



**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Morrinhos

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

DANIELLE DE PAULA OLIVEIRA

**ESPECTROFOTOMETRIA DE FIO E DEPÓSITO DE CALDA DO
DRONE T40**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lilian Lúcia Costa

Coorientador: Dr. Diego Belapart

MORRINHOS - GO

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

DANIELLE DE PAULA OLIVEIRA

**ESPECTROFOTOMETRIA DE FIO E DEPÓSITO DE CALDA DO
DRONE T40**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado em Agronomia do
Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos,
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lilian Lúcia Costa

Coorientador: Dr. Diego Belapart

MORRINHOS - GO

2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

O48e OLIVEIRA, DANIELLE DE PAULA
ESPECTROFOTOMETRIA DE FIO E DEPÓSITO DE CALDA DO
DRONE T40 / DANIELLE DE PAULA OLIVEIRA; orientadora
LILIAN LÚCIA COSTA; co-orientador DIEGO BELAPART. --
Morrinhos, 2023.
25 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, 2023.

1. Pennisetum glaucum L. . 2. Tecnologia de
aplicação . 3. Deposição . 4. RPAS . 5. Altitude de
voo. I. COSTA, LILIAN LÚCIA, orient. II. BELAPART,
DIEGO, co-orient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Minha profunda gratidão a Deus, pela vida, saúde, força e sustento.

Aos meus pais, Edilamar Marcelino de Paula e Valtene Bento de Oliveira, um agradecimento especial pelo apoio constante e incentivo ao longo desta jornada. Em especial, minha mãe, por ser minha parceira e companheira em todos os momentos. Palavras são insuficientes para agradecê-los.

A minha avó Terezinha Augusta e aos tios Rosimeire Marcelino, Jamil Aparecido e Cleomar Marcelino, agradeço o amor, carinho e orações.

A minha prima-irmã Jamilly Vitória, agradeço por estar sempre ao meu lado.

Ao meu namorado e amigo, Daniel Barrelim, agradeço o apoio e incentivo durante todo o processo. Seu amor, carinho, companheirismo, paciência e compreensão foram fundamentais.

Às minhas amigas Giovanna Verônica, Mhariana Fernandes, Marya Eduarda, Dayane Cristine e Cleidianne Rodrigues, expresso minha gratidão pela amizade, carinho e apoio. Vocês não apenas tornaram os dias mais leves, mas compartilharam comigo momentos de sonhos, lágrimas, desafios e celebrações.

Aos amigos, Diogo Cezarotti, Felipe Bonifácio, Gabriela Araújo, Laryssa Márcia, Victor Rodrigues, Jordana Veronez, Amanda Martins, Eduardo Souza e Flávio Tosta, agradeço todos os momentos especiais e apoio durante a graduação.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Lílian Lúcia Costa, agradeço o tempo dedicado a me auxiliar, os valiosos ensinamentos, a confiança depositada e a amizade.

Ao coorientador e pesquisador Dr. Diego Belapart e a Applic Consultoria, agradeço por todo auxílio durante a execução deste projeto.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Miriam Büchler Tarumoto e Prof.^a Dr.^a Flávia Dionísio Pereira, agradeço a disponibilidade e contribuições valiosas para melhoria deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos e ao corpo docente, pelas contribuições à minha formação.

Aos que me auxiliaram nos detalhes técnicos e contribuíram para o sucesso desta defesa: Daniel Barrelim, Túlio Machado, Breno Rodrigues e Paulo Sebastião.

A todos que contribuíram, de maneira direta ou indireta, durante esta jornada, enriquecendo minha trajetória pessoal e profissional, muito obrigada!

ESPECTROFOTOMETRIA DE FIO E DEPÓSITO DE CALDA DO DRONE T40

RESUMO

A ascensão dos drones na agricultura proporciona soluções promissoras para a pulverização aérea, otimizando a eficiência dos processos ao garantir economia e rapidez. Nesse âmbito, parâmetros como taxa de aplicação, tamanho e distribuição das gotas e faixa de deposição são essenciais para garantir o sucesso da pulverização. Assim, objetivou-se avaliar a altitude de voo em relação a faixa efetiva de aplicação e o depósito de gotas pulverizadas, utilizando-se o drone de pulverização agrícola DJI AGRAS T40. O estudo foi conduzido na Fazenda Santa Luzia, em Cristalina, Goiás. Adotou-se a espectrofotometria de fio, utilizando-se linha de inspeção e papel hidrossensível, analisando a uniformidade da aplicação pelo software AccuPatt+1.06. Posteriormente avaliou-se a faixa efetiva e o depósito de calda em relação à altitude de voo, utilizando-se marcador metálico a base de sulfato de manganês e um espectrofotômetro de absorção atômica. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando encontrada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). Os resultados evidenciam uma distribuição homogênea das gotas pulverizadas, bem como a relevância da altitude de voo em relação a faixa de aplicação e ao depósito de calda. Conclui-se que o drone DJI AGRAS T40 tem faixa efetiva de aplicação de 10 metros e coeficiente de variação (CV) de 11%. Além disso, a altitude de voo de 4,5 metros, resulta em maior uniformidade e depósito de calda do que a altitude de 3,5 metros.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum* L., Tecnologia de aplicação, Deposição, RPAS, Altitude de voo.

WIRE SPECTROPHOTOMETRY AND SPRAY DEPOSIT OF THE T40 DRONE

ABSTRACT

The rise of drones in agriculture provides promising solutions for aerial spraying, optimizing the efficiency of processes by ensuring economy and speed. In this context, parameters such as application rate, droplet size and distribution and deposition range are essential to ensure spraying success. Thus, the aim was to evaluate the flight altitude related to the effective application range and the deposit of sprayed droplets, using the DJI AGRAS T40 agricultural spraying drone. The study was carried on Santa Luzia Farm, in Cristalina, Goiás State. Wire spectrophotometry was adopted, using an inspection line and water-sensitive paper, to analyze the uniformity of the application using the AccuPatt+1.06 software. Subsequently, the effective range and the spray deposit were evaluated related to the flight altitude, using a metal marker based on manganese sulfate and an atomic absorption spectrophotometer. The data were subjected to analysis of variance and once a significant difference was found, the means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$). The results show a homogeneous distribution of sprayed droplets, as well as the relevance of flight altitude related to the application range and the spray deposit. We conclude that the DJI AGRAS T40 drone has an effective application range of 10 meters and a coefficient of variation (CV) of 11%. In addition, the flight altitude of 4.5 meters results in a greater uniformity and spray deposit than the altitude of 3.5 meters.

Keywords: *Pennisetum glaucum* L., Application technology, Deposition, RPAS, Flight altitude.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Drone de pulverização agrícola DJI AGRAS T40.	14
Figura 2. Esquema gráfico representando o método de espectrofotometria de fio com drone de pulverização.	14
Figura 3. Execução do método da espectrofotometria de fio.	15
Figura 4. Execução do método da espectrofotometria de fio.	16
Figura 5. Tabela Delta T.	16
Figura 6. DropScope®.	17
Figura 7. Preparo da calda de pulverização.	18
Figura 8. Coleta de amostras.	19
Figura 9. Etapas do processo de extração do marcador metálico.	19
Figura 10. Coeficiente de variação (CV%) em relação ao Swath FT.	22

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparação do perfil de distribuição da pulverização de duas repetições.	21
Gráfico 2. Média gerada a partir do perfil de distribuição da pulverização.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese da análise de variância para o depósito de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$ de folha) nos terços superior, inferior e total (superior + inferior).....	23
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Caracterização do Experimento	13
2.2. Coleta de Dados e Execução do Experimento	14
2.2.1. Faixa Efetiva de Aplicação e Espectro de Gotas Pulverizadas	14
2.2.2. Depósito da Calda Fitossanitária em Diferentes Altitudes.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1. Faixa Efetiva de Aplicação e Espectro de Gotas Pulverizadas.....	20
3.2. Depósito da Calda Fitossanitária em Diferentes Altitudes	23
4. CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) destaca-se como a principal cultura de cobertura de solo no Brasil, devido às suas propriedades fisiológicas e ao elevado teor de matéria orgânica (SILVA et al., 2021). Esta planta anual de verão, da família Poaceae, caracteriza-se pelo rápido crescimento e pela rusticidade, que permitem sua adaptação a condições adversas, como escassez de água, altas temperaturas e solos de baixa fertilidade (TAGADE & SAWARKAR, 2023; CARVALHO et al., 2022). Além disso, a cultura também desempenha um papel crucial na produção de cereais, silagem, feno, palhada em sistemas de plantio direto (SPD) e na recuperação de pastagens degradadas (LIMA et al., 2020).

No cultivo de milheto safrinha, os produtores frequentemente se deparam com a presença indesejada da soja tiguera, uma planta voluntária transgênica, resistente ao glifosato (OLIVEIRA et al., 2021). Quando essas plantas voluntárias ocorrem em altas densidades, competem com as plantas cultivadas, tornando sua erradicação uma necessidade (GALON et al., 2019). Para isso, adota-se o manejo de dessecação, por meio da aplicação de herbicidas (OLIVEIRA et al., 2021).

As aplicações geralmente são realizadas utilizando-se pulverizadores terrestres (arrasto, acoplado ou autopropelido) ou aviões agrícolas (ANDRADE et al., 2018). No entanto, esses métodos enfrentam desafios, como a existência de vegetação e redes elétricas, a dificuldade de acesso a determinados locais e os riscos de acidentes. Diante desse cenário, a tecnologia de aplicação, aliada à agricultura de precisão, tem se destacado na busca para ampliar a mecanização e maximizar a eficiência dos processos (CARLESSO & BARIVIERA, 2022).

Esses avanços têm impulsionado a ascensão dos drones ou RPAS (Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas) como uma ferramenta promissora não apenas para o sensoriamento remoto, mas também para a pulverização aérea no controle de pragas, doenças e plantas voluntárias (CARLESSO & BARIVIERA, 2022). Além dos benefícios em termos de economia e rapidez, esses equipamentos viabilizam o acesso a áreas acidentadas, otimizam as pulverizações, evitam o amassamento das culturas e reduzem os riscos de contaminação (ANDRADE et al., 2018; SOUZA et al., 2022; PAIVA & PÉRA, 2023).

Apesar dos estudos ainda limitados sobre as pulverizações realizadas por drones, a premissa básica da tecnologia de aplicação é a mesma, ou seja, aplicar a menor quantidade possível de ingrediente ativo, alcançando eficiência máxima, com a mínima contaminação ambiental (MATUO, 1990). Esse conceito aumenta a complexidade do processo, especialmente devido à variedade de fatores que dificultam o alcance efetivo do alvo biológico (CUNHA & SILVA, 2022; DECARO JÚNIOR, 2019).

Desse modo, para obter resultados satisfatórios, é crucial que a aplicação siga determinados parâmetros operacionais que incluem a taxa de aplicação, o diâmetro e o espectro das gotas pulverizadas e a faixa de deposição. Além disso, fatores como a altitude, a velocidade de voo, as condições meteorológicas e operacionais e as recomendações específicas do produto, devem ser considerados para garantir o desempenho máximo da pulverização (ANTUNIASSI et al., 2022).

A taxa de aplicação refere-se à quantidade aplicada por unidade de área e é expressa em litros por hectare ($L\ ha^{-1}$) (MATUO, 1990). Esse parâmetro desempenha um papel fundamental na distribuição eficaz do produto, sendo determinado em função do alvo a ser controlado, tipo e modo de ação do produto fitossanitário, condições meteorológicas, necessidade de cobertura e estágio de desenvolvimento da cultura (FREITAS et al., 2022).

O tamanho de gotas é medido em micrômetros (μm) e está diretamente relacionado ao diâmetro mediano volumétrico - DMV (NASCIMENTO, 2020). Esse parâmetro é determinado em função do produto utilizado, condições meteorológicas e situação do alvo, influenciando diretamente na escolha da ponta de pulverização. Em geral, as pontas não produzem um único diâmetro de gotas, resultando em um perfil não homogêneo conhecido como espectro de gotas (COSTA et al., 2019).

A faixa de deposição refere-se ao padrão de distribuição na linha de voo, ou seja, o depósito das gotas pulverizadas, que se subdivide em faixa total e faixa efetiva. A faixa de deposição total corresponde à linha perpendicular ao deslocamento, enquanto a faixa efetiva representa a largura de uma única aplicação, incluindo as sobreposições. Para dimensionar esse parâmetro, é necessário ter informações como o volume de calda, a altitude e velocidade de voo (ANDRADE et al., 2018; SILVA NETO, 2022), a direção e velocidade do vento, o diâmetro de gotas, a direção da aplicação, as condições meteorológicas (GENTIL-SERGENT et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021) e o tipo de produto (ANTUNIASSI et al., 2022).

Após a aplicação, é importante avaliar o depósito do produto no alvo, para comprovar a eficácia da pulverização (ANTUNIASSI et al., 2022). Essa avaliação é realizada com o auxílio de substâncias marcadoras, como corantes, pigmentos fluorescentes e íons metálicos adicionados à calda de pulverização (ASSUNÇÃO et al., 2020; CAMPOS, 2019). Tais substâncias fornecem dados sobre a distribuição e uniformidade da aplicação, contribuindo para a minimizar possíveis lacunas. Entre os mais utilizados estão aqueles a base de manganês, zinco e cobre, principalmente devido à facilidade de amostragem do produto para quantificação e ao custo acessível (FREITAS et al., 2022).

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar a altitude de voo em relação a faixa efetiva de aplicação e o depósito de gotas pulverizadas, utilizando-se o drone de pulverização agrícola DJI AGRAS T40.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização do Experimento

O experimento foi conduzido durante a safra 2022/23 na Fazenda Santa Luzia, localizada no município de Cristalina, Goiás, a 16°46'07"S e 47°36'49"O e altitude de 1190 m. Após a colheita da soja, no mês de abril, semeou-se a lancha o milho.

Para as aplicações, utilizou-se o drone agrícola DJI AGRAS T40 (Figura 1) que foi regulado para obter o volume de aplicação de 10 L ha⁻¹ e uma velocidade de deslocamento de 25 km h⁻¹. O modelo de ponta utilizado foi o atomizador rotativo (LX8060SZ), proporcionando um diâmetro mediano volumétrico de 136 µm classificado como gotas finas de acordo com norma ASAE S570 (ASAE, 2000).

As avaliações foram realizadas em duas etapas. Na primeira, avaliou-se a faixa de aplicação do drone por meio da espectrofotometria de fio utilizando-se um fio de inspeção e o espectro de gotas foi analisado com papel hidrossensível, em uma área sem cultivo, utilizando-se água e substância corante (rodamina). Na segunda etapa, quantificou-se por meio de um marcador metálico (sulfato de manganês), o depósito de uma calda com herbicida nos terços superior e inferior da planta de milho e o depósito total utilizando alvos artificiais (papel de acetato) e naturais (folhas de milho), em duas alturas de voo (3,5 e 4,5 metros, respectivamente).

Figura 1. Drone de pulverização agrícola DJI AGRAS T40.



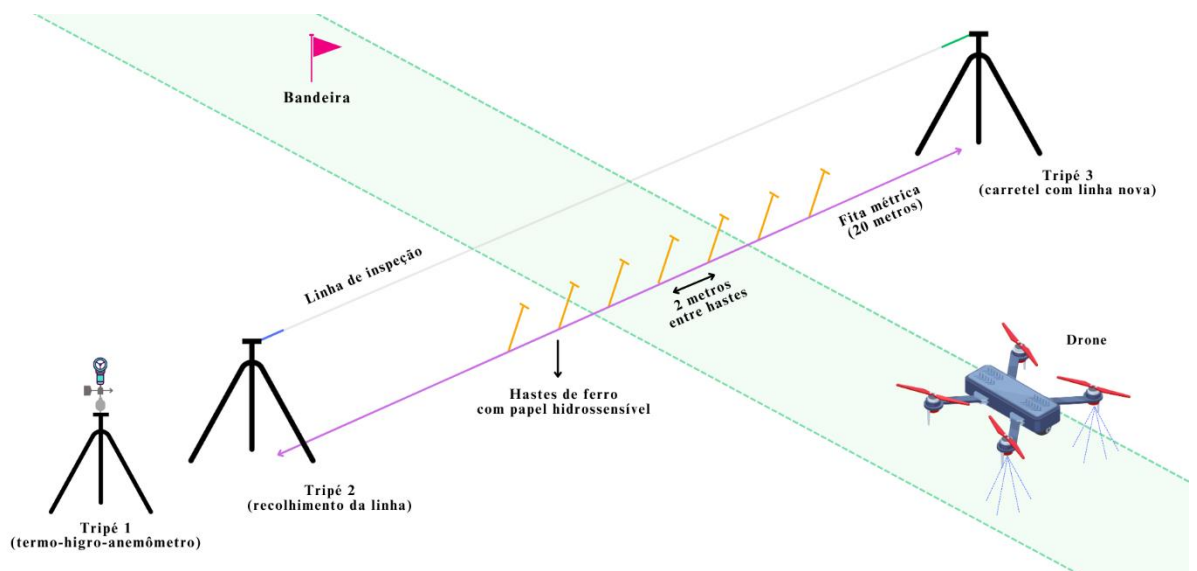
Fonte: OLIVEIRA, 2023.

2.2. Coleta de Dados e Execução do Experimento

2.2.1. Faixa Efetiva de Aplicação e Espectro de Gotas Pulverizadas

Na primeira etapa do experimento, a coleta de dados foi realizada segundo a norma ASAE - American Society of Agricultural Engineers S386.2 (ASAE, 2018) para testes de deposição em pulverizações aéreas (drones/RPAS). Conforme descrito na norma, para análise utiliza-se uma linha de inspeção (gotas em fios) e/ou papel hidrossensível (Figura 2).

Figura 2. Esquema gráfico representando o método de espectrofotometria de fio com drone de pulverização.



Fonte: OLIVEIRA, 2023.

Para a execução do método de espectrofotometria de fio ou Inspeção da Faixa de Deposição® (IFD) do drone T40, preparou-se uma calda com água limpa e substância corante (rodamina) na concentração de 0,02% (v/v). A linha de inspeção (fio de poliéster/algodão), com 1 milímetro de diâmetro e 20 metros de comprimento, foi posicionada a 0,5 metros de altura com o auxílio de dois tripés, um deles contendo um carretel com linha nova e o outro fixado a uma roldana para o recolhimento. Também se utilizou papéis hidrossensíveis, dispostos em linha, sob hastes metálicas com inclinação de 45°, espaçados entre si a cada 2 metros, considerando o centro da linha como referência (Figura 3).

Figura 3. Execução do método da espectrofotometria de fio.



(A) adição do corante ao tanque, (B) instalação da linha de inspeção, (C) papéis hidrossensíveis. Fonte: OLIVEIRA, 2023.

Realizaram-se seis voos (repetições) a uma altitude de 4,5 metros, cruzando perpendicularmente sobre o centro da linha demarcada com o auxílio de uma bandeira. Em cada repetição, utilizou-se linha nova e cartões de papel hidrossensível, os quais foram recolhidos e identificados. A cada voo, as condições meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e direção/velocidade do vento) foram registradas com o auxílio de um termo-higro-anemômetro portátil da marca Kestrel® modelo 5500 (Figura 4), que apresentava uma constante ideal para aplicações, com delta T (ΔT) de 2 a 8 (Figura 5), aos 27°C, umidade relativa de 65% e ventos entre 5 e 8 km h⁻¹.

Na Inspeção da Faixa de Deposição®, utilizou-se o software AccuPatt+1.06 que realiza a análise estatística dos depósitos identificados pelo espectrofotômetro. O software calcula a média e o coeficiente de variação (CV%) em relação a faixa efetiva,

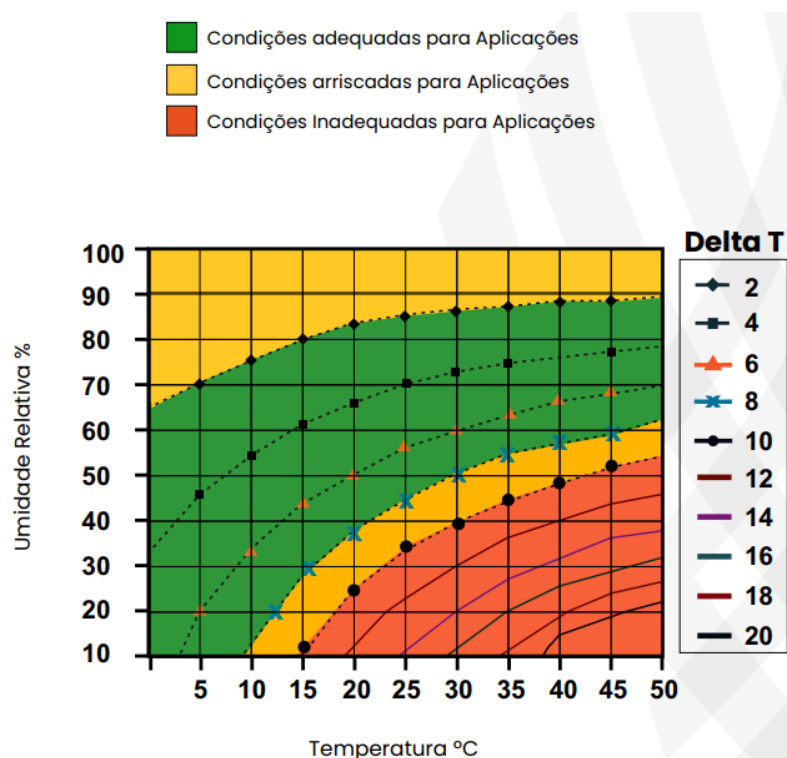
possibilitando a determinação da largura ideal da faixa de deposição (FD) para as direções de voo de ida e volta (RT - back-to-back) e circular do carrossel (BF - back and forth). Ao concluir a análise, o sistema gera uma representação gráfica do perfil de distribuição da pulverização, permitindo uma avaliação da uniformidade da aplicação (ANTUNIASSI et al., 2022; SANTOS JUNIOR, 2022).

Figura 4. Execução do método da espectrofotometria de fio.



(A) Demarcação do centro da linha, (B) Termo-higro-anemômetro Kestrel®. Fonte: OLIVEIRA, 2023.

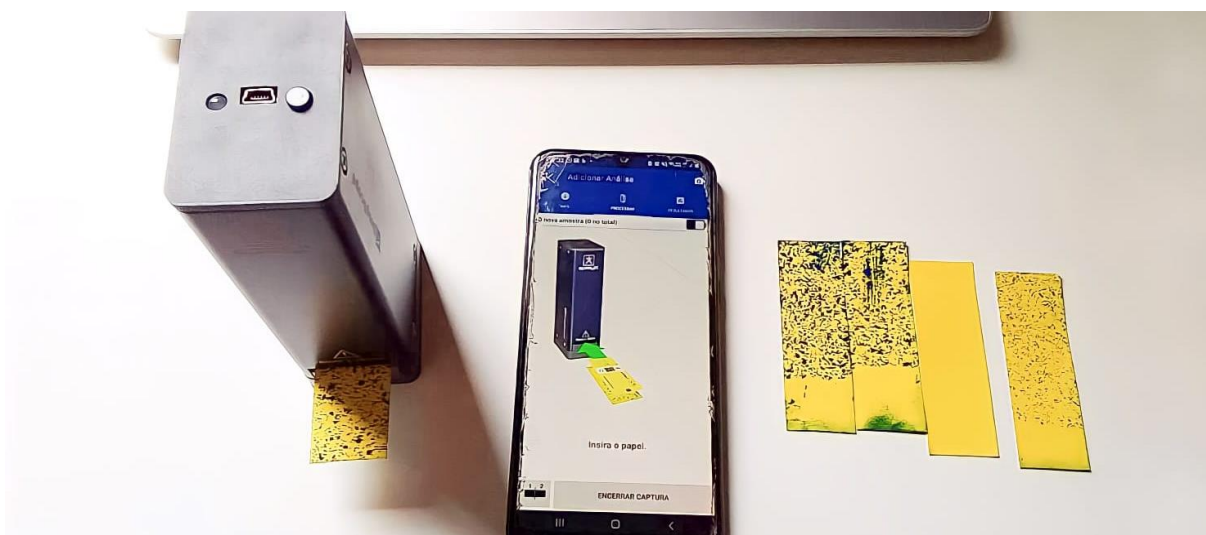
Figura 5. Tabela Delta T.



Fonte: <https://materiais.tecnofiltros.ind.br/tabela-delta-t>.

Posteriormente, o diâmetro mediano volumétrico (DMV, micra - μm) e a densidade de gotas (gotas cm^{-2}) foram avaliados utilizando papéis hidrossensíveis (76 x 26 mm). Eles permitem determinar se as gotas estão chegando ao alvo, pois sua coloração original (amarela) é alterada (manchas azuladas) em contato com a calda de pulverização (GRIESANG & FERREIRA, 2021; LUCINI, 2022). Os papéis coletados, foram digitalizados e analisados por meio do software DropScope® (SprayX) (Figura 6).

Figura 6. DropScope®.



Fonte: BELAPART, 2023.

2.2.2. Depósito da Calda Fitossanitária em Diferentes Altitudes

Na segunda etapa, procedeu-se a quantificação do depósito da calda fitossanitária em relação à altitude de voo do drone T40. Para tal, foram demarcadas duas áreas amostrais, realizando-se dois voos, um deles a 3,5 metros de altitude e o outro a 4,5 metros, com o objetivo de avaliar a variação do depósito da calda fitossanitária com as diferentes altitudes de voo. Adotou-se a mesma configuração de regulagem do drone utilizada na primeira etapa.

Os protocolos foram conduzidos em uma área cultivada com milho. A calda de pulverização foi preparada utilizando-se o adjuvante GRAP TECH_{NR} (recomendado para pulverizações com drone), o herbicida Zartan (produto seletivo, sistêmico e pós-emergente, utilizado para controlar uma ampla variedade de plantas daninhas de folhas largas), Joint® Ultra (adjuvante à base de óleo de soja modificado) e o marcador

metálico formulado à base de sulfato de manganês (31% de Mn^{2+}), na concentração de 6 g L^{-1} (Figura 7).

Na avaliação quantitativa do depósito de calda, foram empregados alvos artificiais e naturais. Para representar o terço inferior da cultura, utilizaram-se folhas de acetato transparente, enquanto o terço superior foi representado pelas próprias folhas das plantas. Após as pulverizações, coletou-se cinco amostras dos alvos artificiais e cinco amostras dos alvos naturais, sendo cada amostra dos alvos naturais composta por três folhas de milho (Figura 8).

Figura 7. Preparo da calda de pulverização.



(A) adjuvante, (B) herbicida, (C) sulfato de manganês, (D) óleo, (E) recipiente pré-mistura, (F) adição de água no tanque do drone. Fonte: OLIVEIRA, 2023.

Figura 8. Coleta de amostras.



(A) alvos, (B) alvos artificiais, (C) alvos naturais. Fonte: Arquivo pessoal (OLIVEIRA, 2023).

As amostras coletadas a campo foram enviadas para o Laboratório de Entomologia e Controle Biológico (Vitae) do Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos e mantidas sob refrigeração até a avaliação. De acordo com o método descrito por Oliveira e Machado-Neto (2003), estas foram alocadas em sacos de polietileno, aos quais se adicionou 250 mL de solução de ácido clorídrico (HCl - 37% P.A./ACS) 0,2 mol L⁻¹, seguindo-se repouso por 60 minutos para extração do sal aplicado (Figura 9).

Figura 9. Etapas do processo de extração do marcador metálico.



(A) ácido clorídrico (HCl), (B) calda ácida, (C) volume de diluição (250ml), (D) preparo das amostras, (E) repouso, (F) lavagem e (G) secagem das folhas. Fonte: OLIVEIRA, 2023.

Após esse período, o extrato foi filtrado e se quantificou o íon metálico (Mn^{2+}) recuperado em espectrofotômetro de absorção atômica, marca Agilent, no laboratório ForSolo Agriscience, em Jaboticabal, SP. Os folíolos coletados foram lavados e digitalizados para estimar a área foliar por meio de um medidor de área foliar LI-COR (modelo LI-3100C, Lincoln, Nebraska, U.S.A.).

As concentrações de manganês, expressas em $mg L^{-1}$, obtidas a partir das leituras do espectrofotômetro foram relacionadas às áreas foliares medidas. Posteriormente, essas concentrações foram transformadas em volume por unidade de área ($\mu L cm^{-2}$) por meio da expressão matemática:

$$C_i.V_i = C_f.V_f$$

Em que:

C_i = concentração inicial na calda de aplicação ($mg L^{-1}$);

V_i = volume retido pelo alvo (mL);

C_f = concentração detectada em densidade óptica ($mg L^{-1}$); e

V_f = volume de diluição da amostra de cada planta (mL).

O resultado dessa expressão foi multiplicado por 1.000 para transformação do volume retido pelo alvo de mL para μL por folíolo de milho ou folha de acetato e, em seguida, dividido pela área foliar do respectivo folíolo ou folha de acetato.

As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR 3.0. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando encontrada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

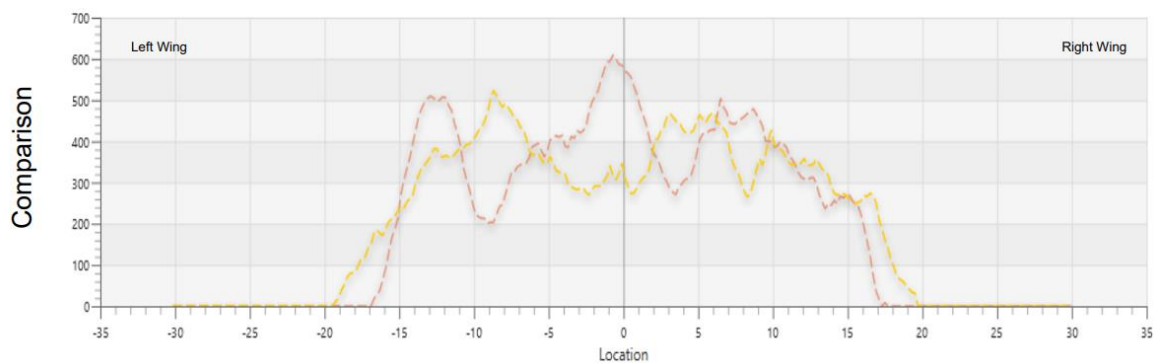
3.1. Faixa Efetiva de Aplicação e Espectro de Gotas Pulverizadas

Dentre as seis repetições de voo, utilizou-se as duas que tiveram maior significância (semelhança) em uma faixa efetiva de aplicação, sem a interferência de efeitos climáticos adversos (Gráfico 1). A partir dessa seleção, foi gerada uma média que representa a deposição total, destacando-se a deposição efetiva por meio de uma linha pontilhada (Gráfico 2). Com base nos gráficos abaixo, durante a aplicação de água e rodamina, registrou-se um valor de 32 pés (Swath FT - eixo horizontal x), que

corresponde a uma faixa de aplicação de 10 metros, com um coeficiente de variação do racetrack (CV RT) de 11% (Figura 10).

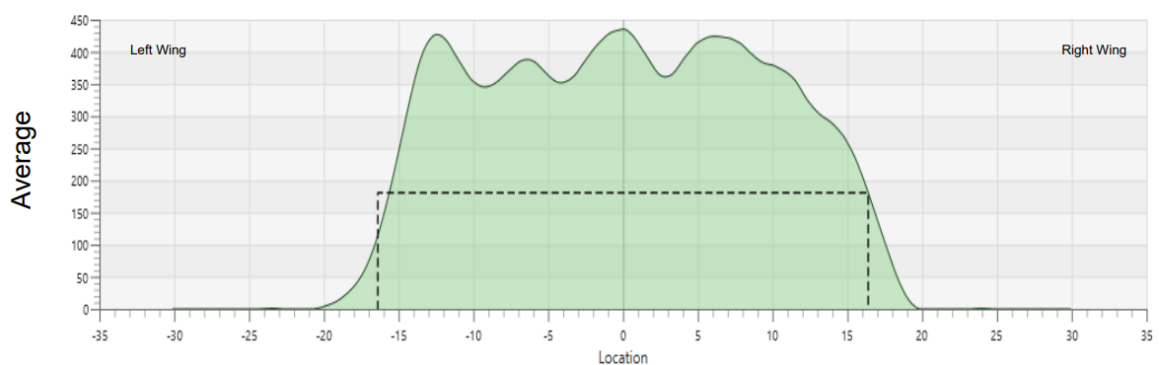
Conforme as diretrizes de Parkin e Wyatt (1982), o CV% deve ser inferior a 20% para garantir a uniformidade da faixa de deposição. Já DeBoer e Wiens (1983) propuseram que um CV entre 10% e 15%, ou inferior, indica uniformidade satisfatória. Assim, quanto menor o coeficiente, melhor a dispersão das gotas e, portanto, os resultados obtidos evidenciam uma distribuição homogênea na faixa de aplicação, o que também foi corroborado pela análise dos papéis hidrossensíveis.

Gráfico 1. Comparação do perfil de distribuição da pulverização de duas repetições.



Onde: Eixo horizontal (x) - distâncias em pés; Eixo vertical (y) - recuperação do corante em cada ponto do fio. Fonte: Applic Agro Ltda.

Gráfico 2. Média gerada a partir do perfil de distribuição da pulverização.



Onde: Área verde - faixa de deposição total; Linha pontilhada - faixa de deposição efetiva; Fonte: Applic Agro Ltda.

Figura 10. Coeficiente de variação (CV%) em relação ao Swath FT.

Swath (FT)	CV (RT)	CV (BF)
23	26 %	27 %
24	25 %	26 %
25	24 %	25 %
26	22 %	23 %
27	20 %	20 %
28	17 %	16 %
29	14 %	12 %
30	10 %	8 %
31	8 %	8 %
32	11 %	12 %
33	15 %	16 %
34	21 %	21 %
35	26 %	26 %
36	31 %	31 %
37	35 %	35 %
38	39 %	39 %
39	42 %	42 %
40	46 %	46 %
41	49 %	49 %

Onde: FT - distância em feet (pés), RT - Racetrack (ida e volta) para drone e BF - Back and Forth (carrossel) para aeronave. Fonte: Applic Agro Ltda

Observou-se que não houve variação no diâmetro mediano volumétrico (DMV) na faixa efetiva de aplicação de 10 metros, tanto utilizando água com corante quanto na aplicação do produto fitossanitário (Gráfico 1). O DMV foi mantido em 136 μm , classificado como gotas finas de acordo com norma ASAE S570 (ASAE, 2000) e a densidade foi de 22,29 gotas cm^{-2} .

Em um estudo sobre a densidade de gotas, Barthelemy (1990) concluiu que se deve atingir entre 20 e 30 gotas cm^{-2} para aplicações com inseticidas, de 30 a 40 gotas cm^{-2} para herbicidas em pós-emergência e de 50 a 70 gotas cm^{-2} para fungicidas. No entanto, pesquisas posteriores indicaram que o número de gotas apresenta divergências para as aplicações de herbicidas em pré e pós-emergência e conforme a classificação do produto (MATTHEWS, 2000; VARGAS & GLEBER, 2005). Segundo esses autores, para herbicidas de pré-emergência recomenda-se de 20 a 30 gotas cm^{-2} , para herbicidas de pós-emergência sistêmicos de 20 a 30 gotas cm^{-2} e herbicida de pós-emergência de contato de 30 a 50 gotas cm^{-2} .

Nesse estudo, as aplicações para o controle de plantas daninhas de folha larga foram realizadas utilizando-se um herbicida sistêmico de pós-emergência. Comparando os resultados do número de gotas obtido (22,29 gotas cm^{-2}) com o número de gotas recomendado na literatura (20 a 30 gotas cm^{-2}), verificou-se que o número de gotas proporciona cobertura suficiente para o controle do alvo.

3.2. Depósito da Calda Fitossanitária em Diferentes Altitudes

Entre as altitudes de voo de 3,5 e 4,5 metros, não se constataram diferenças estatísticas significativas no depósito da calda fitossanitária, obtida a partir da recuperação do marcador metálico, nos folíolos de milheto e nos papéis de acetato, nos terços superior e inferior, respectivamente (Tabela 1). No entanto, houve diferença significativa entre as altitudes de voo no que diz respeito ao depósito total, com maiores valores de depósito registrados na altitude de voo de 4,5 metros (Tabela 1).

Tabela 1. Síntese da análise de variância para o depósito de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$ de folha) nos terços superior, inferior e total (superior + inferior).

	Superior	Inferior	Total
Altitude 3,5 m	0,00768 a	0,00934 a	0,01704 b
Altitude 4,5 m	0,00934 a	0,01000 a	0,01936 a
F	1,770 ^{ns}	0,466 ^{ns}	12,819 [*]
CV (%)	23,190	15,810	5,630

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pelo teste F, * significativo a 5% de probabilidade.

Em geral, os folíolos da porção superior das plantas ficam mais expostos à aplicação, interceptando a maior parte das gotas produzidas, enquanto o terço inferior recebe menores depósitos de calda. Isso ocorre devido a sobreposição das folhas (efeito “guarda-chuva”) e da possibilidade de perdas por evaporação e/ou deriva das gotas menores, o que ocasiona em irregularidade no volume depositado (FREITAS et al., 2022; COSTA et al., 2017).

No momento da aplicação, as plantas de milheto estavam em estágios iniciais de desenvolvimento e pouco enfolhadas, o que justifica a ausência de diferenças para os depósitos nas diferentes alturas de voo, tanto no terço superior da planta quanto no terço inferior. No entanto, os resultados referentes ao total depositado evidenciam que as pequenas discrepâncias nos depósitos dos terços, tornaram-se significativas quando somadas.

Em relação à altitude de voo do drone T40, observou-se que o aumento de 3,5 metros para 4,5 metros proporcionou um depósito total maior da calda pulverizada (Tabela 1). Resultados divergentes foram encontrados em trabalhos semelhantes. Na aplicação de inseticida na cultura do milho usando o drone DJI AGRAS MG-1, Cunha e Silva (2023) investigaram os efeitos da altitude de voo de 1,5 e 3,0 metros na

deposição de calda pulverizada. Eles observaram que o aumento da altitude de voo de 1,5 metros para 3,0 metros promoveu a redução na deposição de produto. Da mesma forma, Lucini (2022) utilizando o drone DJI AGRAS MG-1S nas altitudes de 2,0 e 3,0 metros, também obteve maior cobertura do alvo na menor altitude.

As diferenças entre esses resultados e o que foi encontrado neste estudo, podem ser atribuídas às características distintas dos drones utilizados. Os drones MG, devido ao seu sistema de propulsão, têm a capacidade de transportar cargas líquidas de até 10 kg (10 L ha⁻¹) e estão equipados com rotores de menor porte em comparação com os drones T40. Estes, por sua vez, são equipados com rotores coaxiais duplos e podem operar com cargas de até 40 kg (40 L ha⁻¹).

Essas diferenças operacionais podem explicar o efeito downwash, caracterizado pelo fluxo de ar descendente gerado pelo rotor, sendo mais pronunciado nas tecnologias mais recentes (ZHENG et al., 2018) Esse efeito exerce um impacto significativo na otimização da aplicação de produtos fitossanitários, minimizando os impactos ambientais e influenciando diversos aspectos, como a deposição das gotas no dossel, a redução da deriva, a uniformidade de distribuição e o direcionamento das gotas, além de afetar diretamente na largura da faixa de pulverização (SOUZA et al., 2022; CUNHA & SILVA, 2023).

4. CONCLUSÃO

O drone de pulverização agrícola DJI AGRAS T40 tem faixa efetiva de aplicação de 10 metros com maior uniformidade e depósito de calda pulverizada na altitude de voo de 4,5 metros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. D. A.; PRETTO, R. D.; CARVALHO, E.; BOLONHEZI, D.; SCARPELLINI, R. J.; CARDOSO, V. B. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Ingeniería y Región**, v. 20, n. 1, p. 73 - 78, 2018. Disponível em: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1912>.
- ANTUNIASSI, U. R.; ALTHMAN, M. P. F.; CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; SANTOS, M. L. M. Avaliação da Faixa de Deposição em Função do Volume de Calda Aplicada por Aeronaves Agrícolas. **Aviação Agrícola**, v. 5, n. 4, p. 55 - 58, 2022. Disponível em: <https://revistaavag.org.br/avaliacao-da-faixa-de-deposicao-em-funcao-do-volume-de-calda-aplicada-por-aeronaves-agricolas/>.
- ASAE S386.2 Feb1988 (2018). **Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI, USA 2018. 10p.
- ASAE. S570. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. American Society of Agricultural Engineering. In: ASAE Standard, AUG99. St. Joseph, 2000. p. 389-391.
- ASSUNÇÃO, H. H. T.; CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, S. M.; ALVES, G. S.; LEMES, E. M. Spray Deposition on Maize Using an Electrostatic Sprayer. **Agricultural Engineering**, v. 40, p. 503-510, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/hjnk3wvvnMJ34jQw5x98BVdB/?lang=en&format=pdf>.
- BARTHELEMY, P. **Choisir les outils de pulvérisations** Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages - ITCF, 1990. 160 p.
- CAMPOS, S. F. B. **Tecnologia de aplicação eletrostática no controle químico de plantas daninhas avaliado visualmente e por imagem aérea**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 60, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29777>.
- CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. **Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, p. 31, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2575>.
- CARVALHO, M. L.; VANOLLI, B. S.; SCHIEBELBEIN, B. E.; BORBA, D. A.; LUZ, F. B.; CARDOSO, G. M.; BORTOLO, L. S.; MAROSTICA, M. E. M.; SOUZA, V. S. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo** [recurso eletrônico]. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 126 p., 2022. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plantas_de_Cobertura_completo.pdf.
- COSTA, L. L.; CARNEIRO, A. L. C. G.; SOUZA, A. D. V.; ALMEIDA, D. P.; FERREIRA, M. C. Caracterização da aplicação com diferentes inseticidas e pontas de pulverização na cultura da soja. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, p. 116 - 123, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/659>.

COSTA, L. L.; CAMPOS, H. B. N.; ARAÚJO, E. F. L.; SANTOS, K. F. Contribuições da Tecnologia de Aplicação para o Manejo de Organismos Alvo. *In: COSTA, L. L. & POLANCZYK, R. A. (ed.) Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias.* Jaboticabal, SP: Funep, 2019.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. 1 - 8, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/gPMVgQCsFrh8NhfTrPmsRKn/>

DEBOER, L. J.; WIENS, E. H. **Test procedures for granular applicator performance testing.** ASAE Paper No. 83-1504, ASAE, St. Joseph, MI 49085. (1983).

DECARO JÚNIOR, S. T. Dinâmica da Calda Fitossanitária no Reservatório do Pulverizador. *In: COSTA, L. L. & POLANCZYK, R. A. (ed.) Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias.* Jaboticabal, SP: Funep, 2019.

FREITAS, B. R.; LOPES, L. S.; SILVA, F. N.; SALES JUNIOR, F. S.; RAETANO, C. G. Variação da taxa de aplicação e pontas de pulverização sobre a produtividade, severidade e controle da ferrugem da soja. *In: X SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação, 2022. Anais [...].* Porto Alegre - RS, 2022.

GALON, L.; HOLZ, C. M.; FORTE, C.T.; NONEMACHER, F.; BASSO, F.J. B.; AGAZZI, L. R.; SANTIN, C. O.; WINTER, F. L.; TONI, J. R.; PERIN, G. F. Competitive interaction and economic injury level of *Urochloa plantaginea* in corn hybrids. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, e0182019, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/NJbQW3rBWFKSHZtYLgP5MNC/abstract/?format=html&lang=pt#>

GENTIL-SERGEANT, C.; BASSET-MENS, C.; GAAB, J.; MOTTES, C.; MELERO, C.; FANTKE, P. Quantifying pesticide emission fractions for tropical conditions. **Chemosphere**, v. 275, pág. 130014, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33662717/>

GRIESANG, F.; FERREIRA, M. C. Tecnologia de Aplicação para Herbicidas. *In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (organizadores). MATOLOGIA: Estudos sobre plantas daninhas.* Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2021, p. 428 - 449.

LIMA, A. F.; DE SOUSA, G. G.; DE SOUZA, M. V. P.; DA SILVA JUNIOR, F. B.; GOMES, S. P.; MAGALHÃES, C. L. Cultivo do Milheto Irrigado com Água Salina em Diferentes Coberturas Mortas. **Irriga**, v. 25, n. 2, p. 347 - 360, 2020. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3793>

LUCINI, N. **Deposição de gotas em função da altura de voo de um ARP pulverizador e da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, p. 35, 2022. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31153>

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods** 3.ed. Oxford: Blackwell Science. 2000. 432 p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139 p.

NASCIMENTO, R. S. M. **Distribuição volumétrica e espectro de gotas no controle químico da ferrugem asiática da soja**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 93, 2020. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/29045>.

OLIVEIRA, M. L.; MACHADO-NETO, J. G. Use of tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in safety of pesticide applicators in citrus orchards. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 70, n. 3, p. 415-421, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12592512/>

OLIVEIRA, O. H.; CAPRISTO, D. P.; CASTANHO, L. F. S.; GUIMARÃES, A. G.; CECCON, G. **Contribuição da soja tiguera na produção de massa em função de manejos de solos e de culturas**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA (JIPE), 2021. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135632>.

OLIVEIRA, R. B.; GAZZIERO, D. L. P.; TAVARES, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; BRESSAN, M.; BARROSO, A. A. M. FORMULAÇÕES E MISTURAS DE HERBICIDAS EM TANQUE. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (organizadores). **MATOLOGIA: Estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2021, p. 205 - 252.

PAIVA, D. Z.; PÉRA, T. G. A utilização de drones na agricultura: uma revisão bibliográfica entre 2012 e 2022. In: 61º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER, 2023. **Anais [...]**. Piracicaba – SP: ESALQ-USP, 2023.

PARKIN, C. S.; WYATT, J. C. The determination of flight-lane separations for the aerial application of herbicides. **Crop Protection**, v. 1, e. 3, p. 309 - 321, 1982. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0261219482900060>.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. **Posicionamento da faixa efetiva e altura de voo em aeronaves agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, p. 54, 2022.

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxicos. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. de M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. de B.; LACERDA, M. C. Coberturas isoladas e mistas para melhorar a qualidade do solo e cultivos comerciais no Cerrado. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 12, p. e11101220008, 2021.

SOUZA, F. R.; MARTINS, J. C.; ARRUDA, J. D. B.; SILVERIO, N. A.; GOMES, P. M. S. **DRONES NA AVIAÇÃO AGRÍCOLA: ATUAÇÃO DOS RPAS NO AGRONEGÓCIO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Aviação Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, p.19, 2022.

TAGADE, A.; SAWARKAR. A. N. Valorization of millet agro-residues for bioenergy production through pyrolysis: Recent inroads, technological bottlenecks, possible remedies, and future directions, **Bioresource Technology**, v. 384, 2023.

VARGAS, L.; GLEBER, L. **Tecnologia de aplicação de defensivos**. *In*: Sistema de Produção de Ameixa Européia. Embrapa Uva e Vinho. Sistema de Produção, 7 - Versão Eletrônica. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005.

ZHENG, Y.; YANG, S.; LIU, X.; WANG, J.; NORTON, T.; CHEN, J.; TAN, Y. The computational fluid dynamic modeling of downwash flow field for a six-rotor UAV. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 5, p. 159-167, 2018.