistemas híbridos de maior autonomia, a pulverização em grandes áreas ainda é mais eficiente com aeronaves tripuladas ou pulverizadores terrestres.

No Brasil, a operação depende de regulamentações específicas, incluindo registro da aeronave na ANAC, homologação na ANATEL, autorização do DECEA e capacitação dos operadores (MAPA, 2022).

2.4 Uso de drone para controle de larvas de *Spodoptera frugiperda*

O manejo da lagarta-do-cartucho depende principalmente do uso de inseticidas (Yang et al., 2021). Neste contexto, os drones representam uma alternativa inovadora para aumentar a eficiência no controle da praga, reduzindo custos operacionais e perdas por deriva, além de possibilitar aplicações em áreas de difícil mecanização (Zhang et al., 2015; Rahman et al., 2021).

Pesquisas em diferentes países têm avaliado padrões de deposição de gotas, uso de adjuvantes e eficácia no controle da praga por meio de drones (Faïçal et al., 2014; Xiao et al., 2019). O aumento do volume de aplicação pode melhorar a cobertura da calda, mas tanto o

excesso, quanto a deficiência podem comprometer o controle, evidenciando a necessidade de calibração precisa (Wang et al., 2019).

Um aspecto crítico é a estrutura de deposição, que conecta fisicamente o defensivo ao organismo-alvo. Diferentes materiais (cartões Kromekote®, papéis hidrossolúveis, filtros de papel) e métodos de amostragem influenciam os resultados obtidos (Ebert et al., 1999; Brain et al., 2017).

Ainda há lacunas na literatura sobre como diferentes volumes de calda e velocidades de voo afetam a eficácia no controle da praga. Portanto, torna-se fundamental aprofundar as pesquisas, que investiguem a relação entre parâmetros operacionais e eficiência de controle, visando desenvolver estratégias de manejo mais sustentáveis e tecnicamente robustas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

O estudo foi conduzido no campo experimental da Universidade de Rio Verde, localizado no município de Rio Verde (17°47'6.53"S, 50°57'40.80"W, altitude de 760 metros), Goiás, Brasil, no ano agrícola 2024/2024. Foi utilizado o híbrido DM 2890, no estágio fenológico V3 (três folhas completamente desenvolvidas), com espaçamento de 0,50 metros entre linhas e densidade de três plantas por metro linear, totalizando uma população de 60.000 plantas ha⁻¹.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial (3X2). O primeiro fator correspondeu a três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e o segundo fator duas alturas de aplicação (4 e 5m). Cada parcela experimental tinha 5,0x 14,0m, sendo considerada área útil a faixa central de 4 metros de comprimento nas linhas centrais da parcela.

As aplicações foram realizadas com o uso de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) do tipo multirrotor, modelo DJI Agras T40, equipada com ponteiros rotativas centrífugas (centrifugal nozzles DJI), que utilizam sistema de disco rotativo para formação de gotas de tamanho ajustável, com bicos espaçados a cada 1,40 m. As aplicações ocorreram entre 16h e 18h, com velocidade de voo de 25 km/h (equivalente a 6,9 m/s) e diâmetro médio volumétrico (DMV) das gotas estimado em 250 (µm). A calda de pulverização foi preparada com água,

adjuvante e com o traçador (corante alimentício Azul Brilhante FD&C nº 1), na concentração de $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Uma amostra de 500 mL da calda de pulverização foi coletada para posterior elaboração da curva de calibração. A amostra foi acondicionada em garrafa plástica envolta em papel alumínio, com o objetivo de evitar a exposição à luz solar e armazenada em caixa de isopor contendo gelo, visando à preservação da estabilidade do traçador. Posteriormente, foi transportada ao laboratório da UniRV, onde permaneceu refrigerada a 5°C até a realização das análises.

As condições climáticas no momento da aplicação dos tratamentos foram medidas, por meio do aparelho termo-higroanemômetro portátil (Kestrel® 3000, Boothwyn, EUA). A umidade relativa no momento da aplicação era de 60%, velocidade do vento, entre 3,8 a 5,3 km, por hora e temperatura do ar média de 27°C .

3.2 Determinação da densidade de gotas, porcentagem de cobertura, volume, dispersão e diâmetro médio volumétrico

Para determinar a densidade de gotas ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), a cobertura (%), o volume médio, a dispersão e o diâmetro médio volumétrico (D50) foram utilizados papéis hidro sensíveis com dimensões de 26 x 76 mm, fixados na região do cartucho das plantas de milho. Para isso, foram selecionadas aleatoriamente, 20 plantas por tratamento, distribuídas em quatro réplicas por repetição. Após aplicação da calda, os papéis foram cuidadosamente removidos, acondicionados em papel absorvente e identificados e transportados ao laboratório. Posteriormente, eles foram digitalizados utilizando scanner modelo Epson WorkForce DS-1630, com resolução equivalente a 600 dpi. As imagens foram analisadas com Software Gotas® (Chaim et al., 2006) e os parâmetros foram calculados com base nos valores médios das repetições.

3.3 Determinação da deposição da calda no cartucho

Após a aplicação da calda, cinco folhas de milho foram coletadas aleatoriamente por repetição, totalizando cinco repetições. As folhas, provenientes da região do cartucho, foram armazenadas em sacos plásticos (30 x 15 cm), devidamente identificados e conservados em geladeira a $5,0^\circ\text{C}$ até a realização das análises no laboratório.

No laboratório, cada folha foi lavada com 20 mL de água destilada sob agitação manual constante por 30 segundos, visando à extração do traçador (corante alimentício Azul Brilhante FD&C nº 1), na concentração de 3 g L⁻¹ (Scudeler et al., 2004). As soluções obtidas foram submetidas à leitura de absorvância em espectrofotômetro UV-VIS, operando a um comprimento de onda de 630 nm. Após a lavagem, as folhas, foram posicionadas sobre uma superfície plana, ao lado de uma régua, para captura das imagens. As imagens obtidas foram analisadas no software ImageJ, com o objetivo de determinar a área foliar de cada amostra.

A absorvância obtida em cada réplica e repetição foi convertida em concentração do traçador (mg L⁻¹) por meio de uma curva de calibração, construída a partir das soluções aquosas com concentrações conhecidas do traçador, preparadas a partir da calda de pulverização. Foram usados valores de concentrações conhecidas do traçador (3 g L⁻¹), com diluições sucessivas, em razão de 1:10, até a concentração de 3x10⁻⁵g L⁻¹. Estabeleceu-se a equação linear (1), que apresentou R² = 0,9995:

$$C_c = 3,8887x + 0,0052 \quad (1)$$

Onde: C_c= concentração do traçador (mg L⁻¹); x= absorvância medida no espectrofotômetro.

A deposição (μL cm⁻²) da calda nas folhas do cartucho foi determinada usando as equações 2 e 3:

$$V_{dep} = \frac{C_c * V_e}{3000} \quad (2)$$

Onde: V_{dep} = volume captado pela folha (mL); C_c é a concentração determinada pela curva de calibração a partir da absorvância medida e V_e é o volume de água utilizado na extração do traçador (20 mL).

$$DEP_{exp} = \frac{V_{dep}}{LA} * 1000 \quad (3)$$

Onde: DEP_{exp} é a deposição (μL cm⁻²), V_{dep} é o volume depositado (mL) e LA é a área foliar total dos folíolos amostrados (cm²).

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variância, pelo teste de Levene (LEVENE, 1960) e à análise de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965). Após os procedimentos, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p ≤ 0,05). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade de gotas, porcentagem de cobertura, volume e dispersão

A dispersão das gotas variou em função dos volumes de aplicação e das alturas de voo (Tabela 1). Entre os volumes avaliados, observou-se aumento significativo da dispersão para os volumes de 10 e 14 L há⁻¹. Em relação à altura de voo, a dispersão foi maior a 5 m. Esses resultados indicam que, em aplicações aéreas com drones sob baixo volume, a escolha adequada do volume e da altura é fundamental para otimizar a cobertura da superfície foliar e favorecer o controle de pragas.

Embora gotas mais finas possam proporcionar melhor cobertura e penetração, elas estão mais sujeitas à deriva e à evaporação, de modo que a altura de voo exerce influência decisiva: quanto maior a altura, maior o tempo de queda da gota até o alvo e, conseqüentemente, maior o risco de perdas. Além disso, aplicações com produtos sistêmicos podem manter boa eficiência, mesmo sob maior dispersão, enquanto produtos de contato podem ser prejudicados, ocasionando falhas no controle (Antuniassi, 2019).

TABELA 1 - Dispersão de gotas em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros)

Dispersão			
Volume (l)	Altura (metros)		Média
	4	5	
8	0,52	0,66	0,59b
10	0,67	0,66	0,67a
14	0,69	0,75	0,72a
Média	0.63B	0.69A	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nas linhas e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

O volume de calda depositado ($\mu\text{L cm}^{-2}$) foi influenciado pelo volume aplicado e pela altura de voo. A 4 m, os maiores valores foram observados nos tratamentos de 10 e 14 L ha⁻¹, que não diferiram estatisticamente entre si. A 5 m, não houve diferenças significativas entre os volumes, embora o tratamento de 10 L ha⁻¹ tenha apresentado redução em relação à aplicação a 4 m. Esse resultado pode estar associado à menor distância de queda das gotas e uma maior eficiência na aplicação, principalmente produtos de contato (Zhan et al., 2022). Em contraste,

o volume de 14 L ha⁻¹ apresentou desempenho semelhante entre as alturas, indicando maior estabilidade na deposição.

Nesse caso, a pulverização pode favorecer, tanto a utilização de produtos de contato, quanto de ação sistêmica, uma vez que a maior densidade de gotas geradas promove distribuição mais homogênea sobre o alvo (Wang et al., 2023; Alves, 2020).

TABELA 2 - Volume de calda depositado (l/ha) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros)

Volume de calda depositada (l/ha)			
Volume (l)	Altura (metros)		Média
	4	5	
8	2,42bA	5,52aA	3,97
10	9,20aA	3,61aB	6,40
14	7,71aA	7,40aA	7,55
Média	6,44	5,51	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nas linhas e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

A densidade de gotas depositadas (gotas cm⁻²) foi influenciada, tanto pelo volume de calda, quanto pela altura de aplicação. Na altura de 4 metros, os volumes de 10 e 14 L há⁻¹ proporcionaram as maiores densidades, sem diferença estatística entre si. Já a 5 metros, apenas o volume de 14 L há⁻¹ manteve elevada densidade de deposição, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 3). Este fato pode ser explicado pela quantidade de gotas associadas aos volumes mais altos que são menos suscetíveis à deriva, mesmo em maiores alturas (Lou et al., 2018; Wang et al., 2023). A relação entre volume e densidade de gotas é crucial, pois favorece a cobertura da superfície alvo. Além disto, os resultados indicam que a altura de voo pode afetar negativamente a densidade de gotas, especialmente em volumes intermediários. Assim, o ajuste adequado da altura de aplicação deve considerar o volume de calda utilizado, para garantir maior uniformidade e eficiência na deposição.

TABELA 3 - Densidade de gotas (cm²) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros)

Volume (l)	Densidade de gotas/cm ²		Média
	Altura (metros)		
	4	5	
8	9,25bA	25,94bA	17,60
10	37,75aA	14,81bB	26,28
14	39,12aA	46,89aA	43,01
Média	28,71	29,21	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nas linhas e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

A porcentagem de cobertura foi superior nos volumes de 10 e 14 L há⁻¹, em ambas as alturas. O volume de 10 L há⁻¹ a 4 metros resultou em cobertura de 2,74%, estatisticamente superior ao valor de 1,07% observado para 5 metros (Tabela 4). Essa diferença pode ser explicada pela menor uniformidade de deposição a maiores alturas, onde o fluxo de ar do drone pode dispersar excessivamente as gotículas, dificultando sua chegada ao alvo (Chen et al., 2021; Wang et al., 2023). Por sua vez, o volume de 14 L há⁻¹ demonstrou comportamento mais uniforme entre as alturas, reforçando sua estabilidade na cobertura foliar e maior potencial de uso em condições variadas (Tabela 4). Essa uniformidade é crucial para a eficácia dos tratamentos fitossanitários, uma vez que uma cobertura adequada é fundamental, para maximizar a absorção do produto pelas plantas (Zhang et al., 2012).

TABELA 4 - Porcentagem de cobertura (%) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros)

Cobertura (%)			
Volume (l)	Altura (metros)		Média
	4	5	
8	0,72bA	1,07bA	1,2
10	2,74aA	1,07aB	1,91
14	2,42aA	2,42aA	2,42
Média	1,96	1,73	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nas linhas e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

O diâmetro mediano volumétrico (D50) foi significativamente maior com o volume de 10 L há⁻¹ (194,73 µm) em comparação a 14 L ha⁻¹ (175,45 µm), indicando predominância de gotas médias, faixa considerada ideal por reduzir o risco de deriva e proporcionar maior eficiência de cobertura (Ribeiro et al., 2023; Zhang et al., 2012; Cavalcanti & Müller, 2023). A altura de voo, por sua vez, não influenciou significativamente esse parâmetro, sugerindo que o espectro de gotas se permaneceu estável, independentemente da altura, sendo mais sensível ao volume de calda utilizado (Souza et al., 2022).

TABELA 5 - Diâmetro mediano volumétrico (D50 %) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha⁻¹) e duas alturas de aplicação (4 e 5 metros)

D50%			
Volume (l)	Altura (metros)		Média
	4	5	
8	188,57	187,77	188,17ab
10	197,02	192,45	194,73a
14	181,77	169,14	175,45b
Média	189,12A	183,12A	

Médias seguidas pela mesma letra pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

4.2 Determinação da deposição da calda na folha do cartucho do milho

Não foram observadas diferenças significativas para o fator altura de voo ($P = 0,36$), nem para a interação entre o volume de calda e a altura de aplicação ($P = 0,8852$). Por outro lado, houve efeito significativo do volume de calda sobre o depósito de calda na folha do cartucho de milho ($\mu\text{g cm}^{-2}$).

O maior valor de deposição foi obtido, com o volume de 14 L há⁻¹, atingindo média de 6,6135 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (Tabela 6). Esse resultado reforça que o aumento do volume aplicado contribui para uma maior quantidade de ingrediente ativo atingindo a superfície foliar, favorecendo a cobertura do alvo biológico e potencializando a eficácia do tratamento fitossanitário. A menor deposição observada nos volumes de 8 e 10 L ha⁻¹ indica que volumes mais reduzidos podem ser insuficientes para garantir cobertura adequada, especialmente, em situações em que o dossel da cultura apresenta maior densidade. Nessas condições, a penetração das gotas se torna um fator limitante, comprometendo a uniformidade da aplicação (Alves, 2020; Ribeiro et al., 2023). O melhor desempenho observado com 14 L há⁻¹ está associado não apenas à maior quantidade de calda distribuída por área, mas também, à maior densidade de gotas, o que proporciona uma cobertura mais homogênea e eficaz da superfície foliar (Zhang et al., 2012).

TABELA 6 - Deposição ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) em função de três volumes de aplicação da calda (8, 10 e 14 L ha^{-1})

Volume de calda (L ha^{-1})	Deposição ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
8	3,7239b
10	4,1684b
14	6,6135a

Médias seguidas pela mesma letra pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey em $p \leq 0,05$.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que, tanto o volume de aplicação, quanto a altura de voo influenciam diretamente: a deposição, a densidade, a dispersão e a cobertura de gotas, em pulverizações aéreas com drones, na cultura do milho. De modo geral, volumes mais elevados (14 L ha^{-1}) proporcionaram: maior deposição de calda, maior densidade de gotas e maior uniformidade de cobertura, reduzindo o risco de falhas no controle fitossanitário. O volume de 10 L ha^{-1} apresentou bom desempenho em condições de menor altura (4 m), mas mostrou maior sensibilidade a variações de altura de voo, resultando em menor estabilidade. Já o volume de 8 L ha^{-1} foi insuficiente para garantir cobertura e deposição adequadas, sobretudo, em cenários de dossel mais adensado.

A altura de voo afetou significativamente a dispersão e a densidade de gotas, sendo que aplicações a 5 m aumentaram a dispersão e reduziram a uniformidade da deposição em alguns tratamentos, especialmente, em volumes intermediários. O diâmetro mediano volumétrico (D50) foi influenciado apenas pelo volume, com predominância de gotas médias em 10 L ha^{-1} , consideradas ideais, por aliarem cobertura eficiente e menor risco de deriva.

Em síntese, volumes mais altos (14 L ha^{-1}) mostraram maior robustez e consistência, entre diferentes alturas, representando a condição mais adequada, para garantir deposição homogênea e eficácia de produtos de contato e sistêmicos. Esses achados reforçam a importância do ajuste criterioso entre volume de calda e altura de voo no manejo com drones, para: maximizar a eficiência da aplicação, reduzir riscos de deriva e assegurar o controle de pragas e doenças em diferentes estádios da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T. C. et al. **Otimização da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários na cafeicultura**. 2020. Disponível em: <http://orcid.org/0000-0003-4066-9668>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. ASAE S572.1: **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**. St. Joseph: ASABE, 2018. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/subscribe.asp>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

ANTUNIASSI, U. R. et al. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 2ªed. São Paulo: FEPAF, 2019.

BAESSO, A. T. et al. Advanced Crop Protection Techniques and Technologies. In: Modeling for Sustainable Management in Agriculture, Food and the Environment. **CRC Press**, p. 112-171. 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-016-0664-8>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

BRAIN, R A. et al. Evaluating the effects of herbicide drift on nontarget terrestrial plants: A case study with mesotrione. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, n. 9, p. 2465-2475, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28262983/>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

CAVALCANTI, F. R.; MÜLLER, L. E. Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de condução de videira. 1. ed. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho** (Circular Técnica, 165). 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1156770>. Acesso em: 14 julho de 2025.

CHAIM A, CAMARGO NETO J, AND PESSOA M, Uso do programa computacional gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas., Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/15921/1/boletim39.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

CHEN, et.al. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: a review. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 13, p. 01-16. 8, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant science/articles/10.3389/fpls.2022.870956/full>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

CHEN, P. et al. As distribuições de gotas em aplicações de auxílio à colheita de algodão variam com as interações entre os parâmetros de pulverização do veículo aéreo não tripulado. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113324, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/MvVRxFqNgCjMcmtbvCX6zzq/?format=html&lang=pt#:~:text=2007%20%E2%80%A2,10.1590/S0100%2D69162007000200011>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2023/24** – 8º levantamento. Brasília: Conab, maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

CUNHA, J. P. A. R.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. F. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2017.

DAY, R. et. al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. **Outlooks Pest Management**, v.28, p. 196-201, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1564/v28_out_02. Acesso em: 23 de maio de 2025.

DE GROOTE H., et.al. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize production areas of Kenya. **Agriculture Ecosystem and Environment**, 292: 106804, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

EBERT, T. A. et al. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 1: Interactions between deposit size, toxicant concentration and deposit number. **Pesticide Science**, v. 55, n. 8, p. 783-792, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199908\)55:8<783::AID-PS973>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199908)55:8<783::AID-PS973>3.0.CO;2-D). Acesso em: 23 de maio de 2025.

EMBRAPA. Milho safrinha: escolha da semente ou de tecnologias? Brasília: **Embrapa**, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/77344647/artigo---milho-safrinha-escolha-da-semente-ou-de-tecnologias>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

FERREIRA, E. J. S. Avaliação de índices de vegetação para estimativa de produtividade do milho em sistemas de manejo do solo no cerrado / Elton José Sant'Ana

Ferreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 193 f. : il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/Admin/Downloads/ferreira_ejs_me_ilha.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2025.

FAIÇAL, B. S., et.al. Fine-tuning of UAV control rules for spraying pesticides on crop fields, pp. 527–533. In: **IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)**, Limassol: Cyprus, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ictai.2014.85>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

GOERGEN, G. et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **PloS one**, v. 11, n. 10, p. e0165632, 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0165632>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

GUO, J., R., I., & Wang, Z. China–Africa Joint Force on Integrated Pest and Disease Management (IPM) for Food Security: Fall Armyworm as a Showcase (pp. 233–252). **Springer Nature**, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-99-2828-6_11. Acesso em: 23 de maio de 2025.

HARRISON, R.D. et. al. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. **J. Environ. Manag.** 2019, 243, 318–330. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

HE, X. et al. Development of UAV spraying in agriculture: status, challenges and future perspectives. **Outlooks on Pest Management**, v. 30, n. 4, p. 162-167, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1564/v29_ago_04. Acesso em: 23 de maio de 2025.

HUANG, Y.; LAN, Y. Advances in pesticide delivery systems by unmanned aerial vehicles. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 1–17, 2015. de 2019 Acesso IEEE PP(99):1-1
Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

HUSSAIN, A. G. et. al. Viruses of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review with prospects for biological control. **Viruses**, 13(11), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/v13112220>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

JING, Da-Peng et al. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. **Insect Science**, v. 27, n. 4, p. 780-790, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12700>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

LOU, Z. et al. Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. **Agronomy**, v. 8, n. 9, p. 187, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy809018>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

MAPA-Ministério da Agricultura e Pecuária. **Regulamentação do uso de Drones em Lavouras**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-apresenta-normas-sobre-uso-de-drones-na-agricultura-na-drone-show>. Acesso em: 23 maio 2025.

MARTINEZ, E. L., & FERNANDEZ, F. J. B. (2019). Economics of Production, Marketing and Utilization (pp. 87–107). **AACC International Press**. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00004-8>. Acesso em: 23 maio 2025.

MATTHEWS, G. A.; REYNOLDS, D. R. **Pesticide Application Methods**. 4. ed. Chichester: Wiley Blackwell, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=IEOMAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA527&dq=MATTHEWS,+G.+A.%3B+REYNOLDS,+D.+R.+Pesticide+Application+Methods.+4th.+ed.+Chichester:+Wiley+Blackwell,+2019.&ots=y8c4Nb3I84&sig=MZWEEZkxkR9LiHo-s09PsNdUabc#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 maio 2025.

MENG, Y. H. et. al. Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle on wheat aphids. *Int. J. Agricult. Biol. Eng.* 11, 46–53. Disponível em: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.4298>. In: **Agronomy**, 3, 640885. Acesso em: 23 maio 2025.

MLAMBO, S; MUBAYIWA, M; TARUSIKIRWA, V. L. et al. The Fall Armyworm and Larger Grain Borer Pest Invasions in Africa: Drivers, Impacts and Implications for Food Systems. **Biology**, v. 13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biology13030160>. Acesso em: 23 maio 2025.

MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a>. Acesso em: 23 maio 2025.

QIN, W. et al. Droplet deposition and efficiency of pesticide spraying with unmanned aerial vehicles in cotton fields. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 837–849, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018>. Acesso em: 23 maio 2025.

PATHAK, H. et al. Use of drones in agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. **ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management**, v. 300, p. 4-15, 2020. Disponível em: <https://niam.res.in/sites/default/files/pdfs/Use-of-Drone-in-Indian-Agriculture.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

RAHMAN, M. F.F. et al. A comparative study on application of unmanned aerial vehicle systems in agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture11010022>. Acesso em: 23 maio 2025.

RIBEIRO, L. F. O. et al. Impacto de parâmetros operacionais na distribuição de gotas utilizando veículo aéreo não tripulado em pomar de mamão. **Agronomia**, v. 13, n. 4, p. 1138, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13041138>. Acesso em: 23 maio 2025.

SARWAR, M. The Killer Chemicals as Controller of Agriculture Insect Pests: The Conventional Insecticides. **International Journal of Chemical and Biomolecular Science**, v. 1, n. 3, p. 141–147, 2015. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Killer-Chemicals-as-Controller-of-Agriculture-Sarwar/15607a63a3553e5e66d78023a74acff471912feb>. Acesso em: 23 maio 2025.

SCUDELER, F. et.al. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, 63, 129-139. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000100013>. Acesso em: 23 maio 2025.

SHAHROOZ, M. et.al. Agricultural spraying drones: Advantages and disadvantages. **Virtual Symposium in Plant Omics Sciences (OMICAS)**. IEEE, p. 1-5, 2020. Disponível em: [10.1109/OMICAS52284.2020.9535527](https://doi.org/10.1109/OMICAS52284.2020.9535527). Acesso em: 23 maio 2025.

SHAMSHIRI, R. R. et.al. Fundamental research on unmanned aerial vehicles to support precision agriculture in oil palm plantations. In **Agricultural Robots: Fundamentals and Applications**, eds J. Zhou and B. Zhang (Intech Open). 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.80936>. Acesso em: 23 maio 2025.

SHAN, C. et al. Control efficacy and deposition characteristics of an unmanned aerial spray system low-volume application on corn fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 900939, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.900939>. Acesso em: 23 maio 2025.

SHARMA, S. et.al. Life cycle and morphometrics of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize crop. **SAARC Journal of Agriculture**, 20(1), 77–86, 2022. <https://doi.org/10.3329/sja.v20i1.60532>. Acesso em: 23 maio 2025.

SONG, Y. et al. The invasive *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) has displaced *Ostrinia furnacalis* (Guenée) as the dominant maize pest in the border area of southwestern China. **Pest Management Science**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.7524>. Acesso em: 23 maio 2025.

SOUZA, F. G. et al. Impacto da altura de voo do drone pulverizador no espectro de gotas em plantações de café montanhosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 901-906, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p901-906>. Acesso em: 23 maio 2025.

SRIVASTAVA, K. An approach for route optimization in applications of precision agriculture using UAVs. **Drones**, v. 4, n. 3, p. 58, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones4030058>. Acesso em: 23 maio 2025.

SUBRAMANIAN, K. S. et.al. Drones in insect pest management. **Frontie**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>. Acesso em: 23 maio 2025.

TAMBO, J. A. et al. Sustainable management of fall armyworm in smallholder farming: The role of a multi-channel information campaign in Rwanda. **Food and Energy Security**, v. 12, n. 2, p. 414, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fes3.414>. Acesso em: 23 maio 2025.

TORRENT, X. et al. Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part I. Effects on wind tunnel and field spray drift. **Crop Protect.** 96, 130–143. 2017. Disponível em: <https://10.1016/j.cropro.2017.02.001>. Acesso em: 23 maio 2025.

USDA. World Agricultural Production. **United States Department of Agriculture**, 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

WANG, Z. et.al. Evaporation of droplet with adjuvants under different environment conditions. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-6, 2019. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE)**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20201302.5353>. Acesso em: 23 maio 2025.

WANG, S. et al. Airflow characteristics of a spray UAV and its effect on spray droplet transportation. **Engenharia Agrícola**, v. 43, n. 6, p. e20230041, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n6e20230041/2023>. Acesso em: 23 maio 2025.

XIONGKUI, S. et.al. Funções essenciais de stat5.1/stat5b no controle do crescimento somático de peixes. *Revista de genética e genômica*. 2017. Disponível em: <https://zfin.org/ZDB-PUB-171219-4>. Acesso em: 23 maio 2025.

XUE, X. et al. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 128, p. 58-66, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.022>. Acesso em: 23 maio 2025.

YAN, X. et al. Broadcasting of tiny granules by drone to mimic liquid spraying for the control of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). **Pest Management Science**, v. 78, n. 1, p. 43-51, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.6604>. Acesso em: 23 maio 2025.

YANG, Shulin; YANG, Xiaobing; MO, Jianyou. The application of unmanned aircraft systems to plant protection in China. **Precision agriculture**, v. 19, p. 278-292, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9516-7>. Acesso em: 23 maio 2025.

YANG, X., Wyckhuys, K. A., Jia, X., Nie, Fall armyworm invasion heightens pesticide expenditure among Chinese smallholder farmers. **Journal of Environmental Management**, 282, 111949, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111949>. Acesso em: 23 maio 2025.

ZACARIAS, D. A. Global bioclimatic suitability for the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), and potential co-occurrence with major host crops under climate change scenarios. **Climatic Change**, 161(4), 555–566. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02722-5>. Acesso em: 23 maio 2025.

ZHAN, Y. et al. Influência das características de distribuição do fluxo de ar descendente de um VANT de proteção de plantas na distribuição de depósitos de pulverização. **Biosystems Engineering**, v. 216, p. 32-45, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/42109/1/UsoAeronaveRemotamente.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

ZHANG, D. et al. Evaluating effective swath width and droplet distribution of aerial spraying systems on M-18B and Thrush 510G airplanes. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 2, p. 21-30, 2015. Disponível em: <http://www.ijabe.org>. Acesso em: 23 maio 2025.

ZHANG, J. et al. Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition. Nongye Jixie Xuebao. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 43, n. 12, p. 94-96, 2012. Disponível em: <http://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.017>. Acesso em: 23 maio 2025.

ZHANG, S. et al. Research progress on spraying technology of plant protection unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 1, p. 1–8, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.5714>. Acesso em: 23 maio 2025.