

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE *PÓS*-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DANIEL PASSARELLI LUPOLI BARBOSA

**TAXAS DE APLICAÇÃO E ADJUVANTES NO CONTROLE DA LAGARTA DO
CARTUCHO NO MILHO EMPREGANDO DRONE DE PULVERIZAÇÃO**

**UBERLÂNDIA
2025**

DANIEL PASSARELLI LUPOLI BARBOSA
TAXAS DE APLICAÇÃO E ADJUVANTES NO CONTROLE DA LAGARTA DO
CARTUCHO NO MILHO EMPREGANDO DRONE DE PULVERIZAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UBERLÂNDIA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B238t
2025 Barbosa, Daniel Passarelli Lupoli, 1998-
Taxas de aplicação e adjuvantes no controle da lagarta do cartucho no milho empregando drone de pulverização [recurso eletrônico] / Daniel Passarelli Lupoli Barbosa. - 2025.

Orientador: Cleyton Batista de Alvarenga.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5551>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Pulverização. 3. Drone. 4. Milho. 5. Controle de pragas. I. Alvarenga, Cleyton Batista de, 1981- (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Rejâne Maria da Silva
Bibliotecária-Documentalista – CRB6/1925



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 010/2025, PPGAGRO				
Data:	Vinte e dois de maio de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	10:40
Matrícula do Discente:	12312AGR008				
Nome do Discente:	Daniel Passarelli Lupoli Barbosa				
Título do Trabalho:	Taxas de aplicação e adjuvantes no controle da lagarta do cartucho do milho empregando drone de pulverização				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU; Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros - UFLA; Robson Shigueaki Sasaki - IFMG Campus Bambuí; Cleyton Batista de Alvarenga - UFU - orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Cleyton Batista de Alvarenga, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

APROVADO

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? () SIM NÃO (x)

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Cleyton Batista de Alvarenga, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/05/2025, às 07:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/05/2025, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Robson Shigueaki Sasaki, Usuário Externo**, em 28/05/2025, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros, Usuário Externo**, em 12/06/2025, às 08:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6337318** e o código CRC **5A4934E0**.

AGRADECIMENTOS

Esta jornada de mestrado, concomitante com o trabalho no setor privado, não teria sido possível sem o apoio, incentivo e contribuição de diversas pessoas que conceberam e construíram o presente estudo junto comigo.

Em primeiro lugar, agradeço à Bayer SA, empresa que acreditou em meu potencial e me possibilitou ser o profissional que sou hoje. Em especial, Leonardo Oliveira, Henrique Lemos e Danilo Lopes que abriram as portas para a realização do trabalho. Adicionalmente, Ricardo Doi, Carolina Rossi, Alan Correa e Tiago Cappelossa que não só realizaram as análises cromatográficas, como foram meus professores nesse quesito.

Também funcionários da empresa, mas muito além disso, Valteir Moraes e Matheus Lima foram meus fiéis escudeiros no dia a dia. O aprendizado mútuo e constante apoio trouxeram qualidade e leveza à condução dos experimentos.

Agradeço também aos meus pais, Cássia e Ubiratan, pela paciência, aconchego e apoio incondicional ao longo deste processo. E não poderia deixar de citar minha segunda família: Tanaka e Lia, que além de orientação e sabedoria, foram responsáveis por criar Gabriela. Mulher essa que se tornou meu alicerce, minha cúmplice e parceira no crime, sem a qual eu não teria chegado ao final dessa dissertação.

Ao professor Cleyton Batista e colegas do Centro de Excelência em Mecanização Agrícola, pelo conhecimento compartilhado, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio durante esta trajetória. Em especial, a Renan Zampiróli e Layanara Faria, que contribuíram diretamente para meu crescimento acadêmico e pessoal.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela estrutura e oportunidades oferecidas, que foram essenciais para a realização desta pesquisa. Destaco a oportunidade única que tive de entrar em sala de aula com professores de ponta, sobretudo na área de tecnologia de aplicação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, cuja proposta APQ-00434-24, financiou parte desta pesquisa, nos ensaios de laboratório.

Meu sincero obrigado ao meu amigo Villian, que foi chave para me introduzir no mundo da pulverização.

Apesar das empresas e instituições, quem está por trás de todas as decisões são pessoas. E se cheguei até aqui, foi por ser privilegiado em ter cruzado o caminho de muitos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1. Cultura do milho	11
2.2. Lagarta-do-cartucho.....	11
2.3. Controle químico	12
2.4. Controle biológico	123
2.5. Tecnologia de Aplicação	13
2.6. Aeronaves Remotamente Pilotadas na proteção de cultivos	15
2.7. Taxa de Aplicação	17
2.8. Adjuvantes	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Descrição da área experimental	19
3.2. Descrição dos tratamentos	21
3.3. Descrição da aplicação	22
3.4. Faixa efetiva de deposição.....	24
3.5. Amostragem e monitoramento	278
3.6. Tensão superficial.....	34
3.7. Ângulo de contato.....	28
3.8. Quantificação de Tetraniliprole no Tecido Vegetal	30
3.9. Produtividade.....	31
3.11. Análise Estatística.....	34
4. RESULTADOS E DICUSSÃO	35
4.1. Tensão superficial.....	35
4.2. Ângulo de contato.....	40
4.3. Quantificação de Tetraniliprole no Tecido Vegetal	41
4.4. Nível de infestação	46
4.5. Severidade	52
4.6. Produtividade.....	54
5. CONCLUSÕES	58
6. LITERATURA CONSULTADA	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquematização do comportamento da gota com a folha, formando o ângulo de contato (θ) e superfície de molhamento (s).	188
figura 2. Dimensões da parcela experimental (m).	200
figura 3. Modelo de atomizador rotativo utilizado no experimento	22
figura 4. Esquematização do plano de voo sobre cada parcela.	233
figura 5. Esquematização da área experimental para determinação da faixa de deposição efetiva.	25
figura 6. Perfil de distribuição da cobertura ao longo da faixa de captação.	26
figura 7. Determinação da faixa efetiva de deposição.	26
figura 8. Escala de severidade de danos de <i>spodoptera frugiperda</i>	277
figura 9. Gota pendente para análise de tensão superficial.	29
figura 10. Gota séssil para mensuração de ângulo de contato.	300
figura 11. Amostra de tecido vegetal após homogeneização.	322
figura 12. Fluxograma da determinação e quantificação de tetraniliprole e seus metabólitos por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas.	33
figura 13. Tensão superficial aos 60s.	39
figura 14, ângulo de contato aos 60s	42
figura 15. Comparação da quantidade de tetraniliprole recuperada no cartucho com o baseline para <i>s. frugiperda</i>	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados nos experimentos	21
Tabela 2. Médias de tensão superficial para a calda de tetraniliprole mais adjuvantes e as taxas de aplicação..47.....	25
Tabela 3. Médias de ângulo de contato da gota para a calda de tetraniliprole mais adjuvantes e taxas de aplicação.....	48
Tabela 4. Tabela 4. Concentração média de tetranilipole e seu metabólito no tecido do cartucho do milho sete dias após a segunda aplicação na duplicata.....	41
Tabela 5. Porcentagem de plantas atacadas após a primeira aplicação no ensaio 01.....	47
Tabela 6. Porcentagem de plantas atacadas após a segunda aplicação no ensaio 01.....	48
Tabela 7. Porcentagem de plantas atacadas após a primeira aplicação no ensaio 02.....	53
Tabela 8. Porcentagem de plantas atacadas após a segunda aplicação no ensaio 02.....	55
Tabela 9. Médias da escala davis nas plantas atacadas observadas no experimento 1	52
Tabela 10. Médias da escala davis nas plantas atacadas observadas no experimento 2.....	53
Tabela 11. Dados de produtividade após ensaios de eficácia..55	
Tabela 12. Dados meteorológicos durante a condução dos experimentos.....	79
Tabela 13. Aplicações de manutenção da cultura durante o experimento 01.....	75
Tabela 14. Aplicações de manutenção da cultura durante o experimento 02.....	76
Tabela 15. Condições meteorológicas das aplicações durante o primeiro ensaio.....	77
Tabela 16. Condições meteorológicas das aplicações durante o primeiro ensaio.....	78
Tabela 17. Volumes de gota utilizados para a determinação da tensão superficial.....	79

RESUMO

BARBOSA, Daniel Passarelli Lupoli. **Taxas de aplicação e adjuvantes no controle da lagarta do cartucho no milho empregando drone de pulverização.** 2025. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2025. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5551>.

Os drones de pulverização representam uma ferramenta essencial e crescente na agricultura moderna, exigindo otimização para o manejo de pragas-chave como a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) na cultura do milho. Este estudo objetivou determinar o impacto de diferentes taxas de aplicação (10, 30 e 120 L ha⁻¹) e adjuvantes (Aureo®, Ochima® e Silwet L77®) na eficácia do inseticida sistêmico tetraniliprole em pulverizações realizadas por aeronaves remotamente pilotadas. Para isso, foram conduzidos dois experimentos de campo na safrinha de 2024, avaliando nível de infestação, severidade do dano e produtividade. Complementarmente, análises laboratoriais mediram tensão superficial, ângulo de contato e a quantificação do ingrediente ativo no tecido vegetal via HPLC/MS. Os resultados demonstraram que a aplicação por drones foi eficiente no controle inicial da praga no primeiro ensaio, refletindo em maior produtividade. A taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹ proporcionou as maiores concentrações de tetraniliprole no cartucho, sendo crucial para o controle eficaz. Verificou-se que a escolha do adjuvante é determinante: enquanto Aureo® e Ochima® favoreceram a absorção, o Silwet L77®, apesar de suas propriedades de super-espalhamento, levou à cristalização e menor disponibilidade do ativo. Embora o segundo experimento não tenha revelado diferenças significativas devido à baixa pressão da praga e alta pluviosidade, conclui-se que o ajuste da taxa de aplicação e a seleção adequada do adjuvante são imprescindíveis para otimizar a performance do inseticida e a eficiência operacional em aplicações com drones.

PALAVRAS-CHAVE: Tetraniliprole; Vayego®; Inseticida; Vazão; Tensoativo; Surfactante.

ABSTRACT

BARBOSA, Daniel Passarelli Lupoli. 2025. **Application rate and adjuvant positioning for *Spodoptera frugiperda* using spray drones**. 2025. 63p. Dissertation (Masters in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2025. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5551>.

Drones have proven to be essential tools, widely used for spraying annual and perennial crops across various contexts in Brazilian agriculture. Operational efficiency is a key factor in agricultural operations, guiding decision-making and often impacting the quality of chemical applications and pesticide performance. This study aimed to investigate how reducing the application rate (120, 30, and 10 L ha⁻¹) influences the control of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and how the use of different adjuvants (Aureo®, Ochima®, and Silwet L77®) affects the performance of applications using remotely piloted aircraft (RPAs). To this end, two field experiments were conducted during the 2024 off-season to analyze the interaction between these factors and their influence on the efficacy of the systemic insecticide tetraniliprole (Vayego®) for fall armyworm control and on crop yield. Additionally, laboratory analyses were performed to measure the surface tension and contact angle of droplets formed from the spray solutions. Samples were also collected from the whorls of treated plants to quantify the amount of active ingredient present in the target area. Fall armyworm control using drones showed significant differences beginning three days after the first application in terms of the percentage of infested plants, which ultimately impacted yield. After the second application, no significant differences in efficacy were observed among the treatments. Laboratory analyses revealed significant interaction between the evaluated factors, confirming the presence of surfactants in the commercial product formulation. No significant differences were observed between the adjuvants Aureo® and Ochima®, either when compared to each other or to the commercial product, provided that the critical micellar concentration (CMC) was reached. However, the surfactant properties were reduced as the spray volume increased. Silwet L77® exhibited greater surface activity, resulting in a lower droplet contact angle on the standard surface. Oil-based adjuvants showed intermediate surface tension and contact angle values, with combinations that led to higher absorption of the active ingredient. An application rate of 10 L ha⁻¹ resulted in higher concentrations of insecticide in the plant whorl, except for the treatment with Silwet L77®. No performance improvement was observed when increasing the application rate from 30 to 120 L ha⁻¹. These findings suggest that RPAs have strong potential as an effective method for insecticide application to control *S. frugiperda* and potentially other maize pests. Furthermore, the choice of adjuvant directly influences molecule absorption and control efficacy, highlighting the need for precise adjustments in drone-based applications.

KEYWORDS: Tetranilipole; Vayego®; Insecticide; Tensioactive; *Surfactant*.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho é um pilar fundamental da segurança alimentar global e do agronegócio brasileiro, com uma área cultivada de mais de 21 milhões de hectares anualmente. Sua versatilidade o posiciona como insumo vital não apenas para a alimentação humana e animal, mas também para diversas indústrias, desde biocombustíveis até a produção de amidos. Com uma crescente participação no mercado global e uma forte demanda interna, o Brasil se consolida como um dos maiores produtores e exportadores desse cereal estratégico, cuja sustentabilidade é intrinsecamente ligada à eficiência e à inovação em seu manejo agrícola.

Contudo, a produtividade do milho é constantemente ameaçada por desafios fitossanitários, dentre os quais a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), emerge como uma das mais devastadoras pragas polífagas em escala global. Presente durante todo o ano e com notável capacidade de adaptação, este lepidóptero causa perdas econômicas expressivas em múltiplos sistemas de cultivo, impondo ao Brasil um custo anual de controle que ultrapassa US\$ 600 milhões. A natureza da praga, que se abriga no interior do cartucho da planta, uma estrutura que a protege do contato direto com inseticidas, adiciona uma camada de complexidade ao seu manejo.

Para mitigar o impacto de *S. frugiperda*, diversas ferramentas de controle são empregadas, incluindo híbridos geneticamente modificados e a aplicação de produtos fitossanitários. No entanto, a constante pressão seletiva tem levado ao surgimento de populações com resistência a múltiplos genes de Bt e a diferentes classes de inseticidas. A subdosagem de ingrediente ativo, em particular, tem sido um fator crucial na aceleração desse processo de seleção de resistência. Nesse cenário, a tecnologia de aplicação emerge como um componente crítico e subestimado do manejo fitossanitário. Assegurar o posicionamento preciso da dose efetiva sobre o alvo é, portanto, fundamental não apenas para o sucesso imediato do controle, mas também para a gestão a longo prazo da resistência.

Neste contexto, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), ou drones agrícolas, têm se consolidado como uma inovação promissora na pulverização fitossanitária. Em comparação com métodos tradicionais, as RPAs oferecem vantagens operacionais e ambientais significativas, como maior segurança ao aplicador, flexibilidade em terrenos irregulares, otimização no uso de insumos e acessibilidade a pequenas e grandes propriedades. No entanto, o potencial pleno dessa tecnologia ainda é limitado por desafios relacionados à qualidade da aplicação, especialmente em volumes de calda reduzidos e na entrega eficiente do ingrediente ativo a alvos complexos e protegidos, como o cartucho do milho. A ciência, portanto, tem um

papel fundamental na busca por respostas que permitam aferir e aprimorar a eficiência dessas aplicações, estabelecendo diretrizes para seu uso otimizado e sustentável.

Para maximizar a eficiência das aplicações por RPAs, especialmente diante das particularidades da praga-alvo, a compreensão do papel dos adjuvantes e das taxas de aplicação torna-se imperativa. Adjuvantes são componentes cruciais das caldas de pulverização, capazes de modificar suas propriedades físico-químicas e, conseqüentemente, influenciar a deposição, o espalhamento e a absorção do ingrediente ativo. A sinergia entre a tecnologia de aplicação, a otimização do volume de aplicação e a seleção criteriosa de adjuvantes pode ser a chave para superar as barreiras de controle de pragas como a lagarta-do-cartucho e mitigar o desenvolvimento de resistência.

Diante desse cenário e da necessidade de otimizar as estratégias de manejo fitossanitário para o milho, o presente estudo objetivou determinar o impacto da taxa de aplicação de um inseticida aplicado por RPAs, com e sem diferentes adjuvantes, no manejo da lagarta-do-cartucho na cultura do milho, avaliando o efeito de diferentes caldas nas propriedades físico-químicas, a eficácia biológica e a disponibilidade do ingrediente ativo no alvo.

REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Cultura do milho

O Brasil figura como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de milho (*Zea mays* L.), impulsionado por avanços tecnológicos, condições climáticas favoráveis e a expansão das áreas cultivadas, especialmente no Cerrado. A produção nacional ultrapassou 130 milhões de toneladas na safra 2023/2024 (CONAB, 2024).

A distribuição geográfica da produção reflete a diversidade agrícola do país, com os estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás liderando o cultivo desse cereal. No cenário nacional, a segunda safra — popularmente conhecida como safrinha — consolidou-se, sendo semeada após a colheita da soja. Inicialmente pouco difundida devido às restrições impostas pelo inverno seco e pela maturação tardia do germoplasma da soja, essa prática foi gradualmente adotada (CARLOS et al., 2008), tornando-se hoje responsável por mais de 75% da produção total de milho no país (CONAB, 2024).

A capacidade de realizar duas safras anuais conferiu competitividade ao Brasil no mercado internacional (BALDÉ et al., 2011), e a crescente demanda global, principalmente da China e de outros mercados asiáticos, impulsionou as exportações brasileiras a patamares recordes (USDA, 2024). Estudos apontam que a vantagem competitiva do Brasil decorre dos baixos custos de produção e da flexibilidade proporcionada pelos sistemas de rotação de culturas (PEREIRA et al., 2012). Pesquisas da EMBRAPA também ressaltam o papel da semeadura direta e do manejo conservacionista do solo na sustentação da produtividade, especialmente em regiões propensas à seca (PEREIRA FILHO; DUARTE; CRUZ, 2021).

O constante avanço da fertilidade dos solos, somado à adoção de sementes transgênicas, à agricultura de precisão e ao manejo integrado de pragas, tem impulsionado um aumento expressivo nos índices de produtividade (CARLOS et al., 2008; PEREIRA FILHO; DUARTE; CRUZ, 2021).

1.2. Lagarta-do-cartucho

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma praga polífaga que ameaça a produtividade global, causando danos significativos a culturas como soja, milho, algodão, arroz, milheto, sorgo e cana-de-açúcar (SILVA et al., 2017; PAREDES-SÁNCHEZ et al., 2021; SUBRAMANIAN et al., 2021). No Brasil, sua presença contínua a torna uma praga-chave na cultura do milho, resultando em

redução do estande, diminuição da área foliar e danos diretos aos grãos (MICHELOTTO et al., 2011).

Estima-se que os agricultores brasileiros invistam anualmente cerca de US\$ 600 milhões no controle dessa praga, utilizando Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) e inseticidas (BURTET et al., 2017; FERREIRA FILHO et al., 2010; OVERTON et al., 2021). Essa situação enfatiza a urgência de estratégias de manejo integrado eficazes e sustentáveis para reduzir custos e impactos ambientais, especialmente no Brasil, onde práticas como a semeadura direta e a sucessão de cultivos atuam como "ponte verde", favorecendo a proliferação da praga (PEREIRA et al., 2012). Portanto, a compreensão do comportamento e da biologia da lagarta é crucial para desenvolver soluções que protejam as lavouras e assegurem a segurança alimentar e econômica.

O ciclo de vida da lagarta inicia-se com a deposição dos ovos pelas mariposas fêmeas nas folhas das plantas hospedeiras, geralmente em massas cobertas por uma camada protetora de escamas. O período de incubação é breve, de 2 a 3 dias em condições ideais (SILOTO; VENDRAMIN, 2002). Após a eclosão, as larvas iniciam a alimentação na planta; a duração da fase larval varia entre 12 e 21 dias, dependendo das condições ambientais (SILVA et al., 2017).

O estágio larval é o responsável pelo dano econômico, pois o tamanho e a voracidade das lagartas aumentam a cada ínstar (OVERTON et al., 2021). Ao atingir o terceiro ínstar, as larvas migram para dentro do cartucho, onde acessam os tecidos mais tenros da parte aérea (BESERRA; DIAS; PARRA, 2002). No cartucho, alimentam-se das folhas antes de sua expansão, causando não apenas redução da área foliar, mas também deformação da planta (TOEPFER et al., 2021). O hábito de se abrigar no cartucho, juntamente com a conformação dessa estrutura, dificulta o contato direto dos inseticidas com as lagartas, comprometendo seu controle (SHAN et al., 2022).

Em estádios reprodutivos, a lagarta pode também causar danos severos às espigas. Após completar o estágio larval, as lagartas empupam no solo por aproximadamente 8 a 9 dias, transformando-se em mariposas adultas (SILVA et al., 2012). As mariposas adultas, com hábito noturno e notável capacidade de voo, vivem entre 10 e 21 dias, período em que acasalam e depositam ovos, perpetuando o ciclo de vida (OVERTON et al., 2021; SILVA et al., 2017).

1.3. Controle químico

Tradicionalmente, o controle químico tem sido a principal estratégia no manejo da lagarta-do-cartucho. Até 19 de março de 2025, 289 produtos estavam registrados no Brasil para

o controle dessa praga na cultura do milho (AGROFIT, 2025). Conforme o Comitê de Ação à Resistência de Inseticidas Brasil (IRAC-BR), as moléculas empregadas abrangem diversos modos de ação, incluindo inibidores da acetilcolinesterase (Grupo 1), moduladores dos canais de sódio (Grupo 3), moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina (Grupo 4), moduladores alostéricos de canais de cloro mediados por glutamato (Grupo 6), desacopladores da fosforilação oxidativa via disrupção do gradiente de prótons (Grupo 13), inibidores da biossíntese de quitina (Grupo 15), bloqueadores de canais de sódio dependentes de voltagem (Grupo 22), moduladores de receptores de rianodina (Grupo 28), e moduladores alostéricos de canais de cloro mediados pelo GABA (Grupo 30) (SPARKS; NAUEN, 2015).

A eficácia desses agentes químicos, entretanto, pode variar significativamente em função de fatores como o ingrediente ativo, o nível de exposição, o método de pulverização e os níveis de resistência das populações da praga (CARVALHO et al., 2013). Para *Spodoptera frugiperda*, espécie de notável capacidade adaptativa e ampla distribuição geográfica, observa-se naturalmente uma variabilidade genética que confere diferentes graus de suscetibilidade aos inseticidas (OKUMA, 2022). Desde a década de 1970, estudos já reportavam populações de campo resistentes, com registros aos carbamatos (YOUNG; MCMILLIAN, 1979) e, posteriormente, a piretróides na Ásia (YU, 1992). No Brasil, foram relatados casos de resistência a seis grupos químicos: organofosforados e piretróides (CARVALHO et al., 2013); inibidores da biossíntese de quitina (NASCIMENTO et al., 2016); espinosinas (OKUMA et al., 2018); diamidas (BOAVENTURA et al., 2020); e avermectinas (MURARO et al., 2021).

Diante da crescente escassez de populações de insetos suscetíveis, aliada a um cenário global de demandas crescentes e legislações mais rigorosas em âmbitos social, econômico, ambiental e regulatório, o desenvolvimento de novas moléculas se tornou um processo oneroso e raro. Paralelamente, ferramentas já consolidadas tendem a ter seus registros cancelados (SPARKS; BRYANT, 2022). Dessa forma, torna-se premente a adoção de estratégias que otimizem o uso dos recursos atualmente disponíveis para o controle da lagarta-do-cartucho.

1.4. Controle biológico

No contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP), o controle biológico surge como uma ferramenta sustentável, empregando bioinsumos para reduzir a pressão de pragas e a dependência de produtos fitossanitários sintéticos (EILENBERG; HAJEK; LOMER, 2001). Conforme o Programa Nacional de Bioinsumos (MAPA, 2020), os agentes de controle

biológico são organismos de origem natural, multiplicados e/ou formulados industrialmente para reintrodução no ambiente, visando reduzir a atividade de organismos nocivos.

Os ativos biológicos são classificados em três categorias principais: macrobiológicos, que incluem organismos visíveis como predadores e parasitoides; microbiológicos, que englobam bactérias, fungos, vírus e nematoides entomopatogênicos; e extratos naturais, compostos sintetizados por microrganismos ou plantas (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020; PARRA et al., 2021). Até março de 2025, 85 produtos de controle biológico estavam registrados para a lagarta-do-cartucho no Brasil, independentemente da cultura. Desses, 13 eram agentes macrobiológicos, especificamente o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* (Riley), 7 produtos à base de fungos e 6 com nematoides. A maioria dos produtos registrados se enquadrava na categoria de extratos naturais e proteínas, com 38 contendo proteínas da bactéria *Bacillus thuringiensis* e 18 com proteínas virais. Além disso, há registros de extratos de *Azadirachta indica* (neem) como fitossanitários específicos para o controle de *S. frugiperda* no milho (AGROFIT, 2025).

1.5. Tecnologia de Aplicação

A aplicação de produtos fitossanitários em campo enfrenta diversos desafios relacionados à eficácia, ao impacto ambiental e à eficiência operacional (SHIRATSUCHI; FONTES, 2002). A seleção de resistência está diretamente associada, entre outros fatores, à aplicação de doses subdimensionadas de ingredientes ativos. Essa prática não apenas reduz a eficácia do controle, mas também favorece o desenvolvimento de resistência, ao não gerar pressão seletiva suficiente sobre indivíduos com diferentes taxas e tipos de mutações (CARVALHO et al., 2013; KULYE et al., 2021). Desse modo, a tecnologia de aplicação é fundamental tanto para garantir a eficácia do controle químico quanto para mitigar a seleção de resistência (MATUO, 1998; OKUMA, 2022; TAVARES et al., 2017).

O impacto ambiental da aplicação de insumos é inerente à atividade e exige cuidados rigorosos. Qualquer produto que não atinja o alvo, seja por deslocamento dentro da lavoura (endoderiva) ou para fora dela (exoderiva), representa desperdício. Adicionalmente, pode contaminar cultivos vizinhos, áreas de preservação e corpos d'água, além de afetar organismos não-alvo, como insetos benéficos e agentes de controle biológico (IOST FILHO et al., 2020). Fatores como velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura, características físico-químicas da calda e tipo de formulação influenciam diretamente os riscos de deriva (CARBONARI et al., 2022; CUNHA; SILVA, 2023; WANG et al., 2019). Além disso, a escolha

correta das pontas de pulverização e a calibração dos pulverizadores são cruciais para o sucesso da aplicação (DORNELLES et al., 2009).

Contudo, a adoção de boas práticas agrícolas ainda é insuficiente. Durante um programa de inspeção periódica de pulverizadores, Gandolfo et al. (2013) constataram que 97,8% das máquinas avaliadas apresentavam irregularidades no sistema de pulverização; destas, 14% estavam reguladas para superdosagem e 46,2% para subdosagem. Considerando que na safra 2023/24, no estado do Mato Grosso, cerca de R\$ 750,91 por hectare foram investidos em insumos que passaram pela barra de um pulverizador (IMEA, 2024), a implementação de práticas adequadas na tecnologia de aplicação representa, também, uma estratégia essencial para a otimização de custos na lavoura.

1.6. Aeronaves Remotamente Pilotadas na proteção de cultivos

A aplicação de produtos fitossanitários com aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) já é uma realidade consolidada na agricultura brasileira, que enfrenta desafios como a elevada pressão de pragas e doenças, custos de produção e a grande diversidade de condições edafoclimáticas. Inicialmente, os drones foram empregados em áreas de difícil acesso, como terrenos declivosos, alagados ou cultivos altos, onde o uso de maquinários tradicionais ou de mão de obra era limitado (ALVARENGA et al., 2023; SCHRÖDER; GONÇALVES BURKERT, 2023). Atualmente, contudo, realizam aplicações em área total, competindo diretamente com aviões agrícolas e pulverizadores terrestres.

As RPAs são comercializadas a valores significativamente menores comparados a outros equipamentos e vêm sendo utilizadas tanto em pequenas quanto em grandes propriedades. Oferecem agilidade, demandam menor custo com mão de obra, proporcionam maior flexibilidade e garantem mais segurança para o aplicador, destacando-se como a única modalidade em que o operador não entra na área aplicada (BASSETTO FILHO et al., 2021; IOST FILHO et al., 2020).

Apesar dessas vantagens, a qualidade das aplicações realizadas com RPAs ainda é pouco estudada (RICHARDSON; ROLANDO; KIMBERLEY, 2020). Limitações como curta duração das baterias, baixa capacidade dos tanques e faixa de aplicação reduzida são, frequentemente, contornadas pela adoção de taxas de aplicação menores (CUNHA; SILVA, 2023). Lan e Chen (2018) destacaram a necessidade de mais pesquisas sobre tecnologia de aplicação com drones, especialmente no que se refere à cobertura. Contudo, maior cobertura nem sempre se traduz em

maior eficácia; dependendo da sistemicidade dos produtos, a deposição pode ser mais relevante que a cobertura (LOPES et al., 2024).

Estudos demonstram essa variabilidade: Lu et al. (2021) observaram diferenças no controle de *S. frugiperda* com clorantraniliprole aplicado via RPAs em comparação com pulverizadores terrestres; Wang et al. (2019) obtiveram controle semelhante do pulgão-do-trigo (que ataca as panículas) usando drones (28 L ha⁻¹) e pulverização terrestre (475 L ha⁻¹); e Shan et al. (2022) relataram que volumes de 22,5 a 30 L ha⁻¹ por RPA proporcionaram maior controle da lagarta-do-cartucho com spinetoram, em comparação a 7,5 e 15 L ha⁻¹.

A aplicação de produtos de contato para alvos localizados abaixo do dossel pode ter sua eficiência potencializada pelo efeito *downwash* (TESKE; WACHSPRESS; THISTLE, 2018). Esse efeito é gerado pelo fluxo de ar das hélices das RPAs, que impulsiona as gotas, promovendo a abertura da folhagem e maior penetração no dossel (RICHARDSON; ROLANDO; KIMBERLEY, 2020). Entretanto, Wen et al. (2019) constataram que o carregamento vertical das gotas é inversamente proporcional à velocidade do drone, sendo 3 m s⁻¹ o limite para o aproveitamento do *downwash*. Velocidades maiores induzem o chamado "efeito ferradura", onde os vórtices dos rotores, somados à inclinação do drone, fazem com que parte das gotas seja impulsionada para cima, aumentando o risco de deriva.

Outro fator crítico é o uso de gotas muito pequenas, que, na tentativa de aumentar o recobrimento, também elevam o potencial de deriva (CHEN et al., 2022). RPAs equipadas com pontas hidráulicas demandam ajustes precisos, pois a operação com baixas taxas de aplicação e pontas de orifício maior compromete a cobertura, enquanto pontas de orifício menor produzem elevada proporção de gotas deriváveis (<100 µm) (CRYER et al., 2021; WEICAI; PANYANG, 2023).

Além disso, as bombas dos drones, devido às limitações de peso e energia, muitas vezes não conseguem gerar pressão suficiente para abrir adequadamente o leque ou alcançar o espectro de gotas especificado pelos fabricantes. Em situações de orifício muito pequeno e calda muito concentrada, o risco de entupimento também aumenta (VONG; LARBI, 2021). Para mitigar esses desafios, surgiram os atomizadores de disco rotativo. Neles, a calda é distribuída sobre uma placa giratória que, por força centrífuga, gera a pulverização (CHEN et al., 2024).

Quanto maior a rotação, menores são as gotas. Gong et al. (2019) relataram ainda uma possível quebra secundária das gotas, decorrente da fricção com o ar de alta velocidade abaixo dos rotores, fenômeno similar ao observado na aviação agrícola. Todavia, essa segunda quebra não foi confirmada por outros estudos (YANG et al., 2023). Esses mesmos autores observaram

que, até 550 mL min⁻¹ de calda e rotações entre 5.000 e 15.000 rpm, a amplitude relativa (Span) dos espectros de gotas produzidas pelos atomizadores manteve-se abaixo de 0,82.

Em contrapartida, o menor Span registrado para pontas hidráulicas foi 1,21, comprovando a maior uniformidade da atomização rotativa em aplicações de baixo volume (CUNHA; BUENO; FERREIRA, 2010). Adicionalmente, a facilidade em alterar parâmetros durante a operação, a praticamente inexistente possibilidade de entupimento e a ausência de pontas explicam por que os modelos mais recentes de RPAs já vêm equipados, de fábrica, com atomizadores de disco rotativo (CHEN et al., 2024; OZKAN, 2024).

1.7. Taxa de Aplicação

A taxa de aplicação, definida como a quantidade de calda (diluyente + produtos), é um fator determinante para a eficiência operacional e eficácia biológica da pulverização. Maiores volumes de calda implicam maior frequência de reabastecimento, uma etapa que envolve deslocamento, manobra e tempo de incorporação da calda (CORNAGO JUNIOR, 2020). Essa eficiência operacional se traduz diretamente em eficiência econômica. Por esse motivo, uma tendência de redução nas taxas de aplicação tem sido observada há bastante tempo (CUNHA; REIS; SANTOS, 2006; WANG et al., 2019).

Com exceção da região Sul do país, volumes de calda reduzidos (< 50 L ha⁻¹ em aplicações terrestres; < 30 L ha⁻¹ ou ultra-baixos volumes (< 5 L ha⁻¹) em aplicações aéreas) tornaram-se padrão para muitos prestadores de serviço e produtores, como evidenciado pela prática de quatro dos cinco campeões do Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) na safra 2023/2024 (CESB, 2024; MIRANDA et al., 2008). Contudo, apesar do apelo econômico, essa redução no volume de água contrasta com o consenso da literatura (CUNHA; REIS; SANTOS, 2006; ROEHRIG et al., 2018). De modo geral, observa-se uma relação direta entre o aumento do volume de calda e a cobertura foliar, pois volumes maiores elevam a probabilidade de atingir o alvo e permitem o emprego de gotas maiores, com menor potencial de deriva. Nesse sentido, Cunha et al. (2006) ressaltam a importância do conhecimento em tecnologia de aplicação e da busca por alternativas para superar esse impasse técnico.

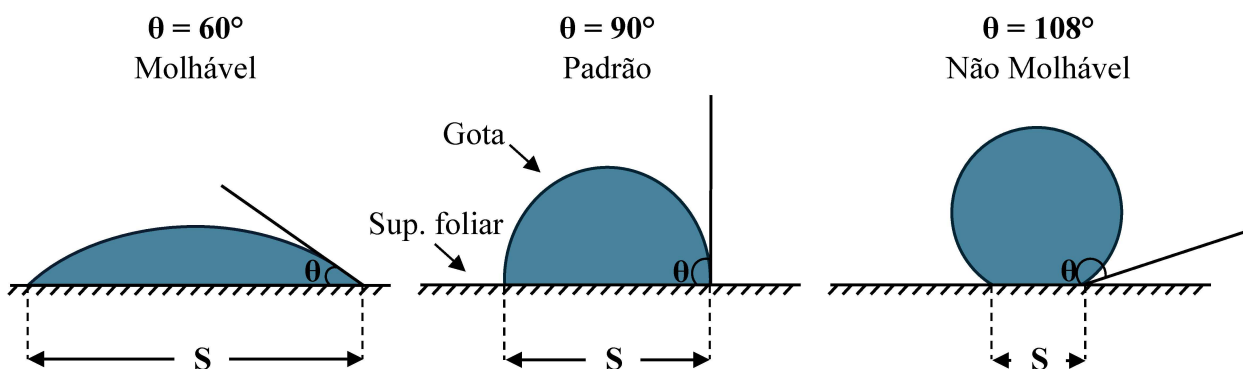
1.8. Adjuvantes

Dentre as estratégias para aumentar a eficiência das aplicações, destaca-se o uso de adjuvantes. Esses aditivos modificam as características físico-químicas das caldas, aprimorando sua aplicação e eficácia (ZHANG et al., 2013). Segundo Young et al. (2016), existem 20

categorias de adjuvantes, com funções que abrangem desde surfactantes, redutores de pH, condicionadores de água e antiespumantes até redutores de deriva.

Este estudo foca nos **surfactantes** (tensoativos), que são empregados na agricultura principalmente por sua capacidade de reduzir a tensão superficial e o ângulo de contato da gota com a superfície (MILLER; WESTRA, 1996; XU et al., 2010). Essa função é crucial para transpor a barreira física que as folhas das plantas, frequentemente com cutícula cerosa ou pilosidade, impõem à deposição, retenção e absorção dos produtos. A baixa afinidade com a água, devido à composição apolar da cutícula, faz com que gotas sem adjuvante, resultantes das forças de atração e coesão, formem esferas sobre a superfície foliar, reduzindo sua área de contato. Por exemplo, folhas de milho exibem caráter hidrofóbico, com ângulo de contato evidenciado em 108° (MELO et al., 2019), o que visualmente se traduz em um comportamento não-molhável (Figura 1).

Figura 1. Esquematização do comportamento da gota com a folha, formando o ângulo contato (θ) e superfície de molhamento (S).



Fonte: Adaptado de Melo et al., (2019); Xu et al., (2010) e Yuan & Lee (2013)

Os tensoativos podem ser classificados em:

- Surfactantes não-iônicos: Compostos por álcoois lineares ou nonil-fenólicos e/ou ácidos graxos, reduzem a tensão superficial e melhoram a dispersão, aderência e absorção dos ativos.
- Concentrados de óleo mineral: Consistem em uma mistura de óleo à base de parafina e surfactantes, atuando na redução da tensão superficial e na melhoria da absorção e dispersão na superfície foliar.

- Organossiliconados: Geralmente misturas de silicone e surfactantes, proporcionam uma redução significativa da tensão superficial, caracterizada por um altíssimo grau de espalhamento.
- Óleos de sementes esterificados: Produzidos pela reação de ácidos graxos de óleos de sementes (milho, soja, girassol, canola) com um álcool para formar ésteres. Combinados com surfactantes/emulsificantes, reduzem a tensão superficial e otimizam a absorção do ingrediente ativo, facilitando sua distribuição na superfície das folhas.

É fundamental considerar que as características da superfície foliar, como a composição cristalina da cutícula e a higroscopicidade, podem variar conforme o material genético e a nutrição da planta (HENNINGSEN et al., 2023). Consequentemente, os valores de ângulo de contato obtidos por Melo et al. (2019) podem não ser universalmente aplicáveis a todos os híbridos de milho. Dessa forma, o uso de tensoativos na aplicação de pesticidas nessa cultura é imprescindível para assegurar o desempenho dos princípios ativos, mesmo em folhas hidrofóbicas e sob menores taxas de aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

1.9. Descrição da área experimental

O trabalho foi conduzido durante a segunda safra de 2024 na Fazenda Quatro Marcos, localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (latitude 18°56'47" S, longitude 48°09'29" O), a 920 m de altitude, em área de topografia plana. Previamente, o local abrigou a cultura de soja, dessecada e triturada no estádio R5, 20 dias antes do plantio do primeiro ensaio.

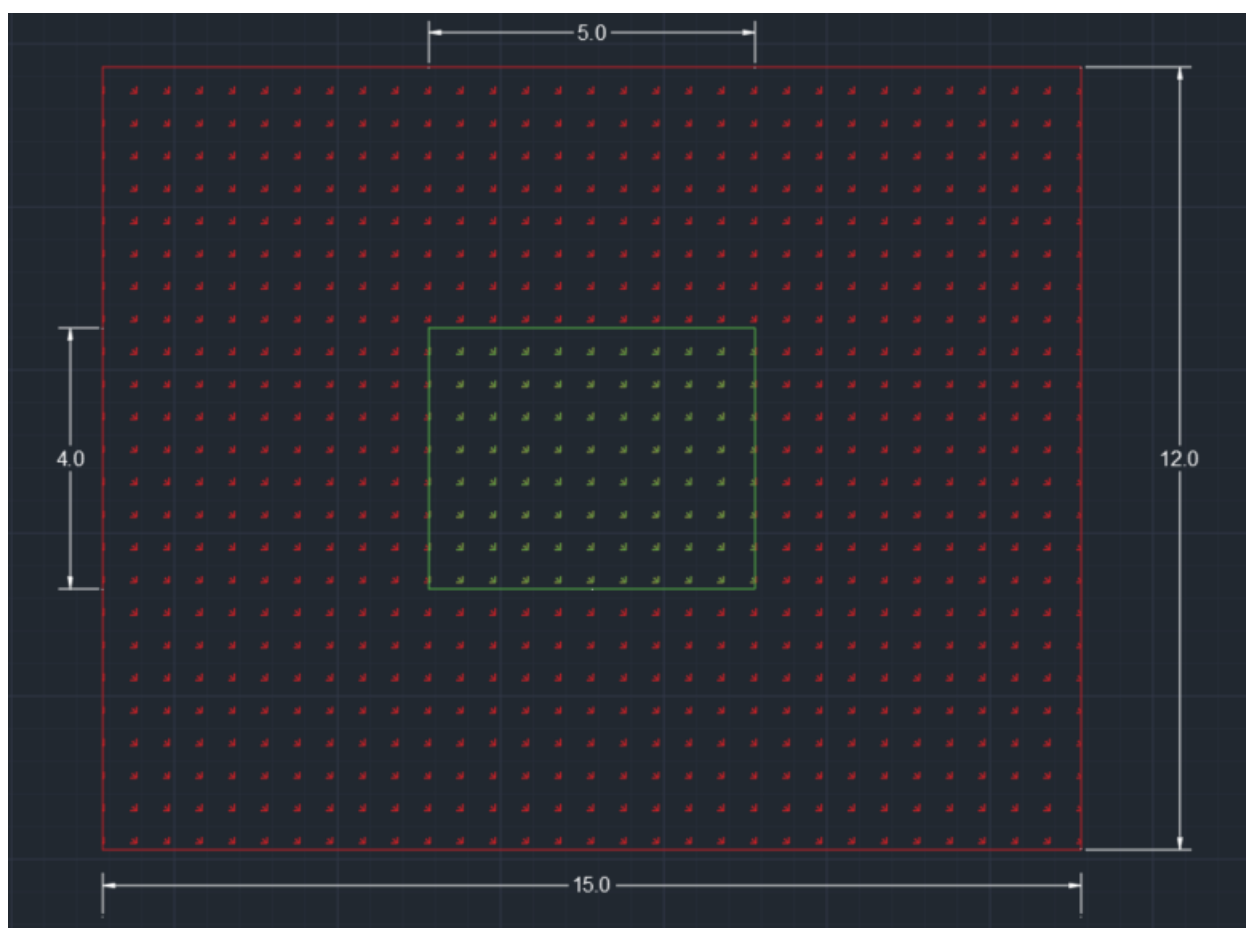
A região apresenta clima Aw, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso (KOTTEK et al., 2006). A média anual de precipitação é de 1.507 mm e a temperatura média é de 22,6 °C (PETRUCCI, 2018). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA SOLOS, 2018).

A adubação da cultura foi realizada em três etapas, considerando os teores nutricionais do solo e as exigências do milho. Na semeadura, aplicou-se 300 kg ha⁻¹ de NPK (formulação 08-28-16) no sulco de plantio. A primeira cobertura, com 150 kg ha⁻¹ de NPK (20-05-20), ocorreu na transição dos estádios fenológicos V2 para V3. A segunda cobertura, utilizando 200 kg ha⁻¹

de ureia protegida (46-00-00), foi feita 15 dias após a primeira. O híbrido de milho utilizado foi o RM3500 (Bayer S.A., Brasil), selecionado por sua ausência de eventos transgênicos com *Bacillus thuringiensis*, o que evitaria interferência no desenvolvimento das lagartas, e por seu bom desempenho nas condições do Triângulo Mineiro. O ensaio foi conduzido em duplicata para atender aos preceitos da experimentação agrícola e permitir inferências mais conclusivas.

A instalação do primeiro experimento ocorreu em 22 de janeiro de 2024, e a da duplicata, em 19 de fevereiro de 2024. A semeadura buscou uma população de 60.000 plantas por hectare, com espaçamento de 0,50 m entre linhas. Os dois ensaios de campo seguiram um delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial $4 \times 3 + 1$, totalizando 13 tratamentos com quatro repetições. A área total de cada ensaio foi de 9.540 m², com cada parcela medindo 15 × 12 m e a parcela útil 5 × 4 m (Figura 2).

Figura 2. Dimensões da parcela experimental (m).



Em vermelho, área de bordadura, em verde, área útil da parcela.

As distâncias de aceleração e desaceleração da Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) foram consideradas para assegurar que a área útil fosse sobrevoada com velocidade e taxa de

aplicação constantes (GONG; FAN; PENG, 2019). Os blocos foram dispostos no sentido da semeadura para minimizar variações na plantabilidade.

Antes e depois da instalação dos ensaios, a cultura foi mantida livre de outras pragas utilizando inseticidas que não pertencem ao grupo químico das diamidas (Anexos II e III). As aplicações foram realizadas quando o nível de dano econômico, definido como 10% de plantas atacadas, era atingido. Para isso, adotou-se a metodologia de monitoramento da lagarta-do-cartucho proposta por Rosa et al. (2010), baseada na avaliação visual de desfolha de 25 plantas por parcela. Danos iniciais, como raspagens e perfurações nas folhas, foram considerados para a avaliação. As aplicações dos tratamentos eram iniciadas quando a média total de plantas atacadas em todas as parcelas superava 2,5.

1.10. Descrição dos tratamentos

O estudo avaliou dois fatores principais: o primeiro consistiu na calda inseticida contendo Tetraniliprole (Te) (Vayego®, Bayer S.A., Brasil) na dose de 250 mL ha⁻¹ do produto comercial, com ou sem a adição dos adjuvantes Aureo® (Au) (Bayer S.A., Brasil), Silwet L-77® (Si) (Momentive, EUA) e Ochima® (Oc) (Syngenta Proteção de Cultivos Ltda., Brasil). O segundo fator foram as três taxas de aplicação: 10, 30 e 120 L ha⁻¹. Todos os tratamentos foram realizados com o auxílio de uma RPA, e um tratamento controle não recebeu aplicação. As doses dos adjuvantes foram calculadas conforme as recomendações dos fabricantes em suas bulas (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados nos experimentos

Tratamento	Calda	Dose do adjuvante	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)
C1		¹ Testemunha sem aplicação	
C2	² Te+Au	0,5% (v/v)	10
C3	³ Te+Si	0,05% (v/v)	10
C4	⁴ Te+Oc	250 mL ha ⁻¹	10
C5	⁵ Te	-	10
C6	⁶ Te+Au	0,5% (v/v)	30
C7	⁷ Te+Si	0,05% (v/v)	30
C8	⁸ Te+Oc	250 mL ha ⁻¹	30
C9	⁹ Te	-	30

C10	¹⁰ Te+Au	0,5% (v/v)	120
C11	¹¹ Te+Si	0,05% (v/v)	120
C12	¹² Te+Oc	250 mL ha ⁻¹	120
C13	¹³ Te	-	120

¹Testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

1.11. Descrição da aplicação

As aplicações foram realizadas em dois momentos: a primeira (A) no estádio V10, quando o nível de infestação alcançou 10% das plantas, e a segunda (B) sete dias depois. Ambas foram efetuadas com um quadricóptero RPA modelo P-40 (Xtreme Agriculture, China), com capacidade volumétrica de 20 litros. Este equipamento possui dois atomizadores de disco rotativo (Figura 3), que empregam força centrífuga para a formação de gotas, e um sistema de correção espacial por Real Time Kinematic (RTK).

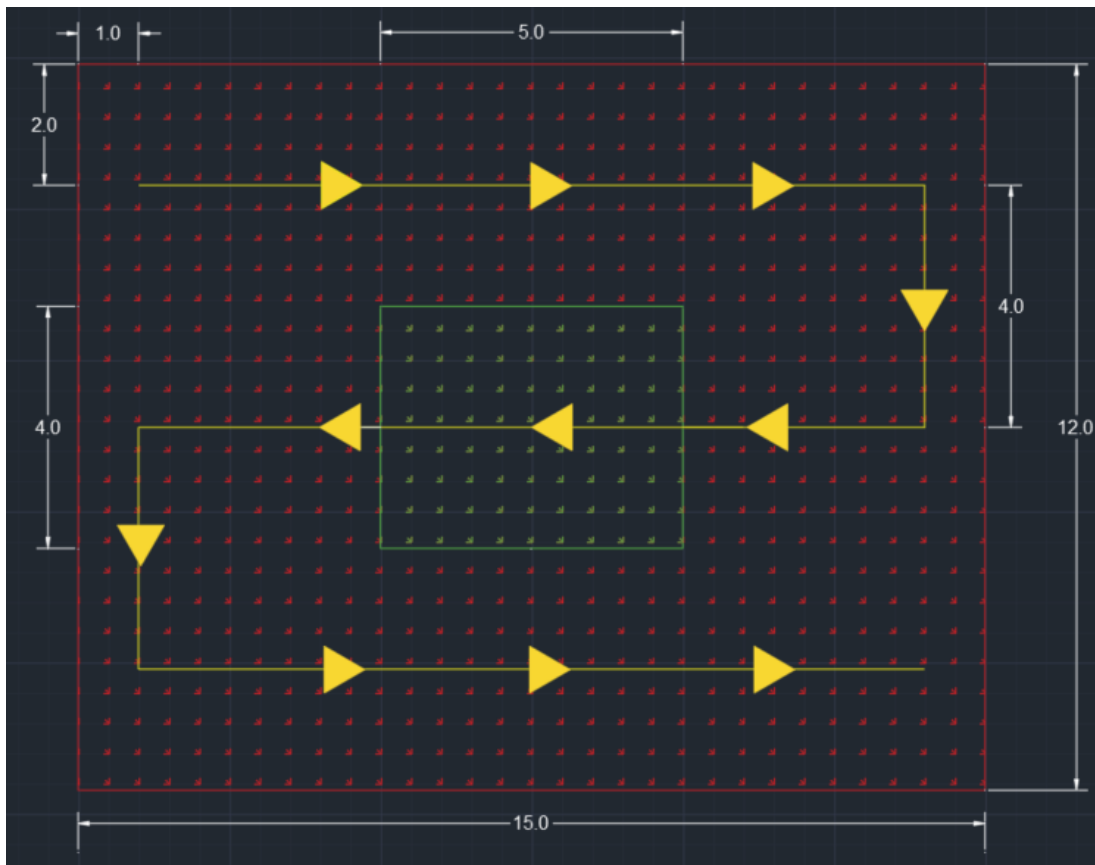
Figura 3. Modelo de Atomizador Rotativo utilizado no experimento



A configuração dos atomizadores foi ajustada via rádio-controle para obter um Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV) de 200 µm, um tamanho considerado médio pela norma S572.3 (ANSI/ASABE, 2020). Os voos sobre cada parcela seguiram o sistema back-to-back, com três sobrevoos por parcela e uma faixa útil de aplicação de 4 metros, definida pelas

condições meteorológicas e operacionais (Figura 4). As parcelas e a orientação de voo da RPA durante as aplicações mantiveram a orientação do plantio, que era a 128° N.

Figura 4. Esquematisação do plano de voo sobre cada parcela.



Em vermelho, área de bordadura. Em verde, a parcela útil. E, em amarelo, o deslocamento do RPA.

As aplicações foram executadas em ordem decrescente de taxa, com o intuito de minimizar a contaminação do sistema de pulverização. A única variável alterada na taxa de aplicação foi a vazão da bomba peristáltica. Antes de cada aplicação, o tanque, o sistema hidráulico e os atomizadores foram descontaminados, e as duas bombas peristálticas foram calibradas automaticamente com água pura.

Além do DMV de 200 μm , a altura de voo adotada foi de 4 m acima do dossel da cultura e a velocidade de trabalho de 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, conforme recomendado por Wen et al. (2019). A taxa de aplicação variou de acordo com cada tratamento, e a distância entre passadas foi determinada com base na faixa efetiva de deposição obtida nas condições específicas do estudo.

As condições meteorológicas foram monitoradas por uma estação meteorológica modelo Valley 365 (Valley Irrigation, Nebraska, Estados Unidos) e um termo-higro-anemômetro LM8000 (Lutron Instruments, Taiwan). Durante o Experimento 01, a temperatura variou entre 23,4 e 27,3 °C, a umidade relativa do ar entre 55,7% e 81,4%, e a velocidade do vento entre 2,8

e $8,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. A primeira aplicação (A) deste ensaio demandou 119 minutos, o que levou a uma variação significativa na direção do vento, entre 339° e 47° . Na segunda aplicação (B), a direção do vento variou entre 16° e 54° em relação às linhas de plantio, sendo realizada dentro de 108 minutos.

No segundo experimento, a temperatura oscilou entre $18,6$ e $25,9^\circ \text{C}$, a umidade relativa do ar entre $58,6\%$ e $86,5\%$, e a velocidade do vento entre $1,3$ e $6,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Notou-se que a direção do vento variou entre 54° e 144°N . As aplicações A e B desse experimento duraram, respectivamente, 80 e 102 minutos.

1.12. Faixa efetiva de deposição

Assim como as aeronaves agrícolas, as RPAs exibem um perfil de deposição de gotas em formato triangular, com a maior deposição ocorrendo diretamente sob a aeronave e diminuindo gradualmente com o aumento da distância lateral. Embora os comandos do drone permitam configurar a "faixa de aplicação", esta configuração na prática apenas ajusta a distância entre passadas consecutivas, sem alterar os parâmetros físicos da pulverização ou a capacidade das gotas de alcançar maior distância lateral.

A definição imprecisa dessa distância compromete diretamente a eficiência operacional, pois afeta a distância total percorrida, o número de manobras e, conseqüentemente, a frequência de paradas para troca de baterias. Uma distância excessiva entre passadas resulta em sobreposição lateral insuficiente, levando à subdosagem. No campo, esse problema se manifesta visualmente por faixas na lavoura com controle reduzido, devido à deficiência na deposição.

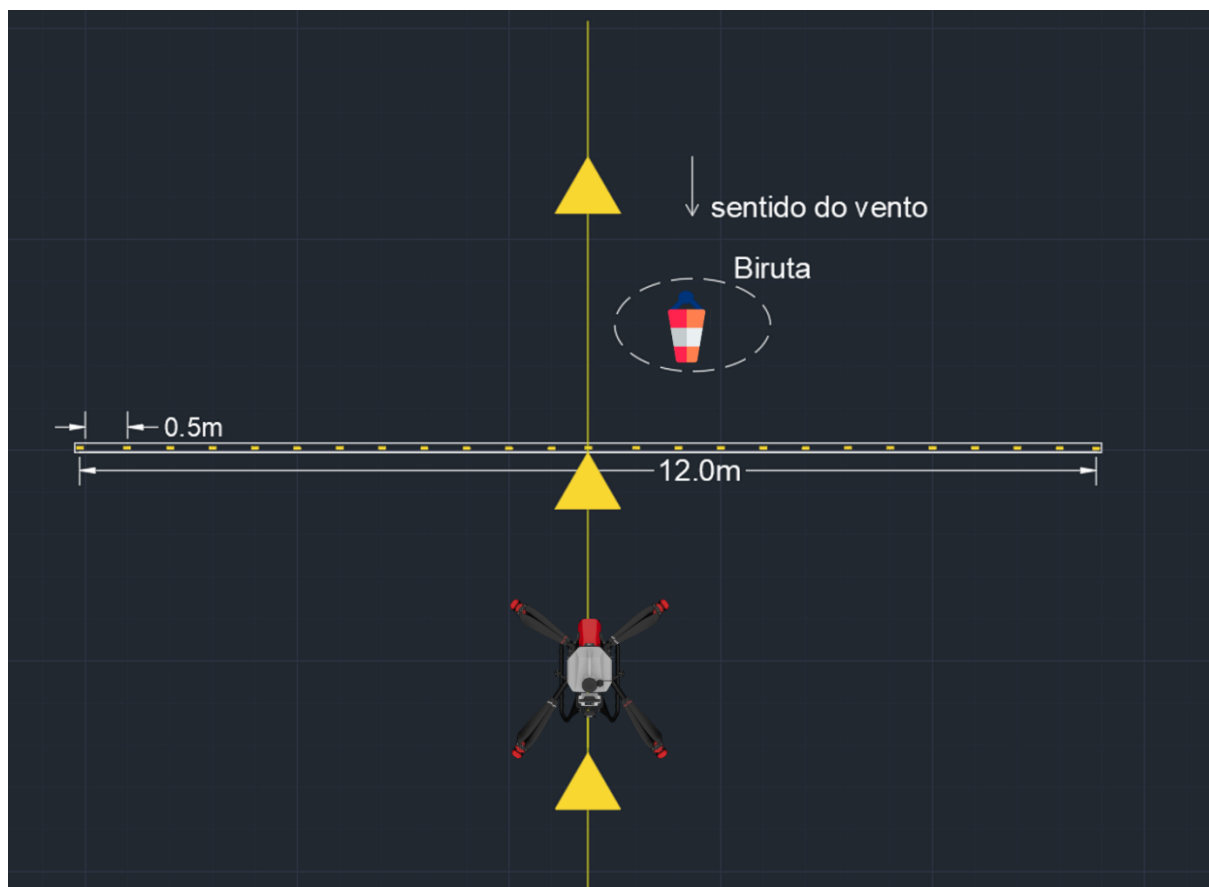
A faixa efetiva de deposição, conforme a ASAE (2018), é definida como a maior distância entre passadas que proporciona o menor coeficiente de variação aceitável, buscando o equilíbrio ideal entre rendimento operacional e uniformidade da aplicação.

Para determinar essa faixa, antes da condução dos ensaios, utilizou-se a metodologia descrita por Carvalho e Cunha (2019), com o objetivo de alcançar um coeficiente de variação próximo a 10% na distribuição horizontal do volume de calda. Para essa avaliação, 25 coletores foram posicionados a cada 50 cm, perpendicularmente ao sentido de voo da aeronave. Os voos foram realizados contra o vento (vento de proa), adotando a estratégia de deslocamento back-to-back.

Diferentes sobreposições entre passadas foram simuladas com o auxílio do software Adulânço® (GMAP-ESALQ, Brasil). Em cada coletor, fixaram-se papéis hidrossensíveis de $76 \times 26 \text{ mm}$ (Syngenta, Suíça). Após a coleta, os papéis foram analisados com o equipamento

DropScope® (SprayX, Brasil) para quantificar o número de impactos por centímetro quadrado (Figura 5).

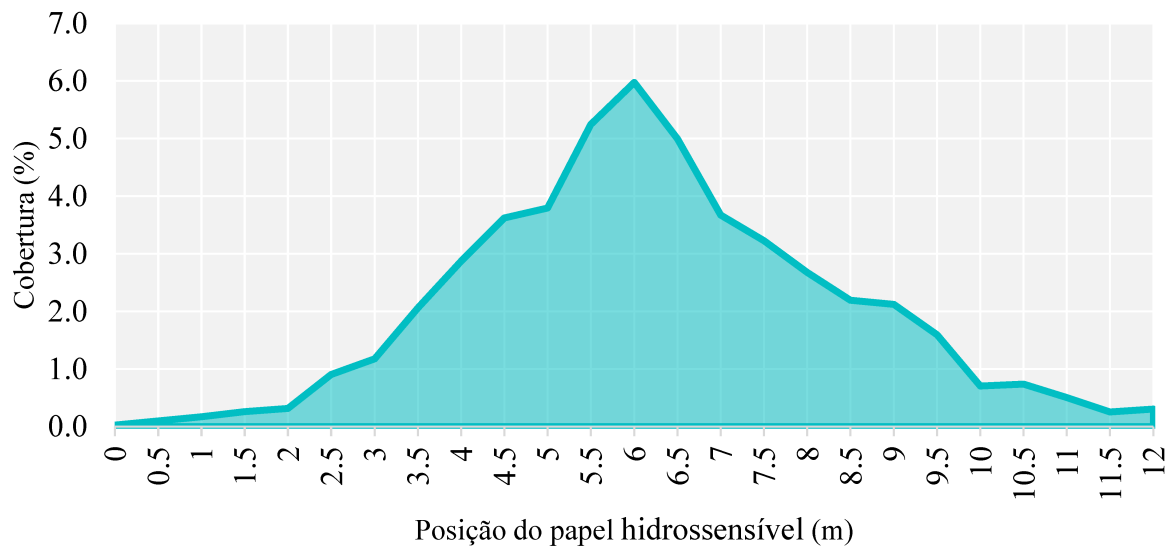
Figura 5. Esquematização da área experimental para determinação da faixa de deposição efetiva.



Os retângulos amarelos representam os papéis hidrossensíveis e a linha em amarelo a direção de voo do drone.

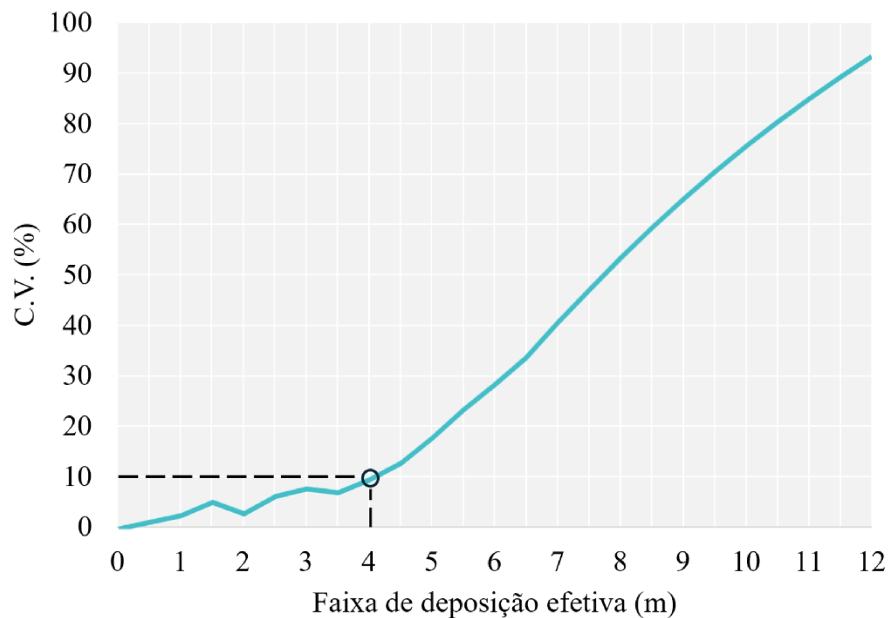
A operação foi conduzida com altura de voo de 4,0 m, DMV programado de 200 μm , velocidade de trabalho de 3 m s^{-1} e taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} . Nas três repetições, a velocidade do vento variou entre 3,0 e 6,0 m s^{-1} , a temperatura entre 24,7 e 26,4 $^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar entre 71,0 e 65,4%. Com base nas médias de deposição em cada papel hidrossensível, estabeleceu-se o perfil de deposição do drone para esses parâmetros (Figura 6).

Figura 6. Perfil de distribuição da cobertura ao longo da faixa de captação.



Ademais, sobreposições matemáticas desse perfil de deposição foram realizadas em distâncias crescentes para estimar a maior distância entre passadas que resultaria no coeficiente de variação desejado. Dessa forma, determinou-se que a faixa efetiva de deposição da RPA, com esses parâmetros de aplicação e deslocamento, foi de 4m (Figura 7).

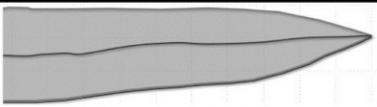
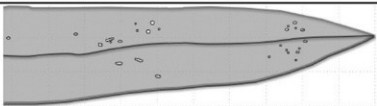
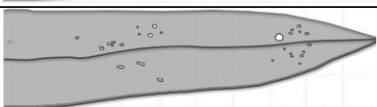
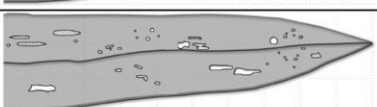
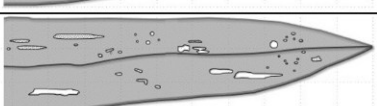
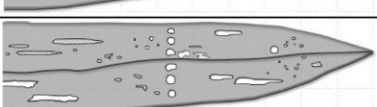
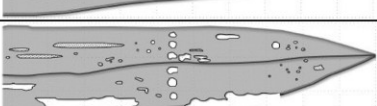
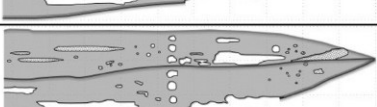

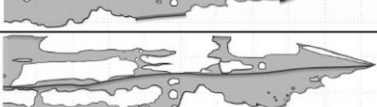
Figura 7. Determinação da faixa efetiva de deposição.



1.13. Amostragem e monitoramento

Para a avaliação dos danos em campo, as análises foram realizadas aos 3, 7, 10 e 14 dias após a primeira aplicação, examinando 25 plantas por parcela útil. Avaliou-se a incidência de plantas com danos no cartucho e a severidade, empregando a escala visual de danos adaptada de Davis et al. (1992). Esta escala varia de 0 a 9 e, segundo Toepfer et al. (2021), integra informações sobre severidade e frequência do ataque das lagartas diretamente no cartucho do milho, que é o local preferencial para sua alimentação e desenvolvimento. Assim, foram considerados apenas os danos recentes, que se relacionam diretamente com o efeito – ou a ausência de efeito – do controle (Figura 8).

Figura 8. Escala de severidade de danos de *Spodoptera frugiperda*.

Nota	Descrição	Esquema
0	Planta sem dano	
1	Presença de pontoações	
2	Presença de pontoações e lesões circulares pequenas	
3	Presença de lesões levemente alongadas (até 1,5 cm)	
4	Presença de lesões alongadas (entre 1,5 cm e 3,0 cm)	
5	Presença de lesões alongadas acima 3,0 cm e surgimento de perfurações	
6	Presença de lesões alongadas acima 3,0 cm e perfurações acima de 1,5 cm	
7	Presença de lesões alongadas acima 3,5 cm e múltiplas perfurações acima de 1,5 cm	
8	Presença de múltiplas lesões alongadas de todos os tamanhos e múltiplas perfurações acima de 3 cm	
9	Folhas do cartucho e próximas a ele destruídas	

Fonte: Adaptado de Davis et al., (1992) e Toepfer et al., (2021).

A nota 0 foi atribuída às plantas sem ataque. As notas 1 e 2 indicam danos iniciais da lagarta. Nesse estágio, as larvas, ao eclodirem, possuem aparelho bucal mastigador ainda pouco desenvolvido, o que as leva a causar predominantemente raspagens no tecido foliar, resultando na formação de lesões características em "janela". Segundo Rosa (2011), este nível de dano é considerado ideal para a intervenção no controle de *Spodoptera frugiperda*.

À medida que as lagartas progridem para o terceiro ínstar, observa-se o alongamento das lesões, sendo atribuída a nota 3. A nota 4 é designada quando as lesões são numerosas e ultrapassam 1,5 cm. A nota 5 caracteriza o início das perfurações no tecido foliar. As notas 6, 7 e 8 representam graus progressivos de severidade, com aumento na quantidade e tamanho das lesões e perfurações. Finalmente, a nota 9 é dada quando as folhas do cartucho se apresentam severamente deformadas e destruídas devido à intensidade do ataque.

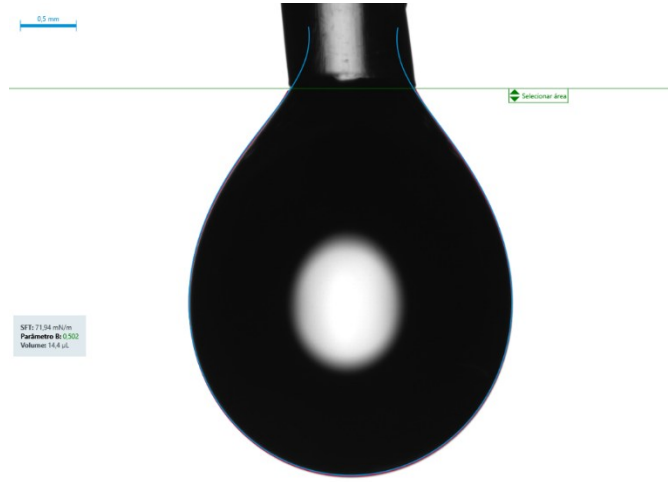
As análises de nível de infestação foram categorizadas em três grupos: plantas não atacadas (Davis = 0), plantas com ataque inicial e dentro da janela de controle (Davis 1 e 2), e plantas severamente atacadas com lagartas desenvolvidas e acima do estágio de controle (Davis ≥ 3).

1.14. Tensão superficial

As análises de tensão superficial foram conduzidas em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×3 , com um tratamento adicional. As caldas foram preparadas no mesmo dia das análises, utilizando água destilada como diluente. Todas as medições foram realizadas com cinco repetições.

A determinação da tensão superficial (γ) foi realizada pelo método da gota pendente (MGP), utilizando o viscosímetro Drop Shape Analyzer® (DSA30, KRÜSS, Alemanha), que processa imagens para a obtenção dos dados (Figura 9).

Figura 9. Gota pendente para análise de tensão superficial.



Para isso, formaram-se gotas com volume suficiente para permanecerem aderidas à ponta da agulha, sem se desprenderem. O volume foi ajustado de acordo com a densidade da calda em cada tratamento e mantido constante ao longo das cinco repetições, realizadas durante 60 segundos cada (ANEXO V). Para todas as medições, utilizou-se uma agulha de 1,83 mm de diâmetro (CARDOSO et al., 2022; SUBR et al., 2020).

O equipamento captura imagens da gota pendente aderida à ponta da agulha de emissão da calda. Essas imagens são processadas por meio da digitalização do perfil da gota e do diâmetro da agulha. Com base na análise da curvatura da gota, considerando sua assimetria nos eixos vertical e horizontal, os dados são aplicados na Equação de Young-Laplace, que permite calcular a tensão superficial (CHENG et al., 1990; FERREIRA et al., 2013), (Equação 1).

$$\Delta P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

Onde ΔP representa a diferença de pressão capilar, γ a tensão interfacial líquido-ar (tensão superficial), R_1 o raio inicial e R_2 o raio final de curvatura. Assim, a diferença de pressão é função linear do comprimento da gota (Equação 2).

$$\Delta P = \Delta P^0 + (\Delta \rho)gz \quad (2)$$

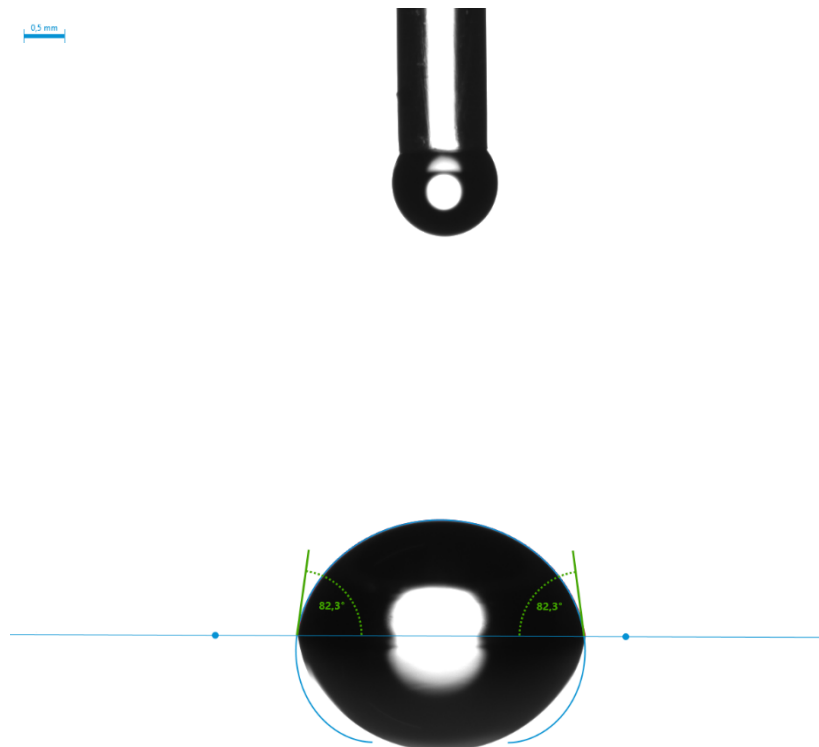
Onde ΔP^0 é a diferença de pressão no nível de referência, $\Delta\rho$ é a diferença de densidade entre as fases, g é a força gravitacional e z é a distância vertical da extremidade da gota ao plano de referência. Em seguida, o software então iguala as equações 1 e 2 para extrair os valores de tensão superficial (γ) (HOORFAR; NEUMANN, 2006).

1.15. Ângulo de contato

As caldas foram preparadas conforme a tabela 1 e utilizando água destilada como diluente, seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial $4 \times 3 + 1$, com todas as medições repetidas cinco vezes.

As medições dos ângulos de contato (θ) foram realizadas com um viscosímetro Drop Shape Analyzer® (DSA30, KRÜSS, Alemanha). A captura, o processamento de imagens e os cálculos seguiram os mesmos princípios da determinação da tensão superficial. No entanto, esta análise focou no comportamento da gota sobre a superfície, empregando a metodologia da gota séssil (MGS), que consiste na deposição de uma gota de 15 μL sobre uma superfície horizontal padrão Parafilm® (Parafilm M, EUA) (Figura 10).

Figura 10. Gota séssil para mensuração de ângulo de contato.



A escolha do material plástico, Parafilm®, permitiu maior padronização nas análises, dado que existem diferenças na pilosidade e na composição cristalina da cutícula das folhas abaxiais e adaxiais da cultura do milho. Além disso, a higroscopicidade é influenciada pelo material genético e pela nutrição (HENNINGSEN et al., 2023). Essa abordagem se alinha com Melo et al. (2019), que verificaram valores absolutos e tendências semelhantes de comportamento do ângulo de contato para os mesmos adjuvantes em folhas de milho. Cada tratamento foi monitorado por 60 segundos, com observações a cada cinco segundos para avaliar a evolução do espalhamento de cada amostra (SUBR et al., 2020).

1.16. Quantificação de Tetraniliprole no Tecido Vegetal

Dada a localização da praga no cartucho da planta de milho, quantificar o produto nessa estrutura foi considerado essencial para o controle efetivo do inseto. Em função dos custos para sua realização, a análise foi realizada somente sete dias após a segunda aplicação (B) do segundo ensaio, coletando-se aleatoriamente folhas dos cartuchos de 12 plantas por parcela.

A fim de evitar contaminação cruzada, as luvas e o canivete foram lavados com água e álcool entre cada coleta. As parcelas onde houve aplicação de inseticida foram amostradas após as parcelas não aplicadas. Posteriormente, as folhas foram acondicionadas em sacos plásticos duplos, congeladas em menos de 24 horas e armazenadas em ultra-freezer a -80 °C, sendo então enviadas para o laboratório.

Após a recepção e triagem, o material passou por um processo de homogeneização, que incluiu a adição de nitrogênio líquido, maceração e agitação constante da amostra. Decorridos 5 minutos, 20 g de cada amostra foram pesados e acondicionados a -80 °C em frascos plásticos livres de contaminantes (Figura 11).

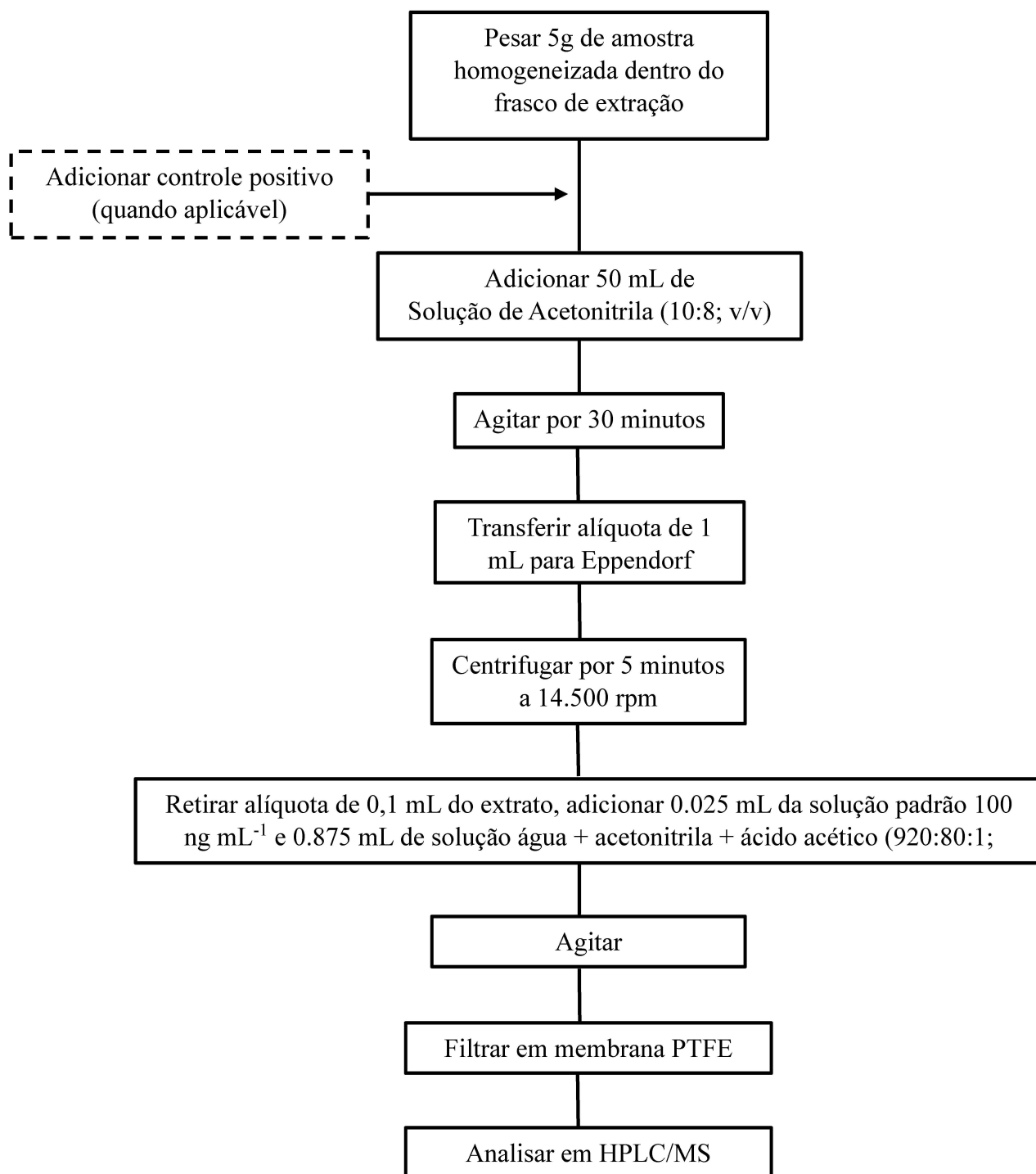
Figura 11. Amostra de tecido vegetal após homogeneização.



Fonte: Acervo próprio

A concentração do inseticida na matriz de folhas foi determinada a partir da pesagem de 5g das amostras homogeneizadas (LI et al., 2019). Essa porção foi alocada em um frasco de extração e recebeu 50 mL de solução aquosa de acetonitrila (10:8; v/v), sendo então submetida à agitação. Após 30 minutos, 1 mL da solução foi transferido para um Eppendorf® (Eppendorf do Brasil, Brasil) e centrifugado a 14.500 rpm por 5 minutos. Do sobrenadante, retirou-se uma alíquota de 100 μ L. Este extrato foi então complementado com 25 μ L de solução padrão 100 ng/mL e 875 μ L de solução água + acetonitrila + ácido acético (920:80:1; v/v/v). Por fim, a mistura foi homogeneizada e filtrada em um filtro de membrana PTFE antes de ser acondicionada em um frasco específico para cromatografia (Figura 12).

Figura 12. Fluxograma da determinação e quantificação de tetraniliprole e seus metabólitos por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas.



A quantificação de tetraniliprole no tecido vegetal foi conduzida por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (HPLC/MS), utilizando os instrumentos 1290 Infinity ii (Agilent Technologies Inc., EUA) e Triple Quad® QTRAP Ready 5500 + (Sciex, Canada) com coluna Ascentis® C18 (Merck KGaA, Alemanha). Analisaram-se tanto o inseticida quanto seu metabólito primário, cujas somas representam a quantidade total de princípio ativo presente no tecido.

1.17. Produtividade

Ao término do ciclo da cultura, a área útil das parcelas (20 m²) foi colhida com uma colhedora de parcelas SLC7500® (John Deere, EUA), equipada com balança Harvest Master® (Juniper Systems, EUA) e medidor de umidade Mirus® (Juniper Systems, EUA). Para estimar a produtividade, as umidades foram corrigidas para 14%.

1.18. Análise Estatística

Os dados obtidos em campo foram processados na plataforma R (R CORE TEAM, 2019) e submetidos inicialmente aos testes de normalidade (Lilliefors-Kolmogorov e Shapiro-Wilk), homocedasticidade e aditividade dos blocos (Tukey). Após a confirmação das pressuposições com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), prosseguiu-se com a comparação de médias utilizando o teste de Scott-Knott, e para verificar diferenças entre cada tratamento e o controle, aplicou-se o teste de comparação múltipla de Dunnett.

Dados que apresentaram distribuição não paramétrica foram analisados pelo teste de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), seguido pelo teste de Bonferroni. Os dados das análises laboratoriais foram submetidos a delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial e seguiram os mesmos procedimentos de verificação das pressuposições e comparação de médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Tensão superficial

As medições de tensão superficial revelaram a presença de componentes surfactantes na formulação comercial do tetraniliprole, demonstrada pela relação inversamente proporcional entre a tensão superficial e a diluição do inseticida. Essa inclusão de tensoativos nas formulações comerciais é uma prática comum da indústria, que classifica de forma imprecisa como “inertes” as substâncias que não são o(s) princípio(s) ativo(s) (CASTRO; OJEDA; CIRELLI, 2014). Contudo, mesmo na taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹, a quantidade de adjuvante presente no produto comercial não foi suficiente para reduzir a tensão superficial a níveis comparáveis aos observados nos demais tratamentos (Tabela 9).

Tabela 2. Médias de tensão superficial para a calda de tetraniliprole mais adjuvantes e as taxas de aplicação.

Taxa de Aplicação (L ha ⁻¹)	Tensão superficial (mN m ⁻¹)			
	Calda Tetraniliprole mais adjuvantes			
	Aureo®	Silwet L77®	Ochima®	NA
10	34.30 Bbβ	22.77 Baβ	33.69 Abβ	50.67 Acβ
30	34.22 Bbβ	22.51 Aaβ	33.91 Abβ	54.85 Bcβ
120	33.03 Abβ	21.62 Aaβ	35.23 Bcβ	61.20 Cdβ
Água destilada	70.9 α			
CV (%)	1.58			
Norm. res.	0.45			
Homo. var.	0.62			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente a 0.05 pelo teste de Scott-Knott, respectivamente. Médias seguidas por letras gregas iguais, não diferem do adicional pelo teste de Dunnett a 0.05.

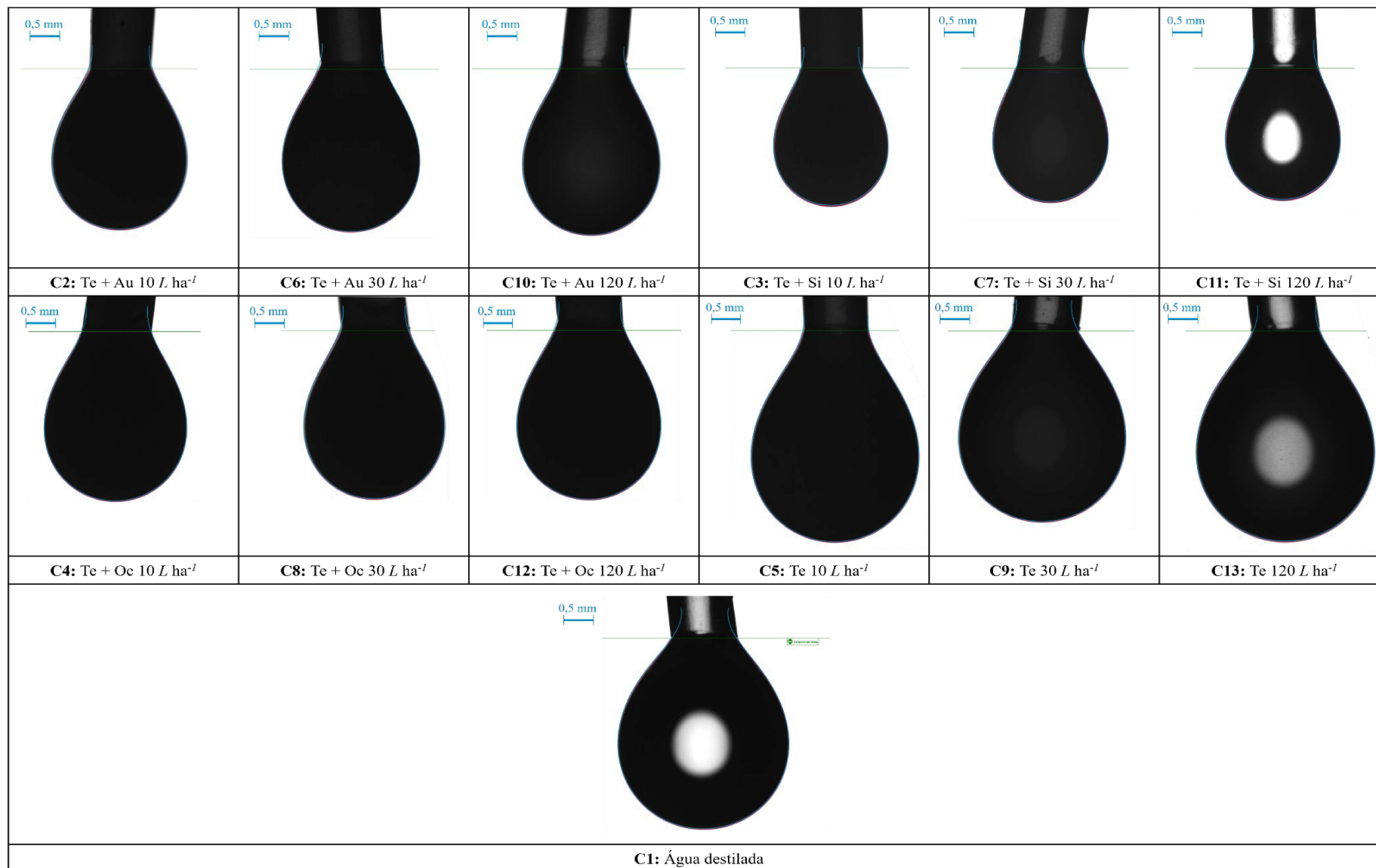
As caldas contendo adjuvantes de base oleosa (Aureo® e Ochima®) apresentaram tensões superficiais médias de 33,85 e 34,27 mN·m⁻¹, respectivamente, sem diferença estatística significativa entre si. Esses valores são consistentes com achados de Xu et al. (2010) para outros óleos metilados de sementes, indicando um potencial para aumentar a eficácia do inseticida, como também relatado por Zhang et al. (2013) e Grossmann & Ehrhardt (2007) para o herbicida topamezona. Por outro lado, o Silwet L77® destacou-se como o surfactante mais eficiente na redução da tensão superficial, mantendo-a próxima de 22,3 mN·m⁻¹ independentemente da taxa de aplicação, resultado similar ao observado por Buick et al. (1993).

A Tabela 9, juntamente com a Figura 13, que apresenta as imagens das gotas em escala idêntica, visualmente corroboram que gotas de menor volume tendem a apresentar menores tensões superficiais.

Adicionalmente, a turbidez do líquido, observada pela transmissão de luz através das gotas na Figura 13, atuou como um parâmetro visual indicativo da concentração da mistura. Embora o equipamento não identifique cores, a concentração do produto comercial e a emulsificação causada pelos adjuvantes aumentaram a turbidez, resultando no escurecimento das gotas capturadas pelo viscosímetro DSA30®. Por essa razão, a água e as caldas contendo Silwet L77® (C3, C7 e C11), bem como a calda com apenas inseticida a 120 L ha⁻¹ (C13), exibiram um interior mais cristalino, refletindo a menor presença de tensoativos ou maior diluição.

Os volumes médios de gota empregados para cada calda, expressos em microlitros (μL), foram: 14,3 μL para C1, 7,4 μL para C2, 4,9 μL para C3, 7,8 μL para C4, 12,7 μL para C5, 8,1 μL para C6, 5,0 μL para C7, 7,9 μL para C8, 13,7 μL para C9, 8,0 μL para C10, 5,1 μL para C11, 8,2 μL para C12 e 14,0 μL para C13.

Figura 13. Tensão superficial aos 60s.



4.2. Ângulo de contato

O acompanhamento da dinâmica do ângulo de contato das caldas com a superfície padrão revelou um comportamento consistente entre a maioria dos tratamentos, independentemente da taxa de aplicação (Tabela 10). A exceção notável foi o tratamento sem adição de adjuvante na taxa de 120 L ha⁻¹, que apresentou valores análogos aos da água destilada. Esse efeito é similar ao já discutido para a tensão superficial, onde a quantidade de surfactante na formulação comercial foi insuficiente para promover uma redução significativa ($\alpha = 0,05$) da tensão superficial e, conseqüentemente, do ângulo de contato em relação ao padrão da água destilada (Figura 14).

Tabela 3. Médias de ângulo de contato da gota para a calda de tetranilprole mais adjuvantes e taxas de aplicação.

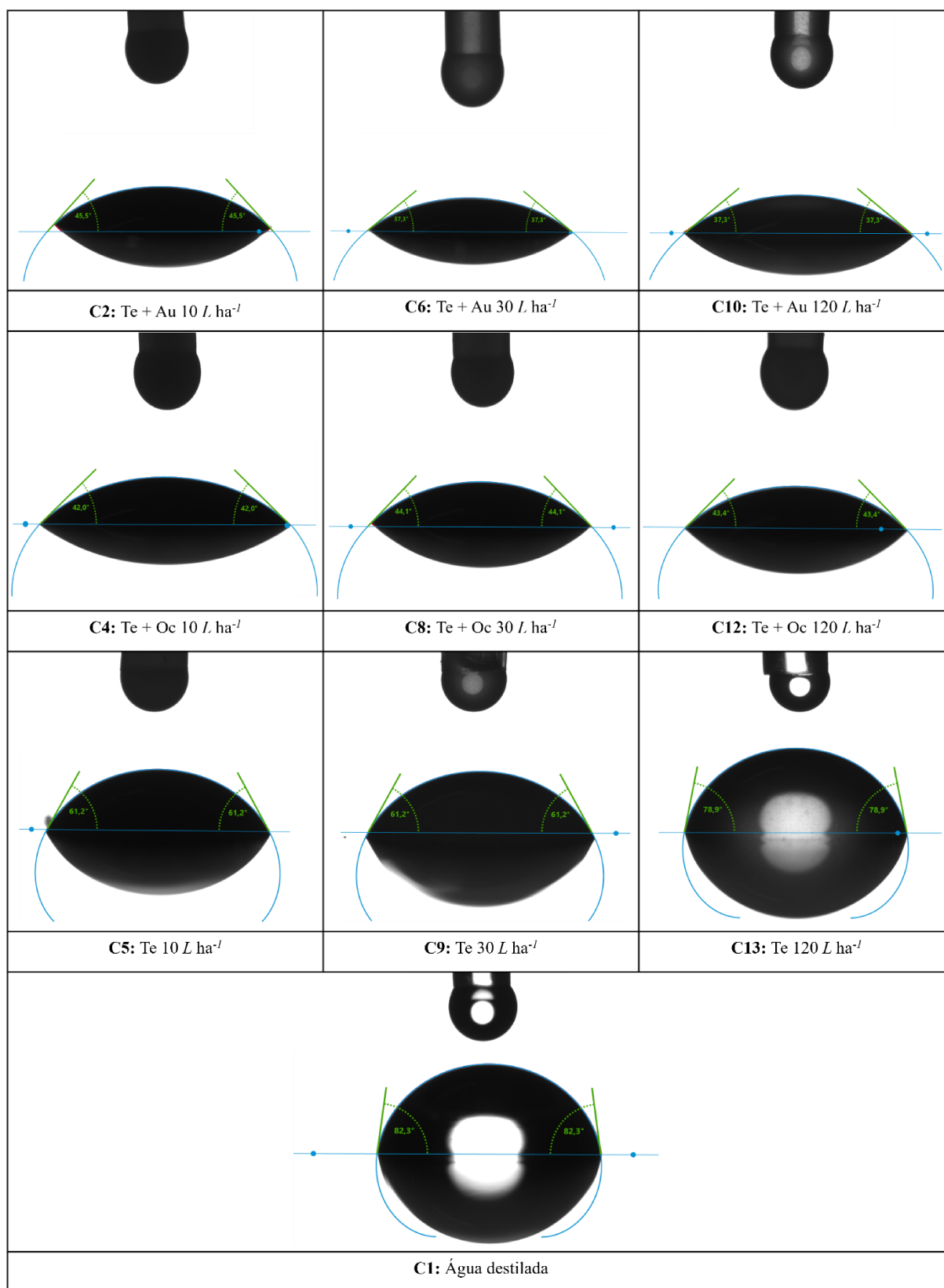
Taxa de Aplicação (L ha ⁻¹)	Ângulo de Contato (°)			
	Calda Tetranilprole mais adjuvantes			
	Aureo®	Silwet L77®	Ochima	NA
10	37,78 Ab β	0.00 Aa β	42.29 Ac β	62.96 Ad β
30	35.20 Ab β	0.00 Aa β	41.26 Ac β	65.08 Ad β
120	33.35 Ab β	0.00 Aa β	42.35 Ac β	79.14 Bd α
C1	81.19 α			
CV (%)	5,5			
Norm. res.	0,12			
Homo. var.	0,05			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente a 0.05 pelo teste de Scott-Knott, respectivamente. Médias seguidas por letras gregas iguais, não diferem do adicional pelo teste de Dunnett a 0.05.

Os adjuvantes Aureo® e Ochima® exibiram uma acentuada queda no ângulo de contato nos primeiros 15 segundos de medição. A partir desse ponto, a taxa de redução para o Ochima® foi inferior em comparação com o outro adjuvante de base oleosa, resultando em uma diferença estatística. Contudo, não se observou impacto da taxa de aplicação no comportamento do ângulo de contato para esses adjuvantes. Isso sugere que, embora o Ochima® tenha sido posicionado por área e não por volume de calda, sua Concentração Micelar Crítica (CMC) foi atingida mesmo em 120 L ha⁻¹. A CMC representa a concentração mínima de surfactante necessária para formar micelas que solubilizam o produto e reduzem a tensão superficial (SONG et al., 2022); concentrações acima dela não proporcionam reduções adicionais nesse parâmetro (LI et al., 2021).

A CMC é a concentração mínima do surfactante necessária para a formação de micelas envolvendo as partículas oleosas, garantindo a solubilização do produto e a redução da tensão superficial (SONG et al., 2022). Concentrações de tensoativo acima da CMC não resultam em maiores reduções desse parâmetro (LI et al., 2021).

Figura 14, Ângulo de contato aos 60s.



O surfactante organossiliconado (Silwet L77®) provocou uma queda abrupta no ângulo de contato quando suas gotas atingiram a superfície, tornando a medição por meio da

metodologia utilizada inviável e, por isso, os valores foram considerados zero. Embora tenha sido empregada uma superfície padrão de filme plástico Parafilm® (Parafilm M, EUA), a escolha foi justificada para padronizar as análises, dadas as variações na pilosidade e composição cristalina da cutícula das folhas de milho, além da higroscopicidade influenciada pelo material genético e nutrição (HENNINGSEN et al., 2023). O comportamento geral dos adjuvantes em Parafilm® mostrou-se consistente com a literatura e com resultados prévios em folhas de milho (MELO et al., 2019; SONG et al., 2022), corroborando a drástica redução do ângulo de contato por organossiliconados e a diminuição observada com óleos vegetais metilados.

4.3. Quantificação de Tetraniliprole no Tecido Vegetal

Considerando que a lagarta-do-cartucho se aloja no interior do cartucho da planta de milho, a quantificação do inseticida nesta estrutura foi fundamental para avaliar o controle efetivo da praga. Sendo amostradas folhas que ainda não haviam emergido na data da aplicação, ou seja, que não tiveram contato direto com o produto, tem-se a certeza de que os analitos quantificados adentraram os tecidos analisados única e exclusivamente por translocação (Tabela 11). Dessa maneira, observou-se que existe interação positiva entre os fatores calda e taxa de aplicação.

Tabela 4. Concentração média de tetranilipole e seu metabólito no tecido do cartucho do milho sete dias após a segunda aplicação na duplicata.

Taxa de Aplicação (L ha ⁻¹)	Concentração (mg kg ⁻¹)			
	Calda			
	Aureo®	Silwet L77®	Ochima®	NA
10	0.194 Aaß	0.007 Ba	0.224 Aaß	0.255 Aaß
30	0.080 Abα	0.079 Aα	0.091 Abα	0.102 Abα
120	0.076 Abα	0.089 Aα	0.110 Abα	0.136 Abα
Testemunha	0 α			
CV (%)	63,6			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente a 0.05 pelo teste de Scott-Knott, respectivamente. Médias seguidas por letras gregas iguais, não diferem do adicional pelo teste de Dunnett a 0.05.

As diamidas antranílicas, grupo ao qual o tetraniliprole pertence, são conhecidas por sua sistemicidade, sendo absorvidas e translocadas na planta via xilema (FAN et al., 2021; PES et al., 2020). Contudo, no presente estudo, o movimento do tetraniliprole nos tecidos das folhas

novas não se manifestou na extensão e velocidade que seriam ideais para o controle de lagartas profundamente abrigadas no cartucho. A baixa taxa de recuperação do inseticida nas folhas recém-emitidas sugere uma translocação mais limitada do que a esperada, o que pode ser influenciado por fatores como a fase fenológica da planta no momento da aplicação, a característica da formulação, ou as condições ambientais que afetam a absorção e a mobilidade da molécula.

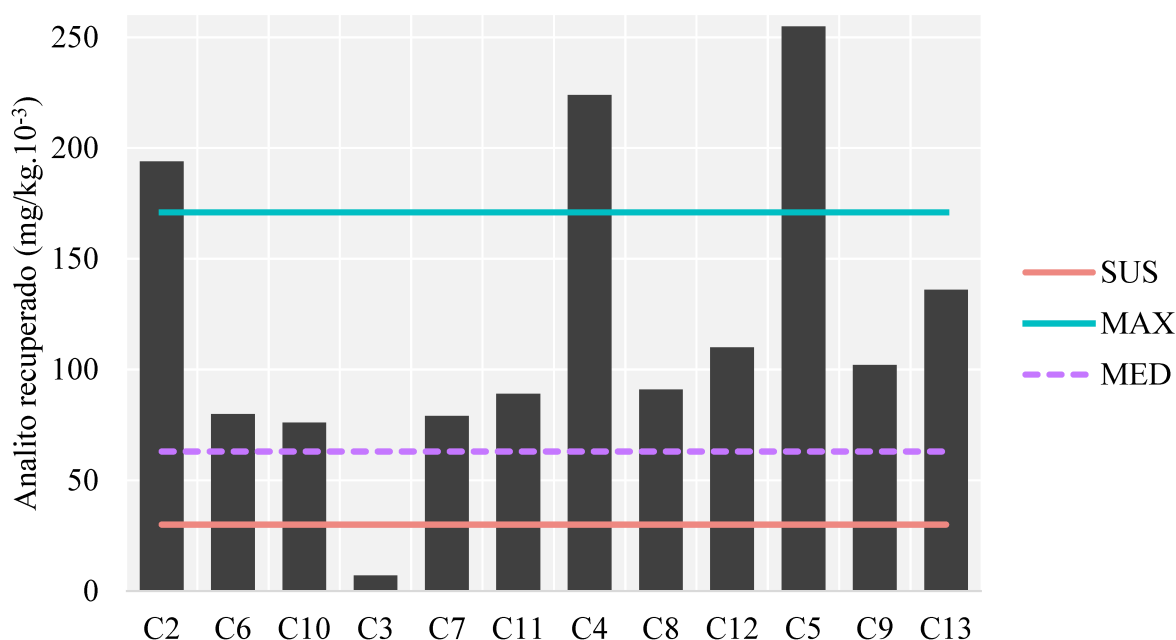
A pulverização utilizando 10 L ha⁻¹ contribuiu para o acúmulo de inseticida no cartucho para os adjuvantes Aureo®, Ochima® e para os tratamentos sem adição de adjuvante. Constataram-se, respectivamente, incrementos de 2.5, 2.2 e 2.1 vezes em relação às outras taxas de aplicação. Isso pode ser explicado pela maior concentração do ingrediente ativo na calda, o que, combinado à deposição direcionada para a parte superior do dossel por RPAs, favoreceu um acúmulo inicial mais elevado do produto no alvo. Estudos prévios em trigo (WANG et al., 2019) e milho (TANG et al., 2024; HE et al., 2024) já demonstraram que baixos volumes de aplicação por RPA tendem a concentrar a deposição nas porções superiores do dossel, onde o cartucho está localizado.

O organossiliconado (Silwet L77®) foi a exceção nos tratamentos com 10 L ha⁻¹, resultando em concentrações do analito abaixo do limite mínimo de detecção dos equipamentos. Este achado, embora à primeira vista contraditório à excelente performance físico-química do Silwet L77® em reduzir a tensão superficial e o ângulo de contato, é um resultado crucial para a compreensão da tecnologia de aplicação. A propriedade de super-espalhamento dos organossiliconados, que levou a valores de ângulo de contato próximos a zero, proporciona uma área de molhamento significativamente maior. Contudo, essa característica, em combinação com a capacidade umectante do adjuvante, aumenta a superfície de contato da gota não apenas com a folha, mas também com o ar, acelerando a taxa de evaporação da água (XU et al., 2011). Com a rápida evaporação, a concentração do produto na superfície foliar eleva-se rapidamente até a cristalização do ingrediente ativo (Xu et al., 2010). Uma vez em estado sólido, o inseticida não é absorvido pela planta e se torna vulnerável à lavagem por chuvas ou orvalho, comprometendo sua eficácia biológica (Wei et al., 2020; Zhang et al., 2013). Tal resultado sublinha que as propriedades físico-químicas ideais de uma calda não garantem, por si só, a máxima absorção do ativo, especialmente para produtos sistêmicos que dependem de um período para translocação antes da cristalização ou degradação.

Avaliando a eficácia com base na suscetibilidade da praga, os estudos de linha de base (baseline) de Kulye et al. (2021) para populações indianas de *S. frugiperda* estimam que a concentração mínima de tetraniliprole capaz de controlar 95% (EC95) dos indivíduos seja 0,30

mg kg⁻¹. A Figura 15 ilustra que apenas os tratamentos com a menor taxa de aplicação (10 L ha⁻¹), com exceção do uso do Silwet L77®, foram capazes de atingir e, em alguns casos, superar esse limiar de controle para todas as populações estudadas. Em contraste, os tratamentos com 30 e 120 L ha⁻¹ resultaram em concentrações no cartucho muito próximas à mediana da EC95 (0,63 mg kg⁻¹) reportada por Kulye et al. (2021). Isso implica que, para essas taxas de aplicação, as concentrações de inseticida no campo estariam no limiar de eficácia para diversas populações, com alta tendência à falhas de controle dependendo da variabilidade de ocorrência da lagarta.

Figura 15. Comparação da quantidade de tetraniliprole recuperada no cartucho com o Baseline para *S. frugiperda*.



SUS: População Susceptível; MAX: População com maior CE₉₅ encontrada no estudo; MED: Mediana das populações estudadas.

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

Considerando que a coleta foi realizada sete dias após a segunda aplicação, as plantas já haviam produzido aproximadamente duas folhas novas que não tiveram contato direto com o inseticida (Nielsen, 2000). Essa dinâmica explica a queda do efeito residual do inseticida, corroborada pelos níveis de infestação que demonstram ineficácia no controle de lagartas

maiores nas avaliações realizadas aos 10 e 14 dias após a aplicação. Concentrações iniciais mais elevadas do produto aplicado, como observado para 10 L ha⁻¹, resultam em maiores níveis de ingrediente ativo na parte aérea da planta (Pes et al., 2020), o que se alinha com a maior recuperação de tetraniliprole para essa taxa de aplicação.

A uniformidade da pulverização também pode ter influenciado os resultados. Atomizadores de disco rotativo, utilizados neste estudo, apresentam limitações operacionais relacionadas à vazão da bomba hidráulica. Chen et al. (2024) reportaram que vazões superiores a 500 mL min⁻¹ podem saturar a superfície da placa giratória, comprometendo a uniformidade da pulverização. Como as variações na taxa de aplicação no presente estudo foram obtidas ajustando-se a vazão da bomba, não se pode descartar que pulverizações com maiores volumes de água (30 e 120 L ha⁻¹) tenham saturado os atomizadores, resultando em espectros de gotas mais heterogêneos.

Portanto, embora a taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹ tenha proporcionado as maiores concentrações do inseticida no alvo, os dados para 30 e 120 L ha⁻¹ não apresentaram diferenças significativas na quantidade de produto absorvido. Essa constatação sugere que a economia de água e o ganho em eficiência operacional proporcionados pela redução do volume de calda justificam a utilização de 30 L ha⁻¹ nas condições deste experimento, sem perda significativa na translocação do ingrediente ativo. Contudo, é fundamental considerar que a influência desses volumes na dinâmica de formação das gotas e no potencial de deriva ainda deve ser cuidadosamente avaliada.

A sistemicidade do ingrediente ativo e o conhecimento do hábito e localização da praga são fatores cruciais para a determinação adequada da taxa de aplicação, garantindo que o produto alcance o alvo de forma eficaz.

4.4. Nível de infestação

Em ambos os experimentos, não se observou interação significativa ($\alpha = 0,05$) entre os fatores calda e taxa de aplicação no nível de infestação.

No ensaio 01, o controle inicial da praga pelo inseticida foi evidenciado a partir de três dias após a aplicação (3 DAA), com as parcelas tratadas apresentando diferenças em relação à testemunha para plantas classificadas em Davis 1 e 2 (Tabela 2).

Tabela 5. Porcentagem de plantas atacadas após a primeira aplicação no ensaio 01.

Calda	Escala Davis					
	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3
	3 dias após aplicação			7 dias após aplicação		
C2 ²	73 αα	16 αα	11 αα	78 αα	10 αβ	12 αα
C3 ³	76 αα	18 αα	6 αα	80 αβ	9 αβ	11 αα
C4 ⁴	73 αα	15 αβ	12 αα	79 αβ	8 αβ	13 αα
C5 ⁵	76 αα	19 αα	5 αα	89 αβ	8 αβ	3 αβ
C6 ⁶	79 αα	12 αβ	9 αα	88 αβ	7 αβ	5 αβ
C7 ⁷	82 αβ	9 αβ	9 αα	86 αβ	4 αβ	10 αα
C8 ⁸	77 αα	14 αβ	9 αα	80 αβ	9 αβ	11 αα
C9 ⁹	81 αβ	11 αβ	8 αα	82 αβ	9 αβ	9 αα
C10 ¹⁰	73 αα	14 αβ	13 αα	82 αβ	4 αβ	14 αα
C11 ¹¹	83 αβ	9 αβ	8 αα	86 αβ	6 αβ	8 αα
C12 ¹²	76 αα	11 αβ	13 αα	84 αβ	6 αβ	10 αα
C13 ¹³	76 αα	12 αβ	12 αα	73 αα	14 αα	13 αα
C1 ¹	59 α	31 α	10 αα	60 α	23 α	17 α
CV (%)	15,10	63,59	70,29	12,22	95,54	58,03
Norm. res.	0,12	0,52	0,11	0,29	0,33	0,04
Homo. var.	0,32	0,41	0,07	0,08	0,15	0,47
Aditividade	0.67	0.83	0.31	0.07	0.69	0.02

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott e Dunnett, respectivamente.

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

Esse achado alinha-se com estudos prévios de outras diamidas, como o clorantraniliprole, que também demonstrou diferenças no controle de *S. frugiperda* em apenas três dias quando aplicado por drone (LU et al., 2021). É importante notar que não houve diferenças para o nível de dano acima de Davis 3, indicando que o controle inicial foi mais eficaz sobre lagartas em estágios menos desenvolvidos. As diamidas atuam na contração muscular dos insetos,

rapidamente cessando o consumo foliar (HANNIG et al., 2009). Em estudos com *Spodoptera exigua*, Hannig et al. (2009) observaram que as larvas pararam de se alimentar 22 segundos após o contato e consumiram menos de 1% da área foliar oferecida. Assim, a redução do potencial de dano ocorre primariamente pela interrupção da alimentação, enquanto a mortalidade completa das lagartas se manifesta em um segundo momento.

Aos 7 DAA, observou-se uma redução no número de plantas sem danos iniciais e um menor nível de danos iniciais nas parcelas tratadas, corroborando a eficácia de controle. A literatura (XIAO et al., 2024; SUGANTHI et al., 2022) indica que sete dias são, de fato, um período suficiente para se observar a mortalidade de lagartas com tetraniliprole. No entanto, a porcentagem de plantas com danos severos ($\text{Davis} \geq 3$) aumentou de 3 para 7 DAA. Essa progressão, combinada com a ausência de diferença entre as parcelas tratadas e a testemunha para danos severos, sugere que o inseticida encontrou dificuldade em controlar lagartas de maior porte já presentes no momento da primeira avaliação. Tal comportamento é esperado, pois um maior volume corporal da praga demanda uma quantidade proporcionalmente maior de princípio ativo para atingir o efeito desejado, uma característica intrínseca aos inseticidas, independentemente da molécula (VAN DEN BERG; DU PLESSIS, 2022). Isso reforça o nível de dano econômico estabelecido por Rosa (2011) como um indicador crucial para a intervenção.

Após a segunda aplicação no ensaio 01, apenas o tratamento C6 (Tetraniliprole + Aureo® a 30 L ha⁻¹) demonstrou diferença em relação à testemunha para plantas não atacadas em 72 horas. A partir de 7 dias após a segunda aplicação (7 DAA), somente as caldas contendo adjuvantes a 10 L ha⁻¹ (C2, C3 e C4) e a calda sem adjuvante a 30 L ha⁻¹ (C9) não diferiram da testemunha para $\text{Davis} = 0$. De forma geral, todas as caldas contendo inseticida reduziram o número de plantas com ataques iniciais de *S. frugiperda*, exceto C9 e C3 aos três e sete dias, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 6. Porcentagem de plantas atacadas após a segunda aplicação no ensaio 01.

Calda	Escala Davis					
	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3
	3 dias após aplicação			7 dias após aplicação		
C2 ²	75 ba	8 aβ	17 aα	64 ba	17 aβ	19 aα
C3 ³	79 ba	6 aβ	15 aα	58 ba	25 ba	17 aα
C4 ⁴	77 ba	7 aβ	16 aα	62 ba	17 aβ	21 aα
C5 ⁵	87 aα	5 aβ	8 aα	77 aβ	12 aβ	11 aα

C6⁶	90 aβ	4 aβ	6 αα	78 aβ	13 aβ	9 aβ
C7⁷	79 βα	9 aβ	12 αα	67 aβ	12 bβ	21 αα
C8⁸	85 αα	5 aβ	11 αα	72 aβ	13 bβ	15 αα
C9⁹	69 βα	13 βα	17 αα	63 βα	11 aβ	26 αα
C10¹⁰	86 αα	3 aβ	11 αα	79 aβ	8 aβ	13 αα
C11¹¹	82 αα	7 aβ	11 αα	73 aβ	15 aβ	12 αα
C12¹²	83 αα	4 aβ	13 αα	69 aβ	16 aβ	15 αα
C13¹³	78 βα	7 aβ	15 αα	70 aβ	10 aβ	20 αα
C1¹	68 α	14 α	18 α	48 α	29 α	23 α
CV (%)	11.47	97.16	56.85	11.45	44.35	58.39
Norm. res.	0.73	0.51	0.31	0.68	0.73	0.26
Homo. var.	0.71	0.53	0.45	0.75	0.13	0.80
Aditividade	0.51	0.25	0.57	0.27	0.71	0.32

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott e Dunnett, respectivamente.

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

É relevante destacar que, aos 7 DAA, todos os tratamentos com taxa de aplicação de 120 L ha⁻¹ mostraram-se positivamente superiores aos outros, um volume de calda que tem sido associado a maior deposição (TAVARES et al., 2017). O decréscimo de plantas sem danos e o incremento na intensidade dos danos em plantas já atacadas indicam que a eficácia de controle da molécula estava em declínio após 14 dias da primeira aplicação. Xiao et al. (2024) observaram tendência similar para o tetraniliprole, com queda de controle de 92,35% para 72,04% entre 7 e 14 dias após três aplicações.

Essa perda de eficácia ao longo do tempo está relacionada à translocação das diamidas antranílicas. Pes et al. (2020) relataram que a concentração de inseticidas como ciantraniliprole e clorantraniliprole em folhas novas diminui progressivamente após a pulverização. Em milho, bastaram duas a três folhas novas para que a quantidade de inseticida presente nos tecidos não se diferenciasse do controle, um período que se alinha com a emissão de folhas novas (dois a três dias, segundo Nielsen, 2000). Assim, é natural que a concentração de produto no cartucho

seja inferior na avaliação de 14 DAA, resultando em menor controle da praga em estágios avançados de desenvolvimento.

No segundo experimento, as análises de variância não revelaram diferença entre as médias dos tratamentos pelo teste F a 5% de probabilidade, e foi descartado o efeito de interação entre blocos. Isso significa que, sob as condições específicas deste ensaio, não se observou distinção estatística entre a eficácia dos diferentes tratamentos aplicados (Tabelas 4 e 5).

Tabela 7. Porcentagem de plantas atacadas após a primeira aplicação no ensaio 02.

Calda	Escala Davis					
	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis \geq 3	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis \geq 3
	3 dias após aplicação			7 dias após aplicação		
C2²	83 aa	11 aa	7 aa	86 aa	8 aa	13 aa
C3³	82 aa	11 aa	5 aa	76 aa	3 aa	6 aa
C4⁴	84 aa	12 aa	4 aa	82 aa	9 aa	9 aa
C5⁵	84 aa	15 aa	2 aa	90 aa	5 aa	9 aa
C6⁶	82 aa	12 aa	5 aa	84 aa	8 aa	5 aa
C7⁷	83 aa	16 aa	0 aa	76 aa	20 aa	8 aa
C8⁸	84 aa	13 aa	6 aa	84 aa	5 aa	4 aa
C9⁹	81 aa	13 aa	2 aa	84 aa	7 aa	11 aa
C10¹⁰	85 aa	15 aa	5 aa	80 aa	14 aa	9 aa
C11¹¹	80 aa	8 aa	2 aa	89 aa	6 aa	6 aa
C12¹²	90 aa	13 aa	11 aa	76 aa	17 aa	5 aa
C13¹³	76 aa	25 aa	4 aa	86 aa	6 aa	7 aa
C1¹	83 α	13 α	4 α	75 α	12 α	13 α
CV (%)	17.21	65.06	165.17	15.1	89.39	96.69
Norm. res.	0.17	0.23	0.02	0.62	0.02	0.01
Homo. var.	0.21	0.61	0.01	0.20	0.38	0.32
Aditividade	0.21	0.08	0.01	0.73	0.02	0.18

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Kruskal-Wallis e Dunnett, respectivamente.

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹,

⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹,

⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante,

¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

Tabela 8. Porcentagem de plantas atacadas após a segunda aplicação no ensaio 02.

Calda	Escala Davis					
	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3	Davis 0	Davis 1 e 2	Davis ≥ 3
	3 dias após aplicação			7 dias após aplicação		
C2²	85 aα	6 aα	9 aα	93 aα	4 aα	3 aα
C3³	91 aα	5 aα	4 aα	89 aα	5 aα	6 aα
C4⁴	87 aα	5 aα	8 aα	89 aα	2 aα	8 aα
C5⁵	86 aα	9 aα	5 aα	95 aα	2 aα	3 aα
C6⁶	83 aα	11 aα	6 aα	90 aα	5 aα	5 aα
C7⁷	86 aα	9 aα	5 aα	89 aα	5 aα	6 aα
C8⁸	82 aα	6 aα	12 aα	88 aα	4 aα	8 aα
C9⁹	75 aα	16 aα	9 aα	88 aα	5 aα	7 aα
C10¹⁰	84 aα	8 aα	6 aα	95 aα	5 aα	0 aα
C11¹¹	91 aα	4 aα	5 aα	96 aα	2 aα	2 aα
C12¹²	80 aα	11 aα	9 aα	87 aα	7 aα	6 aα
C13¹³	86 aα	7 aα	7 aα	86 aα	11 aα	3 aα
C1¹	90 α	7 α	4 α	90 α	7 α	3 α
CV (%)	15.94	96.85	124.59	11.23	105.63	152.05
Norm. res.	0.47	0.07	0.02	0.19	0.28	0.31
Homo. var.	0.44	0.62	0.48	0.24	0.036	0.28
Aditividade	0.19	0.12	0.01	0.04	0.02	0.12

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Kruskal-Wallis e Dunnett, respectivamente.

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

Ao contrário do que seria ideal para uma diferenciação robusta dos tratamentos, notou-se uma redução nos danos gerados pela lagarta-do-cartucho em todos os tratamentos, incluindo a

testemunha. De maneira geral, os níveis de infestação, que já eram baixos após a primeira aplicação no segundo experimento, diminuíram ainda mais após a segunda. Este cenário pode ser explicado pela pluviosidade (65 mm) ocorrida entre as duas aplicações, com 30,2 mm concentrados em apenas um dia (Anexo IV). Segundo Biazolor et al. (2020), a presença de água dentro do cartucho do milho reduz o dano causado por *Spodoptera frugiperda*, mascarando potenciais diferenças entre os tratamentos. A baixa pressão inicial da praga e a ocorrência de chuvas no segundo ensaio limitaram a capacidade de discriminação entre os tratamentos, tornando os resultados desse experimento menos representativos de situações de alta pressão da praga onde o diferencial dos tratamentos seria mais crítico.

4.5. Severidade

As médias de severidade de danos observadas no primeiro experimento não apresentaram diferença entre os tratamentos, apesar da presença de efeito de blocos e da ausência de interação entre os fatores calda e taxa de aplicação (Tabela 6).

Tabela 9. Médias da Escala Davis nas plantas atacadas observadas no Experimento 1.

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Dias após aplicação			
	1ª aplicação		2ª aplicação	
	3	7	3	7
10	2,40 aα	2.95 aα	3.03 aα	2.89 aα
30	2.65 aα	3.01 aα	2.82 aα	2.95 aα
120	2.91 aα	3.50 aα	3.18 aα	3.13 aα
Adjuvante adicionado	3	7	3	7
Aureo®	2.93 aα	3.34 aα	2.90 aα	2.92 aα
Silwet L77®	2.59 aα	2.67 aα	2.89 aα	2.83 aα
Ochima®	2.81 aα	3.48 aα	3.28 aα	3.05 aα
NA	2.39 aα	3.13 aα	2.97 aα	3.17 aα
Testemunha	1.91 α	2.55 α	2.89 α	2.77 α
CV (%)	32.60	34.78	29,14	24.02
Norm. res.	0.29	0.28	0.23	0.86
Homo. var.	0.19	0.13	0.29	0.68
Aditividade	0.208	0.160	0.164	0.256

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste cott-Knott e Dunnett, respectivamente.

Curiosamente, a testemunha exibiu médias de severidade nominalmente inferiores em comparação com as parcelas tratadas. Adicionalmente, notou-se que o aumento da taxa de aplicação esteve associado a uma maior severidade de ataque.

Esses resultados, que podem parecer inicialmente contraditórios às expectativas de um controle eficaz, são explicados ao correlacioná-los com o nível de infestação. Nas parcelas não tratadas (testemunha C1), embora a severidade média por planta atacada possa ter sido menor, houve um número superior de plantas infestadas. Em contraste, as parcelas tratadas mantiveram uma proporção de plantas não atacadas acima de 70%, o que resultou em uma população menor de plantas com danos para compor a média de severidade. Assim, as plantas que foram efetivamente atacadas nas parcelas tratadas eram aquelas com lagartas em estágios avançados, sobre as quais o inseticida demonstrou baixa eficácia. A continuidade do desenvolvimento dessas lagartas, com pouca ou nenhuma concorrência por recursos devido ao controle eficiente nas demais plantas, elevou a severidade média apenas para o subconjunto de plantas já danificadas, sem refletir o desempenho geral do tratamento na parcela. Essa tendência é ilustrada pelas médias do tratamento com 120 L ha⁻¹ e do adjuvante Aureo®, influenciadas por apenas uma das repetições da calda C10 (Tabela 7).

Tabela 10. Médias da Escala Davis nas plantas atacadas observadas no Experimento 2.

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Dias após aplicação			
	1ª aplicação		2ª aplicação	
	3	7	3	7
10	1.77 aα	2.01 aα	2.32 aα	2.52 aα
30	1.61 aα	2.02 aα	2.12 aα	2.42 aα
120	3.76 bβ	2.16 aα	2.33 aα	1.55 aα
Adjuvante adicionado	3	7	3	7
Aureo®	4.61 bβ	2.04 aα	1.87 aα	2.37 aα
Silwet L77®	1.33 aα	1.57 aα	1.96 aα	1.93 aα
Ochima®	1.98 aα	2.59 aα	2.59 aα	2.22 aα
NA	1.53 aα	2.06 aα	2.59 aα	2.15 aα
Testemunha	1.96 α	2.55 α	1.58 α	1.13 α
CV (%)	34.90	37.15	31.19	24.02
Norm. res.	0.175	0.097	0.382	0.962
Homo. var.	0.190	0.127	0.290	0.684
Aditividade	0.208	0.160	0.164	0.256

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste cott-Knott e Dunnett, respectivamente.

É notável que a testemunha exibiu médias de severidade nominalmente inferiores em comparação com as parcelas tratadas. Adicionalmente, observou-se uma tendência de aumento na severidade de ataque com o incremento da taxa de aplicação, resultados que, à primeira vista, parecem contraditórios às expectativas de controle. No entanto, para interpretar adequadamente esses achados, é fundamental correlacioná-los com a análise do nível de infestação. Nas parcelas não tratadas (C1), apesar de uma menor severidade média por planta atacada, houve um número significativamente maior de plantas infestadas em ambos os experimentos.

No segundo experimento, também não foi identificada diferença significativa ($\alpha = 0,05$) para as médias de severidade, com exceção da taxa de aplicação de 120 L ha⁻¹ e do adjuvante Aureo® a 120 L ha⁻¹. Similarmente às porcentagens de infestação, o segundo experimento apresentou menor ataque geral de *S. frugiperda* em comparação ao primeiro. Adicionalmente, na duplicata, não se notou um aumento de ataque proporcional ao aumento da taxa de aplicação, exceto aos 3 DAA, e a testemunha não apresentou severidades inferiores às outras caldas apenas aos 7 DAA.

Ambos os experimentos foram conduzidos em regiões tradicionais de produção de milho e durante períodos favoráveis ao desenvolvimento da praga. O material genético empregado também era sabidamente suscetível a *S. frugiperda*. Apesar disso, a pressão da praga foi relativamente baixa, mantendo a severidade média nas testemunhas não tratadas abaixo da nota 3 na escala de Davis. Isso indica que poucas lagartas atingiram estágios superiores ao terceiro ínstar e completaram seu ciclo, limitando a capacidade de observar maiores variações de severidade entre os tratamentos.

A literatura que correlaciona a intensidade do ataque da praga com os estádios fenológicos da cultura ainda é escassa, o que dificulta conclusões mais precisas. Entretanto, Beserra et al. (2002) observaram que a postura da lagarta-do-cartucho diminui após o estágio fenológico V9 (aproximadamente 10 folhas). Isso levanta a hipótese de que a condução do experimento em estádios fenológicos anteriores ao V10 poderia ter propiciado uma maior infestação e, consequentemente, uma diferenciação mais acentuada nos resultados de severidade.

4.6. Produtividade

De forma geral, os valores de produtividade obtidos foram compatíveis com os registros para a região (CONAB, 2024). Observou-se que o segundo experimento, conduzido em uma janela de semeadura distinta, resultou em menor produtividade (Tabela 8). Isso pode ser

atribuído ao declínio da pluviosidade, um fator ambiental que sabidamente impacta a cultura do milho.

Tabela 11. Dados de produtividade após ensaios de eficácia.

Calda	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Experimento 1	Experimento 2
C2 ²	8665 aβ	8187 aα
C3 ³	8173 aα	6747 aα
C4 ⁴	8181 aα	7753 aα
C5 ⁵	7502 bα	7039 aα
C6 ⁶	8625 aα	7366 aα
C7 ⁷	8730 aβ	6861 aα
C8 ⁸	7163 bα	7700 aα
C9 ⁹	7361 bα	7650 aα
C10 ¹⁰	9396 aβ	6713 aα
C11 ¹¹	7199 bα	7253 aα
C12 ¹²	8838 aβ	7274 aα
C13 ¹³	8227 aα	7883 aα
C1 ¹	6379 α	6545 α
CV (%)	14.82	17.53
Norm. res.	0.13	0.6858
Homo. var.	0.09	0.24724
Aditividade	0.71	0.96728

Médias seguidas por letras iguais na coluna e gregas com a testemunha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste cott-Knott e Dunnett, respectivamente

¹testemunha sem aplicação, ²Tetraniliprole + aureo 50 mL ha⁻¹, ³Tetraniliprole + silwet L77 5 mL ha⁻¹, ⁴Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁵Tetraniliprole sem adjuvante, ⁶Tetraniliprole + aureo 150 mL ha⁻¹, ⁷Tetraniliprole + silwet L77 15 mL ha⁻¹, ⁸Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ⁹Tetraniliprole sem adjuvante, ¹⁰Tetraniliprole + aureo 600 mL ha⁻¹, ¹¹Tetraniliprole + silwet L77 60 mL ha⁻¹, ¹²Tetraniliprole + ochima 250 mL ha⁻¹, ¹³Tetraniliprole sem adjuvante.

No primeiro experimento, apesar da ausência de interação entre os fatores “calda” e “taxa de aplicação”, houve uma diferença entre a testemunha e os demais tratamentos. Esse achado está em consonância com os resultados de redução na porcentagem de plantas atacadas,

confirmando a eficácia do inseticida em proteger a produtividade em um cenário de pressão de praga mais representativo. O teste de médias indicou que os tratamentos contendo óleo metilado de soja (Aureo®) apresentaram um desempenho superior em todas as taxas de aplicação, destacando o óleo metilado de soja como o adjuvante mais eficiente para o controle de *S. frugiperda* neste estudo.

Essa observação é reforçada por Hettwer et al. (2022), que, em bioensaios laboratoriais, constataram que misturas de tanque com óleo mineral reduziram a Concentração Letal 50 (CL50) de linhagens de *S. frugiperda* suscetíveis e resistentes à teflubenzuron. De maneira análoga, Lu et al. (2021) verificaram uma melhora no controle da lagarta-do-cartucho com a adição de adjuvante à base de óleo em tratamentos com clorantraniliprole, corroborando a importância desses adjuvantes na potencialização da ação de inseticidas.

Em contrapartida, as médias de produtividade no segundo experimento não apresentaram diferenças entre si. Adicionalmente, o teste de comparação múltipla de Dunnett não identificou diferenças entre nenhum tratamento e a testemunha para a produtividade. Conforme o nível de infestação, essa ausência de diferenciação nos resultados de produtividade é atribuída à baixa pressão de pragas observada e à influência de fatores ambientais, como a pluviosidade, que mascararam os potenciais efeitos dos tratamentos na eficácia de controle e, conseqüentemente, na produtividade.

Variações na direção do vento podem causar sobreposição insuficiente ou excessiva entre as passadas, comprometendo a uniformidade da aplicação e, conseqüentemente, a eficácia do tratamento. Isso pode ser um ponto que afeta os resultados, especialmente se houver correlação entre a eficácia e a uniformidade da aplicação em campo.

A condução de experimentos de campo em diferentes janelas de plantio, embora buscando robustez, resultou em condições ambientais distintas, notadamente a elevada pluviosidade e a baixa pressão da praga observadas no segundo ensaio. Essas condições mascararam as diferenças estatísticas entre os tratamentos e a testemunha para nível de infestação, severidade e produtividade no segundo experimento. A pressão da praga, mesmo no primeiro ensaio, foi considerada relativamente baixa, mantendo a severidade média nas testemunhas abaixo da nota 3 na escala de Davis, o que sugere que poucas lagartas atingiram estádios avançados. Além disso, a aplicação no estágio fenológico V10 pode ter ocorrido em um momento em que a postura da lagarta-do-cartucho já estava em declínio (Beserra et al., 2002), o que limitou a infestação natural.

Embora o tetraniliprole seja classificado como sistêmico, o estudo revelou que seu movimento nos tecidos para as folhas recém-emitidas no cartucho não foi tão eficiente quanto

o esperado. A baixa taxa de recuperação do ingrediente ativo em folhas novas, que não tiveram contato direto com a pulverização, sugere que a translocação do tetraniliprole pode ser insuficiente para garantir concentrações letais ou de supressão para lagartas em crescimento contínuo dentro do cartucho, especialmente sete dias após a aplicação e com a emissão de novas folhas.

Apesar de suas excelentes propriedades físico-químicas em reduzir a tensão superficial e o ângulo de contato, o Silwet L77® levou a concentrações de tetraniliprole no cartucho abaixo do limite de detecção. Isso ocorreu devido ao seu altíssimo poder de espalhamento, que, sem uma propriedade umectante adequada, acelerou a evaporação da água e a cristalização do ingrediente ativo na superfície foliar.

O estudo utilizou um modelo específico de RPA (P-40) com atomizadores de disco rotativo e parâmetros de voo fixos (DMV, altura, velocidade). Embora os resultados sejam válidos para essas condições, eles podem não ser diretamente extrapoláveis para outros modelos de drones, tipos de bicos ou parâmetros operacionais. A saturação dos atomizadores de disco rotativo em vazões mais altas (30 e 120 L ha⁻¹) também é uma consideração, pois pode ter gerado espectros de gotas menos homogêneos, afetando a uniformidade da pulverização de forma não intencional.

A aplicação da escala de Davis para severidade, embora padrão, gerou resultados que, à primeira vista, pareceram contraditórios (testemunha com severidade menor em algumas comparações). Isso não é uma falha da escala em si, mas uma complexidade na interpretação dos dados de severidade média por planta atacada quando a proporção de plantas atacadas é muito diferente entre os tratamentos.

5. CONCLUSÕES

Este estudo determinou o impacto da taxa de aplicação e do uso de adjuvantes na performance do inseticida tetraniliprole aplicado por drones no manejo da lagarta-do-cartucho-do-milho, revelando que a eficácia de controle e o incremento de produtividade são multifatoriais e dependem das condições específicas da aplicação e da pressão da praga.

A aplicação de tetraniliprole por RPA demonstrou eficiência no controle inicial da lagarta-do-cartucho, evidenciada pela redução da desfolha a partir de 3 dias após a primeira aplicação (3 DAA) e pelo aumento significativo da produtividade no primeiro experimento, onde a pressão da praga permitiu a discriminação entre os tratamentos. No entanto, é fundamental considerar que a eficácia foi limitada para lagartas em estágios avançados de desenvolvimento e que o efeito residual do inseticida decresceu após 14 dias da aplicação, especialmente em novas folhas.

A taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹ foi crucial para a eficácia do tratamento, resultando nas maiores concentrações de tetraniliprole translocado para o cartucho do milho. Essa superioridade dos dados cromatográficos, diretamente ligada à maior concentração do ingrediente ativo na calda, demonstra a otimização da entrega do produto ao alvo primário da praga, que está restrita a essa estrutura.

Embora as taxas de 30 e 120 L ha⁻¹ não tenham apresentado diferença significativa na quantidade de produto translocado para o cartucho, ou em seus resultados de campo, a utilização de 30 L ha⁻¹ é justificada pela economia de água e ganho em eficiência operacional, sem comprometer a eficácia observada nas condições testadas.

Os adjuvantes tiveram impactos variados. Em termos de propriedades físico-químicas, eles se comportaram de forma semelhante, independentemente da taxa de aplicação, para tensão superficial e ângulo de contato. Contudo, nas análises cromatográficas, a interação com a taxa de aplicação foi evidente. O adjuvante organossiliconado, apesar de promover o maior espalhamento, resultou em concentrações mínimas de tetraniliprole no tecido, devido à rápida cristalização do ingrediente ativo na superfície foliar. Este achado ressalta que o **ajuste da taxa** de aplicação interfere diretamente na escolha do adjuvante, o qual, por sua vez, impacta criticamente a performance do inseticida, especialmente para produtos sistêmicos aplicados por drones.

A baixa pressão da praga e a elevada pluviosidade no segundo experimento mascararam as diferenças entre os tratamentos, incluindo a testemunha, e devem ser consideradas na interpretação da aplicabilidade e generalização dos resultados obtidos. Este estudo, portanto,

fornece informações valiosas para a otimização das aplicações de tetraniliprole por drones, destacando a importância da integração de dados de campo e laboratório para decisões de manejo mais assertivas.

6. LITERATURA CONSULTADA

AGROFIT. AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 17 fev. 2024.

ALVARENGA, Cleyton Batista De; ZAMPIRÓLI, Renan; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da; RINALDI, Paula Cristina Natalino; CUNHA, Bruno Amâncio Da; FARIA, Layanara Oliveira. Application rate and hydraulic tips used in remotely piloted aircraft affect the phytosanitary products in coffee plant canopies. *Acta Scientiarum. Agronomy*, [S. l.], v. 46, n. 1, p. e62969, 2023. DOI: 10.4025/actasciagron.v46i1.62969. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/sRSsypBw6YJ8z5TBNnyBBNj/>. Acesso em: 19 set. 2024. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.62969>

ANSI/ASABE. S572.3 Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra American Society of Agricultural and Biological Engineers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51101>. Acesso em: 19 fev. 2025.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment. ASAE S386.2 FEB1988 (R2009), [S. l.], v. S386.2, 2018.

BALDÉ, Alpha Bocar; SCOPEL, Eric; AFFHOLDER, François; CORBEELS, Marc; DA SILVA, Fernando Antonio Macena; XAVIER, José Humberto Valadares; WERY, Jacques. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. *Field Crops Research*, [S. l.], v. 124, n. 2, p. 240-251, 2011. DOI: 10.1016/J.FCR.2011.06.017. Acesso em: 28 mar. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.017>

BESERRA, Eduardo B.; DIAS, Carlos T. Dos S.; PARRA, José R. P. Distribution and natural parasitism of spodoptera frugiperda (lepidoptera: noctuidae) eggs at different phenological stages of corn. *Florida Entomologist*, [S. l.], 2002. DOI: 10.1653/0015. Disponível em: [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0588:DANPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0588:DANPOS]2.0.CO;2)

BIALOZOR, Adriano et al. Água em cartucho de milho melhora o controle de Spodoptera frugiperda com inseticidas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, [S. l.], v. 50, p. e59517, 2020. DOI: 10.1590/1983-40632020V5059517. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/mRs5mPBGS7YPtxbVJcqnrTS/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2025.

BOAVENTURA, Debora; BOLZAN, Anderson; PADOVEZ, Fernando EO; OKUMA, Daniela M.; OMOTO, Celso; NAUEN, Ralf. Detection of a ryanodine receptor target-site mutation in diamide insecticide resistant fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 47-54, 2020. DOI: 10.1002/ps.5505. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31157506/>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.5505>

BUICK, Rosalind D.; BUCHAN, Graeme D.; FIELD, Roger J. The role of surface tension of spreading droplets in absorption of a herbicide formulation via leaf stomata. *Pesticide Science*, [S. l.], v. 38, n. 2-

3, p. 227-235, 1993. DOI: 10.1002/ps.2780380218. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.2780380218>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.2780380218>

BURTET, Leonardo M.; BERNARDI, Oderlei; MELO, Adriano A.; PES, Maiquel P.; STRAHL, Thiago T.; GUEDES, Jerson VC. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 73, n. 12, p. 2569-2577, 2017. DOI: 10.1002/ps.4660. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28695664/>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.4660>

CARBONARI, Caio Antonio; COSTA, Renato Nunes; GIOVANELLI, Bruno Flaibam; BEVILAQUA, Natalia Cunha; PALHANO, Matheus; BARBOSA, Henrique; LOPEZ OVEJERO, Ramiro Fernando; VELINI, Edivaldo Domingues. Volatilization of Dicamba Diglycolamine Salt in Combination with Glyphosate Formulations and Volatility Reducers in Brazil. *Agronomy* 2022, Vol. 12, Page 1001, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 1001, 2022. DOI: 10.3390/AGRONOMY12051001. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1001/htm>. Acesso em: 17 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051001>

CARLOS, José; DÉCIO, Cruz; MÁRCIO, Karam; MONTEIRO, A. Resende; MAGALHÃES, Paulo César. *A CULTURA DO MILHO* Editores Técnicos. [s.l.: s.n.]. Disponível em: www.cnpms.embrapa.br.

CARVALHO, Fernando Kassis; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da. Estudo das faixas de deposição nas aplicações aéreas. Em: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI; WALTER BOLLER (org.). *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte: FEPAF, 2019. v. 1p. 213-222.

CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C. Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PLoS ONE*, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 62268, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0062268. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0062268>. Acesso em: 5 set. 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062268>

CASTRO, Mariano J. L.; OJEDA, Carlos; CIRELLI, Alicia Fernández. Advances in surfactants for agrochemicals. *Environmental Chemistry Letters*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 85-95, 2014. DOI: 10.1007/S10311-013-0432-4/METRICS. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-013-0432-4>. Acesso em: 9 fev. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0432-4>

CHEN, Jian; HU, Wei; DONG, Xiaoya; LIN, Jinlong; GAO, Zhouming; QIU, Baijing. Experimental investigation on modes of spray formation, droplet size and size distribution in a spinning disc atomizer. *Frontiers in Plant Science*, [S. l.], v. 15, p. 1470745, 2024. DOI: 10.3389/FPLS.2024.1470745/BIBTEX. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1470745/full>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1470745>

CHEN, Pengchao; DOUZALS, Jean Paul; LAN, Yubin; COTTEUX, Eric; DELPUECH, Xavier; POUXVIEL, Guilhem; ZHAN, Yilong. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. *Frontiers in Plant Science* Frontiers Media S.A., , 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.870956. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.870956/full>. Acesso em: 14 fev. 2024.

CHENG, P.; LI, D.; BORUVKA, L.; ROTENBERG, Y.; NEUMANN, A. W. Automation of axisymmetric drop shape analysis for measurements of interfacial tensions and contact angles. *Colloids and Surfaces*, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 151-167, 1990. DOI: 10.1016/0166-6622(90)80286-D. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016666229080286D>. Acesso em: 21 out. 2024. [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(90\)80286-D](https://doi.org/10.1016/0166-6622(90)80286-D)

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Milho Segunda Safra. Série Histórica de Produtividade, [S. l.], p. 1-1, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/56462_5583003c239402285656573f9bfbcec5. Acesso em: 19 ago. 2024.

CORNAGO JUNIOR, Vicente Marcio. Caracterização da capacidade operacional de pulverizadores de barras no brasil dos anos de 2008 a 2018. 2020. UNESP, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0f9ace10-47cf-43f3-999a-2ac506312b29/content>. Acesso em: 17 fev. 2025.

CRYER, Steven A.; ALTIERI, Anthony L.; SCHMUCKER, Abrin L.; DAY, Kristina M. Minimising atomisation drift potential by exploring the break-up of liquid sheets using multiphase methylated soybean and silicon oil emulsions. *Biosystems Engineering*, [S. l.], v. 202, p. 142-151, 2021. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.12.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511020303342>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.004>

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da; BUENO, M. R.; FERREIRA, Marcelo Costa. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, [S. l.], v. 28, n. SPEC. ISSUE, p. 1153-1158, 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000500023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/bwpVFzKPQ33FYdp3VyMPBvp/>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000500023>

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da; REIS, Elton Fialho Dos; SANTOS, Roberto De Oliveira. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. *Ciência Rural*, [S. l.], v. 36, n. 5, p. 1360-1366, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000500003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/D4TsMGq73h99Y9PhSSmNBQb/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 6 set. 2024. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500003>

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da; SILVA, Maria Rosa Alferes Da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. *Revista Ciencia Agronomica*, [S. l.], v. 54, 2023. DOI: 10.5935/1806-6690.20230027. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/gPMVgQCsfRh8NhfTrPmsRKn/>. Acesso em: 19 ago. 2024. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>

DORNELLES, Marçal Elizandro; SCHLOSSER, José Fernando; CASALI, André Luis; BRONDANI, Leonardo Russo. Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas: histórico e importância. *Ciência Rural*, [S. l.], v. 39, n. 5, p. 1600-1605, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ct/a/DGnY7VsvvDpwJ5RrWyFrBWv/?format=pdf>. Acesso em: 17 fev. 2025. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000133>

EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 387-400, 2001. DOI: 10.1023/A:1014193329979/METRICS. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1014193329979>. Acesso em: 28 mar. 2025. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>

EMBRAPA SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos, [S. l.], p. 353, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 6 set. 2024.

F. M. DAVIS; S. S. NG; W. P. WILLIAMS. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. *Technical Bulletin*, [S. l.], v. 186, 1992. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19931170718>. Acesso em: 19 fev. 2025.

FAN, Tianle; CHEN, Xiaojun; ZHAO, Ming; WANG, Jianjun; MENG, Zhiyuan; DONG, Sa; MIAO, Xinyi; WU, Qinchao. Uptake, translocation and subcellular distribution of chlorantraniliprole and tetrachlorantraniliprole in maize. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 800, p. 149429, 2021. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.149429. Acesso em: 4 abr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149429>

FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza; ALVES, Lucilio Rogerio Aparecido; GOTTARDO, Luiz César Bonfim; GEORGINO, Mônica. Dimensionamento do custo econômico representado por *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho no Brasil. Em: *TECNOLOGIAS, DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO SOCIAL; ANAIS*. 2010, Brasília. Anais [...]. Brasília: SOBER, 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002126051>. Acesso em: 19 fev. 2025.

FERREIRA, Marcelo da Costa; LASMAR, Olinto; DECARO JUNIOR, Sergio Tadeu; NEVES, Samira Scaff; AZEVEDO, Letícia Henrique. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. *Bioscience Journal*, [S. l.], v. 29, p. 1431-1440, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15082>. Acesso em: 13 out. 2024.

FONTES, Eliana Maria Gouveia; VALADARES-INGLIS, Maria Cleria. *CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS DA AGRICULTURA*. 1. ed. Brasília. v. 1. Acesso em: 28 mar. 2025.

GANDOLFO, Marco A.; ANTUNIASSI, Ulisses R.; GANDOLFO, Ulisses D.; DE MORAES, Eder D.; RODRIGUES, Eurípedes B.; ADEGAS, Fernando S. Periodic inspection of sprayers: diagnostic to the northern of Paraná. *Engenharia Agrícola*, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 411-421, 2013. DOI: 10.1590/S0100-69162013000200019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/ZdDxWctSXpJpGqSNNQNcNrv/?format=html&lang=en>. Acesso em: 12 abr. 2025. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000200019>

GONG, Jiaqin; FAN, Wenqing; PENG, Jin. Application analysis of hydraulic nozzle and rotary atomization sprayer on plant protection UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 26-30, 2019. DOI: 10.33440/j.ijpaa.20190201.0021. Disponível em: <https://www.ijpaa.org/index.php/ijpaa/article/view/21>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0021>

GROSSMANN, Klaus; EHRHARDT, Thomas. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 5, n. 63, p. 429-439, 2007. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1341>. Acesso em: 4 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.1341>

HANNIG, Greg T.; ZIEGLER, Melissa; PAULA, G. Marçon. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 65, n. 9, p. 969-974, 2009. DOI: 10.1002/PS.1781. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.1781>. Acesso em: 30 mar. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.1781>

HE, Jiaxun; SUN, Keke; WANG, Taojie; SONG, Zhihua; LIU, Lichao. Centrifugal spraying system design and droplet distribution characterization for maize plant protection uav. [S. l.], v. 73, n. 2, 2024. DOI: 10.35633/inmateh-73-06. Disponível em: <https://doi.org/10.35633/inmateh-73-06>. Acesso em: 13 ago. 2024. <https://doi.org/10.35633/inmateh-73-06>

HENNINGSSEN, Jon Niklas; VENTURAS, Martin David; QUINTERO, José Manuel; GARRIDO, Ramiro Recena; MÜHLING, Karl Hermann; FERNÁNDEZ, Victoria. Leaf surface features of maize cultivars and response to foliar phosphorus application: effect of leaf stage and plant phosphorus status. *Physiologia Plantarum*, [S. l.], v. 175, n. 6, 2023. DOI: 10.1111/ppl.14093. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppl.14093>. Acesso em: 19 jan. 2025. <https://doi.org/10.1111/ppl.14093>

HETTWER, Bruna Laise; GODOY, Daniela Neves; HANICH, Manoela Ramos; CAYE, Milena; MOREIRA, Rafaella Pretto; LUCHESE, Eric Fernandes; ZANELLA, Renato; BERNARDI, Oderlei; MELO, Adriano Arrué. Influence of adjuvants added to teflubenzuron spray on resistant and susceptible strains of the soybean looper *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciência Rural*, [S. l.], v. 53, n. 2, p. e20210710, 2022. DOI: 10.1590/0103-8478CR20210710. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/nTGhnmjF8TZSTkNHMxnm4v/?lang=en>. Acesso em: 16 jan. 2025. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210710>

IMEA. Custo de Produção Milho Alta Tecnologia Mato Grosso. Custo de Produção Agropecuário Mato Grosso, [S. l.], 2024. Disponível em: https://imea.com.br/imea-site/arquivo-externo?categoria=relatorio-de-mercado&arquivo=cup-milho&numeropublicacao=6&_gl=1*b98f40*_ga*NjUxMDk4Njk4LjE3Mzk5MTUzMDg.*_ga_243H7NMKPD*MTczOTkxNTMwNy4xLjEuMTczOTkxNTM0OS4xOC4wLjA. Acesso em: 17 ago. 2024.

IOST FILHO, Fernando H.; HELDENS, Wieke B.; KONG, Zhaodan; DE LANGE, Elvira S. Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, [S. l.],

l.], v. 113, n. 1, p. 1-25, 2020. DOI: 10.1093/jee/toz268. Disponível em: <https://academic.oup.com/jee/article-abstract/113/1/1/5666881?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 19 fev. 2025.

<https://doi.org/10.1093/jee/toz268>

KOTTEK, Markus; GRIESER, Jürgen; BECK, Christoph; RUDOLF, Bruno; RUBEL, Franz. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130. Disponível em: <http://gpcc.dwd.de>. Acesso em: 6 set. 2024.

<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

KULYE, Mahesh; MEHLHORN, Sonja; BOAVENTURA, Debora; GODLEY, Nigel; KODIKOPPALU VENKATESH, Sreedevi; RUDRAPPA, Thimmaraju; CHARAN, Tara; RATHI, Dinesh; NAUEN, Ralf. Baseline susceptibility of *spodoptera frugiperda* populations collected in india towards different chemical classes of insecticides. *Insects*, [S. l.], v. 12, n. 8, 2021. DOI: 10.3390/insects12080758. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/8/758>. Acesso em: 2 fev. 2025.

<https://doi.org/10.3390/insects12080758>

LAN, Yubin; CHEN, Shengde. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI: 10.33440/j.ijpaa.20180101.0002. Disponível em: <https://www.ijpaa.org/index.php/ijpaa/article/view/2/0>. Acesso em: 19 fev. 2025.

<https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20180101.0002>

LI, Wei; ZHANG, Yue; JIA, Haoran; ZHOU, Wenwen; LI, Baotong; HUANG, Huajun. Residue analysis of tetraniliprole in rice and related environmental samples by HPLC/MS. *Microchemical Journal*, [S. l.], v. 150, p. 104168, 2019. DOI: 10.1016/J.MICROC.2019.104168. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X19318235>. Acesso em: 5 dez. 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104168>

LI, Xiao xu et al. Tank-mixing adjuvants enhanced the efficacy of fludioxonil on cucumber anthracnose by ameliorating the penetration ability of active ingredients on target interface. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, [S. l.], v. 204, p. 111804, 2021. DOI: 10.1016/J.COLSURFB.2021.111804. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776521002484>. Acesso em: 3 fev. 2025.

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.111804>

LOPES, Luana de Lima; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da; NOMELENI, Quintiliano Siqueira Schroden; ALVARENGA, Cleyton Batista De. Control of *Urochloa decumbens* Using Glyphosate Applied by Remotely Piloted Aircraft and Ground Sprayer with Different Spray Nozzles. *Plants* 2024, Vol. 13, Page 757, [S. l.], v. 13, n. 6, p. 757, 2024. DOI: 10.3390/PLANTS13060757. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/6/757>. Acesso em: 19 ago. 2024.

<https://doi.org/10.3390/plants13060757>

LU, Hui; LI, Fen; ZHU, Xiaoming; TANG, Jihong; LYU, Baoqian; WU, Shaoying. Preliminary study on the effect of using unmanned aerial vehicles (UAVs) to control *Spodoptera frugiperda*. *Entomological Research*, [S. l.], v. 51, n. 9, p. 453-461, 2021. DOI: 10.1111/1748-5967.12538.

Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12538>. Acesso em: 19 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1111/1748-5967.12538>

M. HOORFAR; A. W. NEUMANN. Recent progress in Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA). *Advances in Colloid and Interface Science*, [S. l.], v. 121, p. 25-49, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868606000807>. Acesso em: 19 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.06.001>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Programa Nacional de Bioinsumos. Decreto N° 10.375, [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

MATUO, T. Fundamentos da tecnologia de aplicação de agrotóxicos. Em: GUEDES, J. V. C.; DORNELES, S. H. B. (org.). *Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias*. Santa Maria: Departamento de Defesa Sanitária: Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998.

MELO, Adriano A.; HUNSCHE, Mauricio; GUEDES, Jerson V. C.; HAHN, Lucas; FELTRIN, Natalie M. Study of the effects of adjuvants associated with insecticides on the physicochemical properties of the spray solution and characterization of deposits on wheat and maize leaves under simulated rain. *Engenharia Agrícola*, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 315-322, 2019. DOI: 10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V39N3P315-322/2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/VZnddJkznN6Ps5kPBsbPXrD/?lang=en&format=html>. Acesso em: 7 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p315-322/2019>

MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M.; DUARTE, A. P. Interação entre transgênicos (BT) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. *Arq. Inst. Biol.*, [S. l.], n. 1, p. 71-79, 2011. DOI: 10.1590/1808-1657v78p0712011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/BP3hkgtTMDbwdZQjnbsKZkn/>. Acesso em: 4 set. 2024.
<https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p0712011>

MILLER, P.; WESTRA, P. Herbicide Surfactants and Adjuvants no. 0.559. *Cropseries*, [S. l.], 1996. Disponível em: www.colostate.edu/Depts/CoopExt. Acesso em: 4 fev. 2025.

MIRANDA, José Ednilson; BETTINI, Paulo Cesar; CARLOS, Luiz; GUSMÃO, Albuquerque. Deposição de Gotas por Pulverizações Terrestre e Aérea na Cultura do Algodoeiro. *Comunicado Técnico*, [S. l.], v. 350, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15425425.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2025.

MURARO, Dionei S.; DE OLIVEIRA ABBADE NETO, Dyrson; KANNO, Rubens H.; KAISER, Ingrid S.; BERNARDI, Oderlei; OMOTO, Celso. Inheritance patterns, cross-resistance and synergism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to emamectin benzoate. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 77, n. 11, p. 5049-5057, 2021. DOI: 10.1002/PS.6545. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.6545>. Acesso em: 16 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1002/ps.6545>

NASCIMENTO, Antonio Rogério Bezerra Do; FARIAS, Juliano Ricardo; BERNARDI, Daniel; HORIKOSHI, Renato Jun; OMOTO, Celso. Genetic basis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:

Noctuidae) resistance to the chitin synthesis inhibitor lufenuron. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 72, n. 4, p. 810-815, 2016. DOI: 10.1002/PS.4057. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.4057>. Acesso em: 16 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.4057>

NIELSEN, Robert. Corn Growth & Development What Goes On From Planting To Harvest? *AGRY-97-07*, [S. l.], p. 54, 2000. Disponível em: https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/agry-97-07_v1-1.pdf. Acesso em: 4 abr. 2025.

OKUMA, Daniela M.; BERNARDI, Daniel; HORIKOSHI, Renato J.; BERNARDI, Oderlei; SILVA, Aline P.; OMOTO, Celso. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 74, n. 6, p. 1441-1448, 2018. DOI: 10.1002/PS.4829. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.4829>. Acesso em: 5 set. 2024. <https://doi.org/10.1002/ps.4829>

OKUMA, Daniela Miyuki. Resistência a inseticidas diamidas e caracterização molecular de mutações no receptor de rianodina em populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. Piracicaba. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-04012023-161918/pt-br.php>. Acesso em: 19 jan. 2024.

OVERTON, Kathy; MAINO, James L.; DAY, Roger; UMINA, Paul A.; BETT, Bosibori; CARNOVALE, Daniela; EKESI, Sunday; MEAGHER, Robert; REYNOLDS, Olivia L. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*, [S. l.], v. 145, p. 105641, 2021. DOI: 10.1016/J.CROPRO.2021.105641. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219421001113>. Acesso em: 4 set. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105641>

OZKAN, Erdal. Drones for Spraying Pesticides-Opportunities and Challenges. *The Ohio State University*, Columbus, OH, Estados Unidos, p. 1-16, 2024. Disponível em: https://pested.osu.edu/sites/pested/files/imce/FABE-540_1.pdf. Acesso em: 19 ago. 2024.

PAREDES-SÁNCHEZ, Francisco A.; RIVERA, Gildardo; BOCANEGRA-GARCÍA, Virgilio; MARTÍNEZ-PADRÓN, Hadassa Y.; BERRONES-MORALES, Martín; NIÑO-GARCÍA, Nohemí; HERRERA-MAYORGA, Verónica. Advances in control strategies against *spodoptera frugiperda*. A review. *MoleculesMDPI*, , 2021. DOI: 10.3390/molecules26185587. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8471127/>. Acesso em: 27 jul. 2024. <https://doi.org/10.3390/molecules26185587>

PARRA, José Roberto Postali; PINTO, Alexandre de Sene; NAVA, Edson Dori; OLIVEIRA, Regiane Cristina De; DINIZ, Alexandre José Ferreira. Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira. 1. ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 2021. v. 1 <https://doi.org/10.37856/2023.fealq.B0CSVL4KNB>

PEREIRA FILHO, Israel Alexandre; DUARTE, Aildson; CRUZ, José Carlos. Milho Safrinha. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo/milho-safrinha>. Acesso em: 28 mar. 2025.

PEREIRA, Pedro Antônio Arraes; MARTHA JUNIOR, Geraldo Bueno; SANTANA, Carlos Augusto Mattos; ALVES, Eliseu. The development of Brazilian agriculture: Future technological challenges and opportunities. *Agriculture and Food Security*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-12, 2012. DOI: 10.1186/2048-7010-1-4/TABLES/8. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/932187/1/Developmentofbrazilian.pdf>.

Acesso em: 16 fev. 2025.

<https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-4>

PES, Maiquel P.; MELO, Adriano A.; STACKE, Regina S.; ZANELLA, Renato; PERINI, Clérison R.; SILVA, Fábio M. A.; CARÚS GUEDES, Jerson V. Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLOS ONE*, [S. l.], v. 15, n. 4, p. e0229151, 2020. DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0229151. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229151>. Acesso em: 4 abr. 2025.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229151>

PETRUCCI, Eduardo;

[HTTP://BUSCATEXTUAL.CNPQ.BR/BUSCATEXTUAL/VISUALIZACV.DO?ID=K4377041J2](http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?ID=K4377041J2).

Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa. [S. l.], 2018. DOI: 10.14393/UFU.DI.2018.143. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20810>. Acesso em: 6 set. 2024.

R CORE TEAM (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em <<https://www.R-project.org/>>.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C.; KIMBERLEY, M. Quantifying spray deposition from a uav configured for spot spray applications to individual plants. *Transactions of the ASABE*, [S. l.], v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020. DOI: 10.13031/trans.13724. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/trans.13724>. Acesso em: 18 fev. 2025.

ROEHRIG, Rafael; BOLLER, Walter; FORCELINI, Carlos A.; CHECHI, Amanda. Use of surfactant with different volumes of fungicide application in soybean culture. *Engenharia Agrícola*, [S. l.], v. 38, n. 4, p. 577-589, 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V38N4P577-589/2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/LC5XTWrH6FbDZBLZCjdCcPm/>. Acesso em: 5 set. 2024.

ROSA, Ana Paula Schneid Afonso Da. Monitoramento da lagarta-do-cartucho do milho. EMBRABA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, [S. l.], n. 53, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/884427/1/Monitoramentodalagarta.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

SCHRÖDER, Eugênio Passos; GONÇALVES BURKERT, Viviane. Relato sobre experiência de uso de drones agrícolas no brasil. Em: SOUZA, Wilson José Oliveira De; SANCHES, Alex Guimarães (org.). *TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA: APLICAÇÃO, PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE EM PESQUISA*. 1. ed. [s.l.] : Científica Dgital, 2023. v. 1p. 227-238. DOI: 10.37885/230312454. Disponível em: www.editoracientifica.com.br. Acesso em: 18 out. 2024.

<https://doi.org/10.37885/230312454>

SHAN, Changfeng; WU, Jiajun; SONG, Cancan; CHEN, Shengde; WANG, Juan; WANG, Haihong; WANG, Guobin; LAN, Yubin. Control Efficacy and Deposition Characteristics of an Unmanned Aerial Spray System Low-Volume Application on Corn Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Frontiers in Plant Science*, [S. l.], v. 13, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.900939. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.900939/full>. Acesso em: 19 ago. 2024.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.900939>

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo; FONTES, José Roberto Antoniol. Tecnologia de Aplicação de Herbicidas. Documentos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados, [S. l.], n. 78, 2002. Disponível em: www.cpac.embrapa.br. Acesso em: 17 fev. 2025.

SILOTO, Romildo Cássio; VENDRAMIN, José Djair. Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (LEPODOPTERA: NOCTUIDAE) em genótipos de milho. 2002. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-08012003-105735/publico/romildo.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SILVA, D. M.; BUENO, A. F.; FRANÇA, L. F. T.; MANTOVANI, M. A. M.; STECCA, S. C.; LEITE, N.; OLIVEIRA, M. C. N.; MOSCARDI, F. biologia e preferência alimentar de *spodoptera frugiperda* (lepidoptera: noctuidae) em diferentes fontes hospedeiras. VI Cngresso Brasileiro de Soja, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/928375/1/61s328.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2024.

SILVA, Débora Mello Da; BUENO, Adeney de Freitas; ANDRADE, Karine; STECCA, Cristiane dos Santos; NEVES, Pedro Manuel Oliveira Janeiro; OLIVEIRA, Maria Cristina Neves De. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Scientia Agricola*, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 18-31, 2017. DOI: 10.1590/1678-992X-2015-0160. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/SLwN4VQh8Vmtb8mK9qrSRDR/?format=html&lang=en>. Acesso em: 2 set. 2024.
<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0160>

SONG, Yuying; HUANG, Qiliang; HUANG, Guizhen; LIU, Mingxin; CAO, Lidong; LI, Fengmin; ZHAO, Pengyue; CAO, Chong. The Effects of Adjuvants on the Wetting and Deposition of Insecticide Solutions on Hydrophobic Wheat Leaves. *Agronomy*, [S. l.], v. 12, n. 9, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12092148. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/9/2148>. Acesso em: 13 jan. 2025.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12092148>

SPARKS, Thomas C.; BRYANT, Robert J. Innovation in insecticide discovery: Approaches to the discovery of new classes of insecticides. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 78, n. 8, p. 3226-3247, 2022. DOI: 10.1002/PS.6942. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.6942>. Acesso em: 28 ago. 2024.
<https://doi.org/10.1002/ps.6942>

SPARKS, Thomas C.; NAUEN, Ralf. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, [S. l.], v. 121, p. 122-128, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2014.11.014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26047120/>. Acesso

em: 19 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>

SUBR, Alaa; PARAFINIUK, Stanislaw; MILANOWSKI, Marek; KRAWCZUK, Anna; KACHEL, Magdalena. Study of deposited spray quality of spraying agents with different physical properties. [S. l.], v. 20, n. 2, p. 6109-6114, 2020. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220148884>. Acesso em: 13 out. 2024.

SUBRAMANIAN, K. S.; PAZHANIVELAN, S.; SRINIVASAN, G.; SANTHI, R.; SATHIAH, N. Drones in Insect Pest Management. *Frontiers in Agronomy* Frontiers Media S.A., 2021. DOI: 10.3389/fagro.2021.640885. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2021.640885/full>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SUGANTHI, A. et al. Bioefficacy, persistent toxicity, and persistence of translocated residues of seed treatment insecticides in maize against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797). *Crop Protection*, [S. l.], v. 154, p. 105892, 2022. DOI: 10.1016/J.CROPRO.2021.105892. Acesso em: 30 mar. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105892>

TANG, Qing; ZHANG, Ruirui; YI, Tongchuan; XU, Gang; LI, Longlong; CHEN, Liping. Numerical simulation of agricultural unmanned helicopter corn canopy spraying. *Computers and Electronics in Agriculture*, [S. l.], v. 224, p. 109178, 2024. DOI: 10.1016/J.COMPAG.2024.109178. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924005696>. Acesso em: 13 fev. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109178>

TAVARES, Rafael Marcão; SILVA, João Eduardo Ribeiro Da; ALVES, Guilherme Sousa; ALVES, Thales Cassemiro; SILVA, Sérgio Macedo; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da. Tecnologia de aplicação de inseticidas no controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 30, 2017. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p30-42.
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p30-42>

TESKE, M. E.; WACHSPRESS, D. A.; THISTLE, H. W. Prediction of aerial spray release from uavs. *Transactions of the ASABE*, [S. l.], v. 61, n. 3, p. 909-918, 2018. DOI: 10.13031/trans.12701. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/trans.12701>. Acesso em: 18 fev. 2025.
<https://doi.org/10.13031/trans.12701>

TOEPFER, Stefan; FALLET, Patrick; KAJUGA, Joelle; BAZAGWIRA, Didace; MUKUNDWA, Ishimwe Primitive; SZALAI, Mark; TURLINGS, Ted C. J. Streamlining leaf damage rating scales for the fall armyworm on maize. *Journal of Pest Science*, [S. l.], v. 94, n. 4, p. 1075-1089, 2021. DOI: 10.1007/S10340-021-01359-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-021-01359-2>. Acesso em: 20 out. 2023.
<https://doi.org/10.1007/s10340-021-01359-2>

USDA. Gain and Feed Anual - Brazil. [S. l.], v. BR2024, n. 0005, p. 1-41, 2024. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain%20and%20Feed%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2024-0005.pdf. Acesso em: 28 mar. 2025.

VAN DEN BERG, Johnnie; DU PLESSIS, Hannalene. Chemical Control and Insecticide Resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, [S. l.], v. 115, n. 6, p. 1761-1771, 2022. DOI: 10.1093/JEE/TOAC108. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/toac108>. Acesso em: 2 abr. 2025. <https://doi.org/10.1093/jee/toac108>

VONG, C. N.; LARBI, P. A. Development and prototype testing of an agricultural nozzle clog detection device material e métodos. *Transactions of the ASABE*, [S. l.], v. 64, n. 1, p. 49-61, 2021. DOI: 10.13031/trans.13519. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/trans.13519>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.13031/trans.13519>

WANG, Guobin; LAN, Yubin; QI, Haixia; CHEN, Pengchao; HEWITT, Andrew; HAN, Yuxing. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest Management Science*, [S. l.], v. 75, n. 6, p. 1546-1555, 2019. DOI: 10.1002/PS.5321. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.5321>. Acesso em: 5 set. 2024. <https://doi.org/10.1002/ps.5321>

WEI, Kun; XU, Weiming; LIU, Qin; YANG, Liyun; CHEN, Zhuo. Preparation of a Chlorantraniliprole-Thiamethoxam Ultralow-Volume Spray and Application in the Control of *Spodoptera frugiperda*. *ACS Omega*, [S. l.], v. 5, n. 30, p. 19293-19303, 2020. DOI: 10.1021/ACSOMEGA.0C02912. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c02912>. Acesso em: 7 fev. 2025. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02912>

WEICAI, Qin; PANYANG, Chen. Analysis of the research progress on the deposition and drift of spray droplets by plant protection UAVs. *Scientific Reports* 2023 13:1, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1-11, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-40556-0. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-40556-0>. Acesso em: 12 fev. 2025.

WEN, Sheng; HAN, Jie; NING, Zhihua; LAN, Yubin; YIN, Xuanchun; ZHANG, Jiantao; GE, Yufeng. Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, [S. l.], v. 166, p. 105036, 2019. DOI: 10.1016/J.COMPAG.2019.105036. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919301176>. Acesso em: 13 out. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105036>

XIAO, Yong; WANG, Xiaonan; LI, Zhenyu; LEI, Chunmei; WANG, Siwei. Insecticidal potential and risk assessment of diamide pesticides against *Spodoptera frugiperda* in maize crops. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [S. l.], v. 282, p. 116682, 2024. DOI: 10.1016/J.ECOENV.2024.116682. Acesso em: 30 mar. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116682>

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. *Transactions of the ASABE*, [S. l.], v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=29495>. Acesso em: 19 fev. 2025. <https://doi.org/10.13031/2013.29495>

XU, Linyun; ZHU, Heping; OZKAN, H. Erdal; BAGLEY, William E.; KRAUSE, Charles R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. *Pest management science*, [S. l.], v. 67, n. 7, p. 842-851, 2011. DOI: 10.1002/PS.2122. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21370389/>. Acesso em: 26 fev. 2025. <https://doi.org/10.1002/ps.2122>

YANG, Zhou; YU, Jiayang; DUAN, Jieli; XU, Xing; HUANG, Guangsheng. Optimization-Design and Atomization-Performance Study of Aerial Dual-Atomization Centrifugal Atomizer. *Agriculture* 2023, Vol. 13, Page 430, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 430, 2023. DOI: 10.3390/AGRICULTURE13020430. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/2/430/htm>. Acesso em: 22 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020430>

YOUNG, Bryan G.; MATTHEWS, Joseph L.; WHITFORD, Fred; PROGRAMS, Purdue Pesticide. *Herbicide Adjuvants 2016 • 13th Edition*. [s.l: s.n.]. Disponível em: www.herbicide-adjuvants.com.

YOUNG, J. R.; MCMILLIAN, W. W. Differential Feeding by Two Strains of Fall Armyworm Larvae on Carbaryl Treated Surfaces. *Journal of Economic Entomology*, [S. l.], v. 72, n. 2, p. 202-203, 1979. DOI: 10.1093/JEE/72.2.202. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/72.2.202>. Acesso em: 5 set. 2024. <https://doi.org/10.1093/jee/72.2.202>

YU, S. J. Detection and Biochemical Characterization of Insecticide Resistance in Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, [S. l.], v. 85, n. 3, p. 675-682, 1992. DOI: 10.1093/JEE/85.3.675. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/85.3.675>. Acesso em: 5 set. 2024. <https://doi.org/10.1093/jee/85.3.675>

YUAN, Yuehua; LEE, T. Randall. Contact Angle and Wetting Properties. *Springer Series in Surface Sciences*, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 3-34, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-34243-1_1. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34243-1_1. Acesso em: 18 fev. 2025.

ZHANG, Jinwei; JAECK, Ortrud; MENEGAT, Alexander; ZHANG, Zongjian; GERHARDS, Roland; NI, Hanwen. The Mechanism of Methylated Seed Oil on Enhancing Biological Efficacy of Topramezone on Weeds. *PLOS ONE*, [S. l.], v. 8, n. 9, p. e74280, 2013. DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0074280. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0074280>. Acesso em: 4 fev. 2025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074280>

ANEXO I

Tabela 12. Dados meteorológicos durante a condução dos experimentos.

Data	Temperatura Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Pluviosidade (mm)
22/01/24 ¹	25.5	71.3	0.4
23/01/24	24.1	74.8	16.6
24/01/24	24.0	76.3	0.8
25/01/24	24.7	63.5	0.0
26/01/24	24.0	59.3	0.0
27/01/24	25.3	49.3	0.0
28/01/24	25.9	56.8	0.0
29/01/24	25.9	56.5	0.0
30/01/24	26.5	50.6	0.0
31/01/24	25.1	62.7	3.0
1/02/24	23.5	69.3	2.8
2/02/24	22.1	76.0	4.2
3/02/24	23.7	71.1	0.4
4/02/24	22.5	76.8	14.6
5/02/24	22.9	75.9	19.0
6/02/24	22.7	78.2	37.2
7/02/24	23.1	77.8	0.6
8/02/24	23.4	78.3	10.2
9/02/24	24.7	73.5	0.2
10/02/24	25.3	65.8	0.0
11/02/24	23.6	73.8	3.6
12/02/24	25.0	65.7	0.0
13/02/24	26.6	57.0	0.0
14/02/24	26.5	57.1	0.0
15/02/24	23.8	69.9	6.2
16/02/24	23.5	73.6	3.4
17/02/24	24.9	71.3	15.2
18/02/24	24.9	66.8	0.0
19/02/24 ²	23.7	74.6	1.4
20/02/24	24.0	75.5	0.2
21/02/24	24.7	69.9	0.0
22/02/24	24.9	71.7	22.0
23/02/24	23.6	77.3	3.6
24/02/24	25.4	67.2	0.0
25/02/24	26.5	63.4	16.4
26/02/24	25.8	67.4	0.0
27/02/24	26.6	49.9	0.0
28/02/24	27.8	50.5	0.0
29/02/24	27.5	58.4	0.6
1/03/24	27.0	64.3	0.4
2/03/24	27.7	56.3	0.0
3/03/24	26.7	58.9	0.0
4/03/24	26.3	63.1	0.0
5/03/24	25.3	67.6	0.0
6/03/24	25.3	69.3	0.8

7/03/24	25.2	71.7	1.0
8/03/24	25.6	70.7	0.0
9/03/24	26.6	65.5	0.0
10/03/24	23.5	82.3	35.0
11/03/24	24.9	77.5	2.4
12/03/24	26.8	68.9	0.0
13/03/24	25.5	76.1	64.4
14/03/24	25.2	73.5	28.2
15/03/24	27.2	66.4	0.0
16/03/24	28.2	57.4	0.0
17/03/24	27.9	60.5	0.0
18/03/24	26.2	68.8	4.2
19/03/24	26.0	70.0	0.8
20/03/24	24.1	77.2	18.4
21/03/24	25.6	71.3	0.0
22/03/24	24.9	75.2	0.0
23/03/24	23.1	80.8	2.6
24/03/24	23.4	78.0	0.2
25/03/24	22.6	81.9	5.2
26/03/24	20.9	87.5	13.6
27/03/24	20.2	88.5	30.2
28/03/24	20.6	88.7	18.4
29/03/24	23.9	76.0	1.8
30/03/24	24.6	74.9	0.0
31/03/24	25.0	71.9	0.0
1/04/24	25.9	67.2	0.0
2/04/24	24.0	77.3	1.2
3/04/24	24.0	73.8	0.2
4/04/24	26.3	64.5	0.0
5/04/24	25.7	66.2	0.0
6/04/24	25.6	65.6	2.4
7/04/24	25.4	64.7	0.6
8/04/24	24.9	59.9	0.0
9/04/24	24.0	63.5	0.0
10/04/24	24.8	66.8	0.2
11/04/24	24.6	71.3	2.6
12/04/24	24.1	73.7	0.0
13/04/24	25.0	67.5	0.0
14/04/24	24.7	63.9	0.0
15/04/24	25.1	61.6	0.0
16/04/24	25.1	62.5	0.0
17/04/24	25.3	62.5	0.0
18/04/24	24.0	75.4	10.4
19/04/24	24.5	70.0	0.2
20/04/24	24.8	69.0	0.8
21/04/24	24.4	59.6	0.0
22/04/24	24.1	55.9	0.0
23/04/24	24.6	56.4	0.0
24/04/24	25.6	55.8	0.0
25/04/24	26.3	56.2	0.0

26/04/24	26.2	55.6	0.0
27/04/24	25.4	56.6	0.0
28/04/24	25.7	54.2	0.0
29/04/24	25.7	50.8	0.0
30/04/24	25.9	50.1	0.0
1/05/24	26.0	50.7	0.0
2/05/24	26.0	49.3	0.0
3/05/24	25.9	48.5	0.0
4/05/24	25.5	47.4	0.0
5/05/24	24.6	49.2	0.0
6/05/24	24.6	54.5	0.0
7/05/24	24.7	61.5	0.0
8/05/24	23.6	59.8	0.0
9/05/24	24.1	56.0	0.0
10/05/24	24.0	55.5	0.0
11/05/24	24.0	58.5	0.0
12/05/24	24.1	54.5	0.0
13/05/24	24.5	47.7	0.0
14/05/24	24.1	51.9	0.0
15/05/24	24.0	58.7	0.0
16/05/24	25.0	45.8	0.0
17/05/24	24.3	48.2	0.0
18/05/24	23.8	49.4	0.0
19/05/24	23.9	49.4	0.0
20/05/24	23.9	51.5	0.0
21/05/24	24.4	48.3	0.0
22/05/24	22.9	49.4	0.6
23/05/24	22.8	53.5	0.0
24/05/24	23.9	56.4	0.0
25/05/24	23.5	59.5	0.0
26/05/24	22.6	66.6	0.0
27/05/24	23.3	61.9	0.0
28/05/24	20.3	77.9	0.0
29/05/24	17.4	79.3	0.0
30/05/24	20.3	58.2	0.0
31/05/24	21.1	36.2	0.0
1/06/24	21.2	52.4	0.0
2/06/24	21.0	55.8	0.0
3/06/24	21.9	56.2	0.0
4/06/24	21.9	50.0	0.0
5/06/24	22.3	49.7	0.0
6/06/24	22.2	51.1	0.0
7/06/24	22.3	52.1	0.0
8/06/24	22.7	51.1	0.0
9/06/24	22.1	52.7	0.0
10/06/24	22.0	53.3	0.0
11/06/24	23.4	51.8	0.0
12/06/24	22.8	43.7	0.0
13/06/24	21.4	45.2	0.0
14/06/24	22.1	51.7	0.0

15/06/24	22.4	53.0	0.0
16/06/24	22.0	51.8	0.0
17/06/24	20.9	52.3	0.0
18/06/24	21.1	45.6	0.0
19/06/24	22.3	40.3	0.0
20/06/24	22.2	44.0	0.0
21/06/24	22.0	45.7	0.0
22/06/24	23.3	42.3	0.0
23/06/24	23.0	44.4	0.0
24/06/24	24.7	39.0	0.0
25/06/24 ³	24.1	42.0	0.0

Fonte: Elaborado pelo autor. ¹Plantio do primeiro experimento. ²Plantio do segundo experimento.

³Colheita de ambos os experimentos.

ANEXO II

Tabela 13. Aplicações de manutenção da cultura durante o experimento 01.

Data	Produto	Ingr. Ativo	Dose	Unidade
22/01/24	CROPSTAR®	Imidacloprido + Tiodicarbe	1.75	l/100kg
22/01/24	MAXIM ADVANCED®	Metalaxil + Tiabendazol + Fludioxonil	150	ml/100kg
30/01/24	CURBIX SC200®	Etiprole	1000	ml/ha
30/01/24	AUREO®	MSO	500	ml/ha
2/02/24	CONNECT®	Beta-ciflutrina + Imidacloprid	1000	ml/ha
2/02/24	CERTERO SC480®	Triflumuron	250	ml/ha
6/02/24	PIRATE®	Clorfenapir	750	ml/ha
6/02/24	AMPLIGO®	Lambda-Cialotrina + Clorantraniliprole	150	ml/ha
14/02/24	TALISMAN®	Bifentrina + Carbossulfano	700	ml/ha
14/02/24	BELT®	Flubendiamida	150	ml/ha
19/02/24	AMPLIGO®	Lambda-Cialotrina + Clorantraniliprole	150	ml/ha
19/02/24	CONNECT®	Beta-ciflutrina + Imidacloprid	1000	ml/ha
26/02/24	MATCH EC®	Lufenurom	300	ml/ha
26/02/24	BOLD®	Acetamiprido + Fenpropatrina	500	ml/ha
27/03/24	CERTERO SC480®	Triflumuron	250	ml/ha
27/03/24	LARVIN 800WG®	Tiodicarbe	150	g/ha
27/03/24	TALISMAN®	Bifentrina + Carbossulfano	700	ml/ha
2/04/24	ENGEO PLENO S®	Tiametoxam + Lambda-Cialotrina	250	ml/ha
2/04/24	INTREPID 240 SC®	Metoxifenoazida	180	ml/ha
10/04/23	BULLDOCK SC125®	Beta-ciflutrina	100	ml/ha
10/04/23	FOX XPRO®	Proticonazol + Trifloxistrobina + Bixafen	500	ml/ha
10/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
18/04/23	BOLD®	Acetamiprido + Fenpropatrina	1500	ml/ha
18/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
24/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
24/04/23	ORTHENE 750®	Acefato + Silicato de Alumínio	1000	g/ha
28/04/23	CURBIX SC200®	Etiprole	1000	ml/ha
28/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
28/04/23	ENGEO PLENO S®	Tiametoxam + Lambda-Cialotrina	250	ml/ha
Adubação				
22/01/24		08.28.16	300	kg/ha
7/02/24		20.05.20	200	kg/ha
14/02/24		46.00.00	200	kg/ha

ANEXO III

Tabela 14. Aplicações de manutenção da cultura durante o experimento 02.

Data	Produto	Ingrediente Ativo	Dose	Unidade
19/02/24	CROPSTAR®	Imidacloprido + Tiodicarbe	1.75	l/100kg
19/02/24	MAXIM ADVANCED®	Metalaxil + Tiabendazol + Fludioxonil	150	ml/100kg
26/02/24	CURBIX SC200®	Etiprole	1000	ml/ha
26/02/24	AUREO®	MSO	500	ml/ha
2/03/24	CONNECT®	Beta-ciflutrina + Imidacloprid	1000	ml/ha
2/03/24	CERTERO SC480®	Triflumuron	250	ml/ha
9/03/24	PIRATE®	Clorfenapir	750	ml/ha
9/03/24	AMPLIGO®	Lambda-Cialotrina + Clorantraniliprole	150	ml/ha
2/04/24	ENGEO PLENO S®	Tiametoxam + Lambda-Cialotrina	250	ml/ha
2/04/24	INTREPID 240 SC®	Metoxifenoza	180	ml/ha
10/04/23	BULLDOCK SC125®	Beta-ciflutrina	100	ml/ha
10/04/23	FOX XPRO®	Proticonazol+ Trifloxistrobina + Bixafen	500	ml/ha
10/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
18/04/23	BOLD®	Acetamiprido + Fenpropatrina	1500	ml/ha
18/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
24/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
24/04/23	ORTHENE 750®	Acefato + Silicato de Alumínio	1000	g/ha
28/04/23	CURBIX SC200®	Etiprole	1000	ml/ha
28/04/23	AUREO®	MSO	500	ml/ha
28/04/23	ENGEO PLENO S®	Tiametoxam + Lambda-Cialotrina	250	ml/ha
Adubação				
19/02/24		08.28.16	300	kg/ha
10/03/24		20.05.20	200	kg/ha
21/03/24		46.00.00	200	kg/ha

ANEXO IV

Tabela 15. Condições meteorológicas das aplicações durante o primeiro ensaio.

Ensaio 01 - Aplicação A - 09/03/2024

Tratamento	Horário	Vento (km h⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Direção do vento (°)
T13	8:27	3.4	74.2	23.4	339
T09	8:43	2.9	70.5	24.3	345
T05	8:48	4.5	68.0	24.1	305
T12	8:55	6.4	66.3	25.4	219
T08	9:11	5.3	64.2	26.2	187
T04	9:18	7.2	63.2	26.3	186
T11	9:26	4.7	64.0	26.2	135
T07	9:47	6.5	62.4	25.9	163
T03	9:53	8.1	60.0	26.5	121
T10	10:02	6.5	60.2	26.9	81
T06	10:13	7.3	59.1	26.4	72
T02	10:19	8.2	58.2	26.5	34
Testemunha	10:26	8.1	55.7	26.5	47

Ensaio 01 - Aplicação B - 16/03/2024

Tratamento	Horário	Vento (Km.h⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Direção do vento (°)
T13	7:30	3.1	81.4	23.8	84
T09	7:45	2.9	81.0	24.2	95
T05	7:50	2.8	80.7	24.0	73
T12	7:58	3.3	80.3	24.5	144
T08	8:09	3.6	78.0	25.4	125
T04	8:14	2.4	77.1	25.5	138
T11	8:30	4.3	75.9	26.1	99
T07	8:38	3.6	74.4	26.2	75
T03	8:44	5.2	73.6	26.0	87
T10	8:54	6.1	73.2	26.4	66
T06	9:05	5.7	72.0	26.7	74
T02	9:10	4.9	70.7	27.0	75
Final	9:18	4.5	69.6	27.3	83

Dados de velocidade do vento, umidade relativa e temperatura foram obtidos com termo-higro-anemômetro LM8000 (Lutron Instruments, Taiwan) ao passo que a direção do vento foi capturada pela estação meteorológica modelo Valley 365 (Valley irrigation, Nebraska, Estados Unidos).

Tabela 16. Dados meteorológicos das aplicações durante o segundo ensaio.

Ensaio 02 - Aplicação A - 22/03/2024					
Tratamento	Horário	Vento (Km.h⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Direção do vento (°)
C13	7:34	1.3	86.5	20.8	109
C09	7:44	2.7	82.8	21.0	103
C05	7:49	1.9	82.0	21.1	99
C12	7:55	3.3	79.7	21.3	102
C08	8:03	4.2	75.3	21.0	87
C04	8:10	5.1	71.3	21.4	96
C11	8:15	3.7	68.2	21.4	84
C07	8:25	2.8	66.7	21.7	80
C03	8:29	4.5	65.1	22.4	93
C10	8:35	2.1	60.0	23.5	95
C06	8:47	4.1	59.9	24.8	82
C02	8:52	3.5	59.1	25.6	88
Final	8:54	5.2	58.6	25.9	90

Ensaio 02 - Aplicação B - 29/03/2024					
Tratamento	Horário	Vento (Km.h⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Direção do vento (°)
C13	7:28	2.5	83.2	18.6	189
C09	7:41	6.1	83.1	18.8	123
C05	7:46	4.7	83.1	18.9	134
C12	7:53	4.5	82.4	19.2	142
C08	8:04	3.1	82.0	20.0	52
C04	8:10	1.8	81.6	20.5	77
C11	8:14	4.8	81.3	21.2	65
C07	8:24	5.2	79.3	21.9	61
C03	8:29	5.5	77.4	22.6	54
C10	8:36	6.3	76.8	23.1	73
C06	8:50	2.9	76.4	23.8	75
C02	9:06	3.1	75.3	24.3	82
Final	9:10	4.6	75.0	24.5	77

Dados de velocidade do vento, umidade relativa e temperatura foram obtidos com termo-higro-anemômetro LM8000 (Lutron Instruments, Taiwan) ao passo que a direção do vento foi capturada pela estação meteorológica modelo Valley 365 (Valley irrigation, Nebraska, Estados Unidos).

ANEXO V

Tabela 17. Volumes de gota utilizados para a determinação da tensão superficial.

Calda	Volume (µL)
C1	14,3
C2	7,4
C3	4,9
C4	7,8
C5	12,7
C6	8,1
C7	5,0
C8	7,9
C9	13,7
C10	8,0
C11	5,1
C12	8,2
C13	14,0