

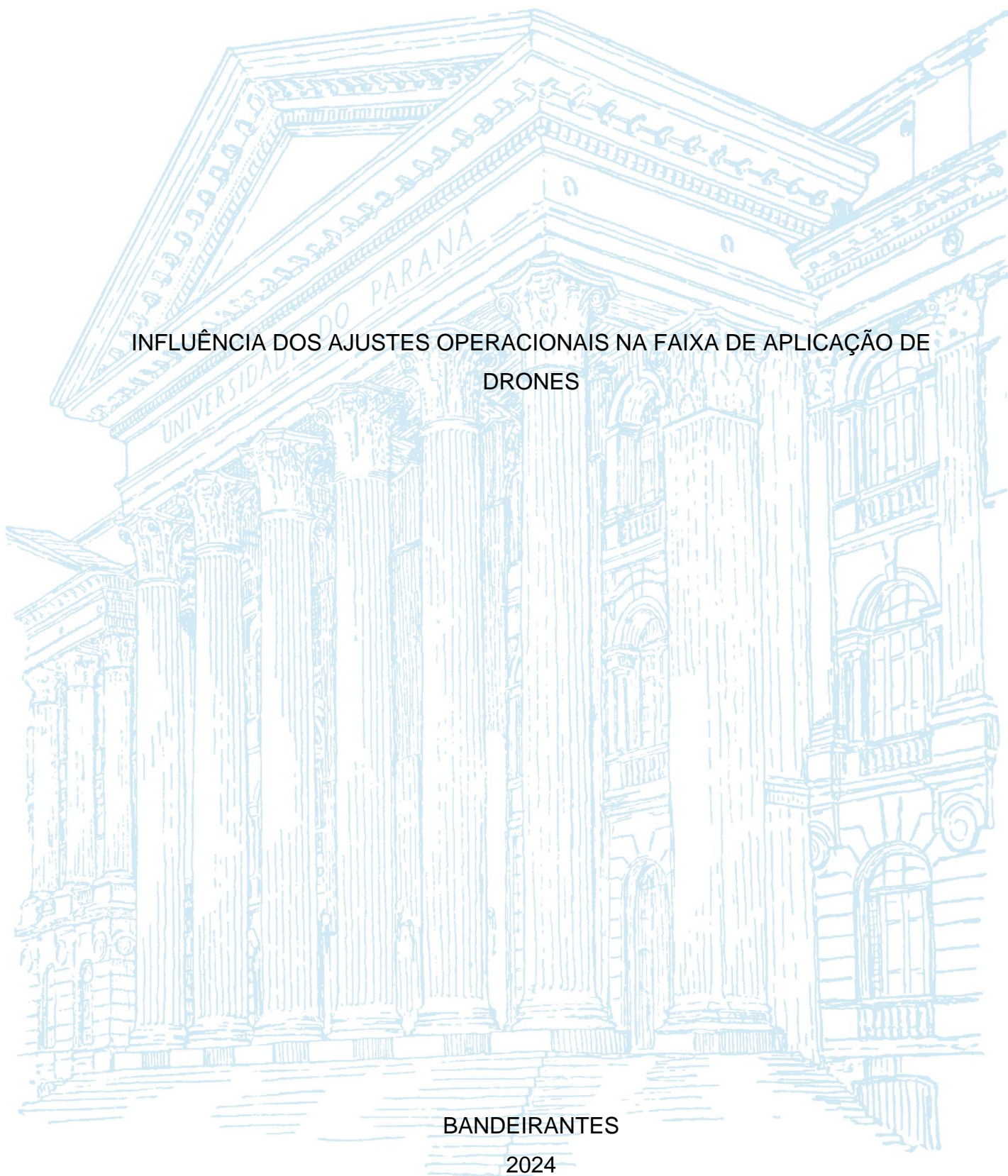
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA LAZARI ARAÚJO

INFLUÊNCIA DOS AJUSTES OPERACIONAIS NA FAIXA DE APLICAÇÃO DE
DRONES

BANDEIRANTES

2024



CAROLINA LAZARI ARAÚJO

INFLUÊNCIA DOS AJUSTES OPERACIONAIS NA FAIXA DE APLICAÇÃO DE
DRONES

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador(a): Prof. Me: Adenilson de Souza da Silva

BANDEIRANTES

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pelo presente da vida, pela força e bondade que derrama sobre todos nós diariamente.

Agradeço à minha família, meu grande alicerce e fonte de amor.

Agradeço ao meu orientador Adenilson de Souza da Silva pela dedicação depositada nesse trabalho, pela orientação e ajuda imensurável prestada durante todo o desenvolvimento.

Agradeço ao Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas - NITEC, da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, Paraná, pela ajuda inestimável prestada na execução deste trabalho.

RESUMO

A busca por tecnologias que incrementem sustentabilidade, rentabilidade e produtividade no agronegócio é crescente, sendo os drones uma dessas inovações que colaboram para a produção de matérias-primas no Brasil e no mundo. Os drones podem ser utilizados para o controle de pragas na agricultura, sendo que visando um controle efetivo é necessário que o equipamento utilizado distribua uniformemente o produto na área de aplicação. Fatores como Taxa de aplicação, tamanho de gotas e a faixa de aplicação devem ser calibrados. O objetivo do presente trabalho é avaliar a deposição e cobertura através da pulverização utilizando drone. O experimento foi conduzido em sistema fatorial 4x2, com taxas de aplicação de 5, 6,5, 8,5 e 10 L/ha, produzindo gotas finas, médias e grossas. As análises de deposição foram realizadas através de espectrometria e as análises de cobertura através do sistema Windias®. As melhores configurações para aplicação foram observadas na taxa de 10 L/ha com faixa efetiva de 6 m para as pontas XR 110015 e TT 110015 e para a ponta CVI 110015 o melhor resultado foi observado na faixa de 10 L/ha com faixa efetiva de 4m.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação, Espectrometria, Classe de gotas

ABSTRACT

The search for technologies that enhance sustainability, profitability, and productivity in agribusiness is growing, with drones being one of the innovations that contribute to raw material production in Brazil and worldwide. Drones can be used for pest control in agriculture, and for effective control, it is necessary for the equipment to evenly distribute the product in the application area. Factors such as application rate, droplet size, and application range need to be calibrated. The objective of this study is to evaluate deposition and coverage through drone-based spraying. The experiment was conducted in a 4x2 factorial system, with application rates of 5, 6.5, 8.5, and 10 L/ha, producing fine, medium, and coarse droplets. Deposition analyses were performed through spectrometry, and coverage analyses were conducted using the Windias® system. The best application configurations were observed at the 10 L/ha rate with an effective range of 6 m for XR 110015 and TT 110015 nozzles, and for CVI 110015 nozzle, the best result was observed at the 10 L/ha rate with an effective range of 4m.

Keywords: Application technology, Spectrometry, Droplet class.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Materiais utilizados para avaliação de deposição e cobertura 19	19
FIGURA 2 – Área de voo do Drone 20	20
FIGURA 3 – Área de voo do Drone 20	20
FIGURA 4 – Temperatura do ar registrada (°C) 21	21
FIGURA 5 – Umidade relativa do ar (%) registrada 21	21
FIGURA 6 – Velocidade do vento registrada (m.s ⁻¹) 22	22

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1 - Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização XR 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.24
- GRÁFICO 2 - Faixa de aplicação da cobertura com a ponta de pulverização XR 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m25
- GRÁFICO 3 - Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização TT 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.26
- GRÁFICO 4 - Faixa de aplicação de cobertura com a ponta de pulverização TT 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.28
- GRÁFICO 5 - Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização CVI 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as

barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.29

GRÁFICO 6 - Faixa de aplicação de cobertura com a ponta de pulverização CVI 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	30
6	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é a principal fonte de alimentos no mundo e diversos desafios têm sido enfrentados em busca de alimentos mais saudáveis, produzidos de maneira segura para os consumidores, os produtores e o meio-ambiente (Friha et al., 2021; Inoue, 2020). Introduzir novas tecnologias tem sido uma solução para superar esses desafios, dentre estas, encontram-se a utilização do sensoriamento remoto, que tem contribuído para a agricultura de precisão com satélites, aeronaves e drones (Tsouros et al., 2019).

Entre as tendências para a produção de alimentos destaca-se a agricultura de precisão, definida por Voll (2000) como um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de culturas ou tecnologia de aplicação variável de insumos no manejo das culturas agrícolas. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), instituiu em 2012 a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), que definiu a agricultura de precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6).

Entre as tecnologias empregadas na agricultura de precisão podemos citar o uso de drones para a obtenção de imagens, elaboração de mapas, utilização de sensores e para a pulverização aérea (BARBOSA et al., 2021).

Para a efetividade no controle fitossanitário, o produto escolhido deve atingir a superfície do alvo, e para isso, é necessário que o equipamento utilizado esteja distribuindo uniformemente o produto na área de pulverização, nesse tocante, o volume de calda, número e tamanho de gotas, pressão das pontas, uso de adjuvantes e a faixa de deposição devem ser calibrados (RAMOS et al., 2004).

Tratando-se de aplicação aérea, a correta determinação e escolha das faixas de deposição implicará de maneira decisiva no sucesso da operação.

O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos da mudança da taxa de aplicação e classe de tamanho de gotas na faixa de deposição de um modelo de drone.

1.1 JUSTIFICATIVA

Entre as tecnologias empregadas na agricultura de precisão os drones são destaque, sendo utilizados para a obtenção de imagens, elaboração de mapas, transporte de cargas, liberação de parasitoides, monitoramento de pragas, diagnóstico de plantas, utilização de sensores e para a aplicação aérea (Inoue, 2020). Os drones são mais econômicos quando comparados a aeronaves, além de apresentarem diversas vantagens em relação aos equipamentos de aplicação terrestres, incluindo permitir a entrada na lavoura em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e condições do solo, não causar amassamento nas culturas, evitando perdas na produção de até 4,9% na cultura da soja, conforme demonstrado por Reis e Zanatta, (2017), além de permitir a aplicação em locais de difícil acesso por vias terrestres.

Para um controle efetivo das pragas agrícolas, como insetos, fitopatógenos e plantas invasoras, torna-se necessário o emprego de ações que visam evitar danos ao ambiente e áreas vizinhas, evitar perdas de produtos, mantendo a aplicação eficiente. Essas ações se referem ao termo “Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários”, que corresponde ao emprego de conhecimentos que quando praticados, colaborarão para a correta deposição do produto ativo no alvo, em uma quantidade necessária, de maneira econômica e rentável, mantendo o mínimo de contaminação ao ambiente, conforme mencionado por Matuo (2001).

A faixa de deposição diz respeito à região perpendicular ao trajeto da aeronave onde a pulverização é executada em uma única passagem. Por outro lado, a faixa efetiva representa a largura de aplicação que inclui sobreposições de passagens anteriores, promovendo a uniformidade nas aplicações. Essa faixa efetiva é empregada no planejamento operacional para assegurar a efetividade do procedimento (Althman, 2021).

A escolha da faixa de deposição é um dos fatores que influenciarão na aplicação e deve ser escolhida a depender do produto a ser aplicado, do modelo de drone a ser utilizado, de condições climáticas, como a velocidade do vento, a cultura e a altura do voo. Uma faixa estreita de 5 metros pode favorecer a ocorrência de fitoxidez na cultura, visto que sob essas condições a aeronave tende a não abrir completamente o ângulo de aplicação, ocorrendo a sobreposição do produto aplicado, sendo assim, maior concentração do ingrediente ativo do produto será

depositado no alvo. Enquanto uma faixa de aproximadamente 7 metros, a aplicação fica suscetível a não ser eficiente nas faixas externas do plano de voo, onde o produto não será depositado e o controle não acontecerá. Observa-se também uma desuniformidade operacional, com subdosagem do produto. Além dessas condições, a ocorrência de deriva também é mais recorrente (Antuniassi e Boller, 2011).

A determinação da faixa, deve ser feita levando em consideração todos os componentes da tecnologia de aplicação. De maneira prática, sabe-se que quanto maior a faixa, maior será o rendimento operacional, em contrapartida, quanto mais estreita maior o favorecimento de sobreposição.

Considera-se faixa de deposição como a faixa onde ocorrem os depósitos, independentemente da quantidade e da qualidade, sendo representada por toda a área onde partículas foram depositadas. Faixa de deposição efetiva (FD) trata-se da faixa de deposição total, onde o nível de depósito satisfaz as necessidades de recomendação técnica. (Roth; Whitney; Kuhlman, 1985).

Se referindo a aplicação aérea, a altura de voo influenciará na faixa de deposição e quando não estabelecida de maneira correta pode provocar acúmulo de calda no centro devido a baixa altura de voo ou falha no centro. Em geral, a altura de 3 a 5 metros é o ideal. Outros parâmetros como volume de calda, tipo de ponta de pulverização, tamanho de gotas e modelo de aeronave influenciarão na faixa de deposição (Antuniassi e Boller, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a faixa de deposição efetiva de drone para aplicações com mudanças operacionais de pontas de pulverização e taxas de aplicação.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Avaliar diferentes configurações operacionais na aplicação com aeronaves remotamente pilotáveis, tais como, taxa de aplicação e tamanho de gotas;
- 2) Quantificar o depósito da aplicação com diferentes configurações operacionais;

3) Quantificar a cobertura da aplicação com diferentes configurações operacionais;

4) Determinar a faixa efetiva das diferentes condições operacionais de aplicação nos alvos de coleta das gotas de pulverização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

O termo “Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários” foi definido por Matuo, (1990) como o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionam a correta colocação do produto ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas. Visando o controle de pragas agrícolas com o uso de drones o resultado só será positivo se alguns padrões operacionais foram seguidos, sendo a geração e distribuição adequada das gotas o principal, que devem estas possuir o tamanho e o peso ideais para se depositarem sobre o alvo (Cunha et al., 2007). O método mais representativo para avaliar os aspectos relacionados às aplicações fitossanitárias é a avaliação de depósito de gotas sobre os alvos (Derksen et al., 2012). Para Vargas (2005), o sucesso no controle de pragas e doenças depende da escolha do produto adequado e de sua correta aplicação. Segundo Baesso (2014), a eficiência de uma aplicação de produtos fitossanitários é analisada pela deposição, cobertura, deriva e eficácia de controle. Para que a eficiência máxima de aplicação de agrotóxicos seja alcançada é necessário que fatores como o aplicador, o alvo, o agrotóxico, a cobertura de gotas, o equipamento a ser utilizado e os fatores climáticos sejam ponderados. Balan (2006) ainda complementa que a eficiência de uma aplicação é determinada pela velocidade de deslocamento e a direção do fluxo de ar. A escolha das pontas de pulverização, as condições climáticas no momento de aplicação, o volume e a pressão de trabalho são fatores que influenciarão no controle, que só será efetivo se as gotas liberadas se deslocarem e forem depositadas sobre o alvo (Santos, 2006).

2.2 TAMANHO DE GOTAS

O processo de formação de gotas é definido como o resultado da interação entre a ponta e a calda por Ruitter (2002). Sendo que essa interação poderá ser afetada pela mistura feita na calda e o tipo de ponta selecionada. Baesso (2014) menciona que o tamanho das gotas deve ser definido conforme as condições

climáticas e o tipo de alvo, sendo um fator que influenciará na cobertura de aplicação, que é definida pelo mesmo autor como a percentagem do alvo que foi coberta pela calda, sendo a área ocupada pelas gotas após uma aplicação. Para um mesmo volume de aplicação, quanto menor o tamanho das gotas maior será a área de cobertura (Adegas e Gazziero, 2020). A cobertura ideal depende do tipo de alvo a ser atingido e as características do produto.

Para Oliveira (2011) o tamanho de gotas e a cobertura durante a aplicação são fatores essenciais para a ocorrência ou não de deriva. Sendo que durante o processo de pulverização, a gota deverá ser pequena o bastante para resultar em uma boa cobertura, porém grande o suficiente para chegar até o alvo. Gotas com diâmetro superior a 500 μm terão poucos problemas com deriva, segundo Berna (2017), o destacou que gotas menores de 50 μm evaporaram antes de chegarem ao alvo. Para gotas menores, além da evaporação ainda pode ocorrer a suspensão no ar, sob condições com pouco vento, sendo que serão carregadas posteriormente para outro local.

A determinação do tamanho de gotas pode ser feita através da difração de raio laser (Ferreira et al., 2007; Santiago, 2013) e através de equipamentos de captura de imagem em tempo real, durante a pulverização (Carvalho, 2016).

2.3 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO

Dentro da tecnologia de aplicação, se encontram as pontas de pulverização, a escolha da ponta de pulverização será feita de acordo com o alvo a ser atingido e o produto a ser pulverizado (Antuniassi, 2004). São consideradas os principais componentes do pulverizador, sendo fundamentais para a aplicação e responsáveis pela formação e a distribuição das gotas. A escolha das pontas poderá diminuir a deriva quando utilizadas corretamente, sendo que as pontas de pulverização estão relacionadas diretamente com a eficiência no controle de plantas daninhas e pragas (Viana et al., 2010). Cada tipo de ponta terá suas características em relação à pressão de trabalho, tipo de jato, tamanho e uniformidade de gotas e ao volume de calda a ser pulverizado. As principais pontas disponíveis permitem a produção de gotas pequenas (até 150 μm), gotas médias (150 μm a 300 μm) e gotas grandes (maiores que 300 μm). As gotas consideradas grossas e muito grossas poderão ser produzidas por pontas com indução de ar, características por apresentarem bolhas de ar no interior, culminando em alta massa e baixa densidade, o que confere pouca deriva (Miller; Buttler Ellis, 2000). As pontas que apresentam pré-orifício apresentam um padrão de gotas de finas a grossas.

2.4 REGULAMENTAÇÃO PARA USO DE DRONES

Segunda a legislação pertinente no Brasil, toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que possuir carga útil embarcada é considerada VANT. Dessa forma, drones utilizados para fins recreativos não são considerados VANT. De acordo com Eugenio e Zago (2021) os drones são considerados aeronaves por possuírem motores ou rotores, por interagirem com reações aerodinâmicas do ar e realizarem transporte de cargas, câmeras, sensores e outros.

O uso de drones é regulamentado e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aprovou em 2017 o regulamento para o uso de drones, onde o peso do VANT, a altitude permitida para voo e se há necessidade de cadastro na ANAC, portar habilitação e a idade mínima necessária (ANAC, 2023). Os mesmos princípios de segurança impostos a aeronaves tripuladas são previstos para voos com drone, como a probabilidade mínima de falhas, responsabilidade de danos a terceiros e demais regras.

2.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Realizar a aplicação sob condições ideais de clima é o primeiro passo para um controle satisfatório. A temperatura (°C), a umidade relativa do ar (%) e a presença, ausência e velocidade do vento (km/h) são os três parâmetros a serem considerados. Em situações de elevada temperatura a evaporação das gotas é um problema de perda de produto, ainda mais quando a umidade relativa do ar se encontra baixa, já que nessa situação a gota será transformada em vapor de maneira rápida, sobretudo quando trata-se de gotas finas a médias (Contiero et al., 2018). O mesmo autor destaca que além da perda por elevadas temperaturas, condições acima de 30°C e abaixo de 10°C e umidade relativa baixa, são capazes de induzir as plantas a um estresse, visto que abaixo desse nível, a planta torna-se fisiologicamente inativa prejudicando a absorção e translocação dos produtos fitossanitários. Para que este contexto seja evitado, o ideal é que a umidade esteja acima de 60% e a temperatura entre 10° e 30°.

O vento também determina o sucesso de uma aplicação agrícola, sendo que a condição ideal para aplicação se encontra entre 3 a 8 km/h (Contiero et al., 2018). Sendo que acima do limite a deriva do produto é favorecida, ocasionando perda do produto e abaixo de 3km/h pode ocorrer a chamada inversão térmica.

Além disso, a ocorrência de chuva logo após a aplicação influenciará na absorção do produto pela planta, a presença de orvalho poderá diluir o produto ao atingir o alvo, a luminosidade poderá favorecer a fotodecomposição de produtos sensíveis ou então, influenciará positivamente sobre aqueles necessitam de luz solar direta para serem absorvidos (Adegas; Gazziero, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área da fazenda escola e as análises no laboratório do Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas - NITEC, da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, Paraná.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) num esquema fatorial de 3x4 com os seguintes fatores: tamanho de gotas (grossa, média e fina) utilizando as pontas de pulverização CVI 110015, TT 110015 e ponta XR 110015 respectivamente e quatro taxas de aplicação nos depósitos e cobertura no alvo com oito repetições em cada tratamento. As taxas de aplicação foram de 5,0; 6,5; 8,5; e 10 L ha⁻¹. Foi utilizado a altura de voo de 3 m, velocidade de aplicação de 5 m s⁻¹ e a faixa de aplicação de 6 m como padrão.

A metodologia para essa avaliação foi baseada na norma para teste do padrão de deposição e calibração de equipamentos de aplicação aérea (ASAE S 386.2, 2018), consiste que o drone deve sobrevoar sobre o centro de uma linha de coletores dispostos em ângulo perpendicular em relação ao voo e a faixa de coletores foi o dobro da faixa aplicação esperada, no caso a faixa pretendida foi de 6 m, ou seja, uma faixa de 12 m, mas foi colocado para o experimento 15 m de faixa para os coletores.

Foi selecionado uma área para montagem do experimento de forma que permita o deslocamento seguro do drone e de tamanho suficiente para que não haja interferência nos diferentes tratamentos. Os coletores foram posicionados 1 metro de distância um do outro na faixa, tendo então os 15 coletores por repetição, totalizando 120 coletores por tratamento.

No experimento foram quantificados o depósito e a cobertura das aplicações utilizando alvos artificiais, para cobertura (Papel hidrossensível), papel do tipo couche fosco de gramatura de 115 e outro para depósito (card Mylar) uma placa de material plástico.

Figura 1 - Materiais utilizados para avaliação de deposição e cobertura



FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

A calda de aplicação foi composta pela mistura de água e o marcador Azul Brilhante FCF (maltodextrina e corante artificial: azul brilhante FCF 11,00%) na concentração de 6 g L^{-1} . A calda da aplicação foi feita no dia que foi realizada as aplicações, armazenada em um galão de produtos de 20 L. Ao fim da pulverização, foi coletada a amostra de calda de cada bico para determinar a curva analítica do marcador por espectrofotometria.

Figura 2 - Área de voo do drone



FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

Figura 3 - Área de voo do drone

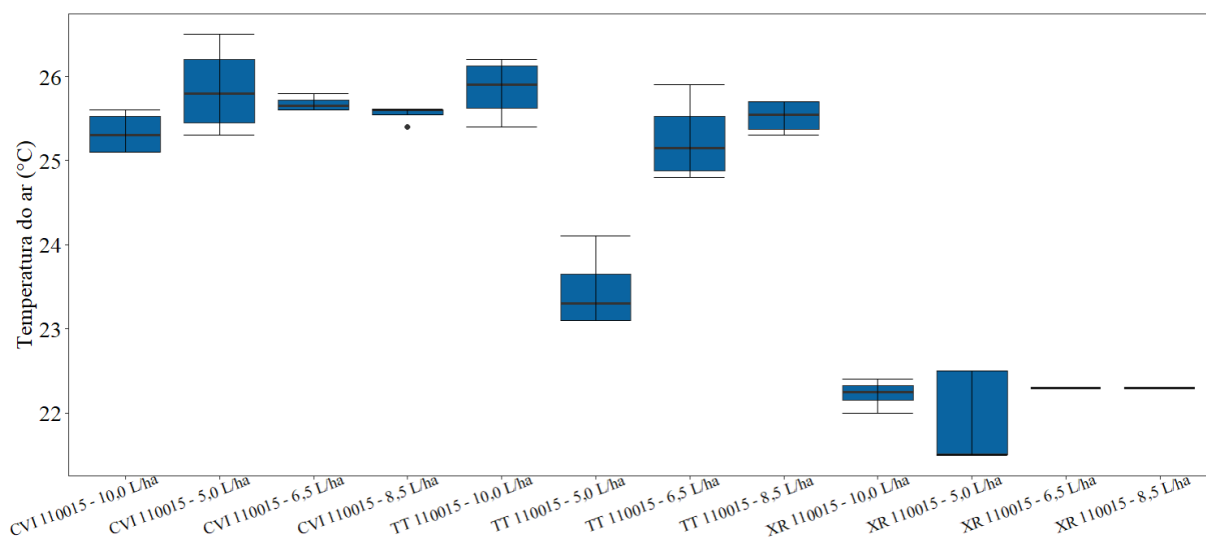


FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

Durante todas as pulverizações foi registrado a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento por meio de uma Estação Meteorológica da marca *Ambient Weather* com registro a cada segundo, fixada com sensores numa altura de 1,5 metros do solo.

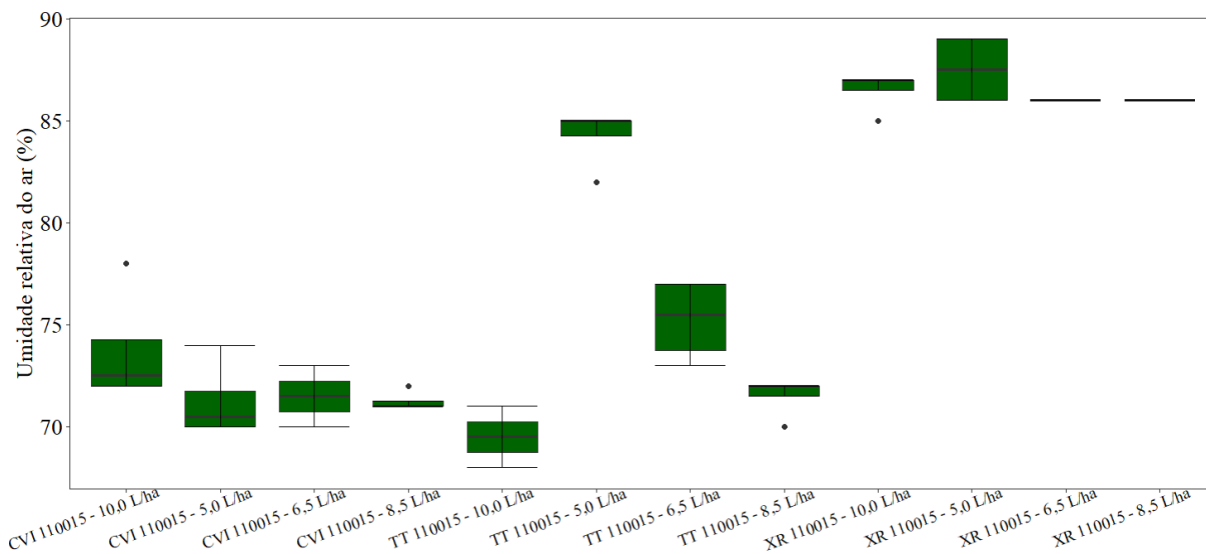
As médias das condições meteorológicas registradas em cada experimento estão apresentadas nas Figura 4, 5 e 6.

Figura 4 – Temperatura do ar registrada (°C)

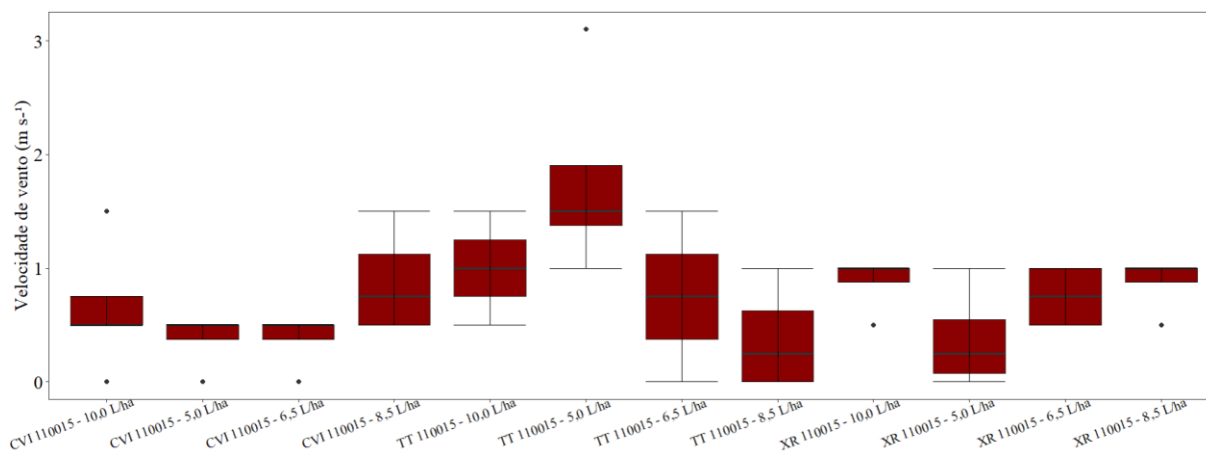


FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

Figura 5 – Umidade relativa do ar (%) registrada



FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

Figura 6 – Velocidade do vento registrada (m s⁻¹)

FONTE: Carolina Lazari Araújo (2023).

Após a pulverização, cada placa fixada em seu respectivo ponto amostral foi retirada do suporte, colocada em recipiente de plástico de 1,2 litros de capacidade, adicionado 25 mL de água destilada, agitado por 60 segundos e a solução removida das placas foi realizada a leitura de absorvância por espectrofotometria no comprimento de onda de 630 nm. Para a conversão dos valores de absorvância em concentração de marcador, foi realizado uma curva padrão (18 concentrações do corante conhecidas e os seus respectivos valores de absorvância) e determinado uma equação linear ($y = b + ax$) para estimar a concentração do corante em mg/L presente na solução de cada lavagem.

De posse dos valores de concentração foi determinado os valores capturados pelo alvo em μL pela equação: $V_i = [(C_f \times V_f)/C_i] \times 1000$, C_i = concentração do corante na calda (6 g/L); V_i = volume capturado pelo alvo (μL); C_f = concentração do corante determinada pela equação linear (mg/L) e V_f = volume que foi utilizado na lavagem da amostra (25 mL). O resultado do volume capturado em μL foi dividido pela área do coletor (33 cm²), obtendo o depósito coletado em $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ para cada placa coletora. Para os dados de depósitos foi utilizado os seguintes fatores de correção em função da mudança da taxa de aplicação assumindo como referência a taxa de 5 L/ha, sendo dividido por 2,0 para 10 L/ha 1,7 para 8,5 L/ha e 1,3 para 6,5 L/ha. Conforme Dario et al. (2019) não ocorre diferença entre realizar a correção em relação a colocar diferentes concentrações para cada taxa de aplicação.

Para a avaliação de cobertura foi utilizado um papel do tipo hidrossensível no tamanho de 3 cm x 7 cm, e a cobertura determinada pelo Sistema de Análise de Imagens WinDias®. Um equipamento capaz de analisar a o coletor e mensurar a área que foi coberta pela pulverização dos diferentes tratamentos realizados com técnicas de *machine learning*, ensinando ao software pela identificação por RGB na imagem capturada as gotas no alvo, com cálculos o sistema já determina o percentual de área coberta pelas gotas depositadas no coletor.

Análises dos dados

Os dados foram analisados pela estatística descritiva para analisar as medidas de tendência central, de dispersão e verificação de presença de dados discrepantes (outliers) pelos limites superiores e inferiores dos dados. Para verificar as diferenças entre os tratamentos, foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$) e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene.

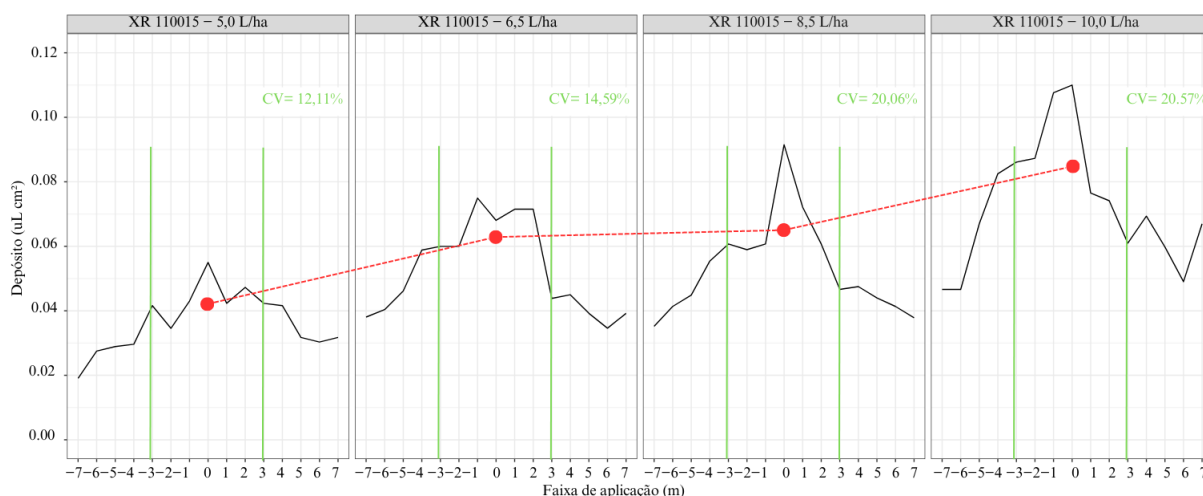
A faixa da aplicação será avaliada pelo Coeficiente de variação (CV) dos dados de depósito e cobertura nos alvos da faixa. O CV é usado como uma forma de avaliar a uniformidade de distribuição de gotas e uma forma típica para avaliar a qualidade da aplicação de drones de proteção de plantas. Adotaremos o padrão da (ASAE S 386.2, 2018), onde o CV que indicaria uma uniformidade de distribuição ideal seria $< 20\%$. Todas as análises foram realizadas no software R (Version 4.2.1 (2022-06- 23 ucrt)).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

De acordo com o Gráfico 01 de faixa de aplicação em relação ao depósito com a ponta XR 110015, podemos identificar que a média de depósito de gotas aumentou conforme a taxa de aplicação, respectivamente. Este é um resultado esperado e com resultados homogêneos, pois o CV atingiu 20,57% na taxa de aplicação de 10 L/ha. Também foi identificado que as menores taxas de aplicação obtiveram aplicações menos heterogêneas, atingindo CV de 12,11% na taxa de aplicação de 5 L/ha. Isso pode ser explicado pela pressão de trabalho da bomba de pulverização do equipamento e a qualidade da ponta utilizada, onde menores pressões e aumenta a desuniformidade da formação de gotas, reduzindo assim o CV. O aumento na taxa de aplicação de 75 para 150 litros por hectare promoveu volumes superiores de deposição de pulverização (Carmo et. al., 2019). A configuração operacional melhor foi com 10 L/ha, conseguindo uma faixa efetiva de 6 m e maior quantidade de depósito sob o alvo, pois, pode haver ainda interação significativa entre o volume de pulverização e o tipo de herbicida utilizado (Knoche, 1994). A ponta de modelo XR mostrou boa qualidade de uniformidade, conseguindo proporcionar a faixa desejada com eficiência em todas as taxas de aplicação estudadas. O coeficiente de variação da distribuição de pulverização dos bicos em leque varia com as diferentes pressões de pulverização, alturas de pulverização e espaçamento (Shi, 2011).

Gráfico 01. Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização XR 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da

faixa de 6 m.

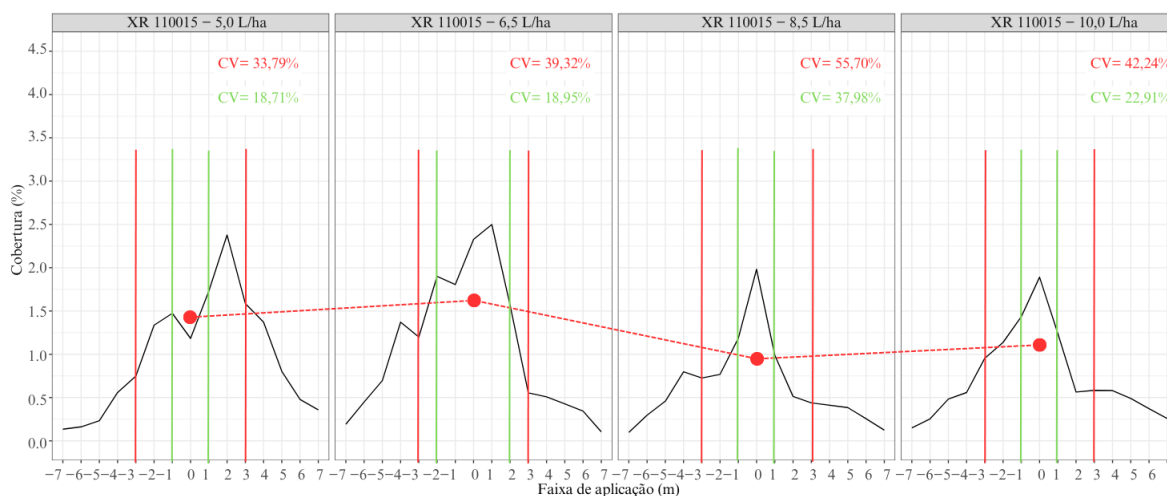


De acordo com o Gráfico 02 de faixa de aplicação em relação a cobertura na ponta XR 110015, foi observado que a taxa de aplicação de 8,5 L/ha obteve CV de 37,98%, o que indica que o resultado possui alta heterogeneidade de cobertura ao longo da faixa de aplicação, este resultado pode ser explicado devido a sobreposição das gotas produzidas em cada lado do equipamento, pois, conforme mencionado por Antuniassi e Boller (2011), a altura de pulverização influencia na faixa de aplicação e a altura de 3 m pode causar sobreposição entre o jato produzido por cada ponta de pulverização no drone. É importante notarmos que conforme a taxa de aplicação aumentou a cobertura dos papéis diminuiu o que pode indicar que foram produzidas gotas maiores, pois, a cobertura dos papéis também aumentou conforme a taxa de aplicação. Isto pode ser explicado, pois, as taxas de aplicação menores utilizam pressões nas pontas não indicadas pela fabricante delas.

Foi somente possível chegar a um faixa de aplicação efetiva nas taxas de 5 e 6,5 L/ha, com 2 m de faixa em 5 L/ha e 4 m de faixa na taxa de 6,5 L/ha, as demais taxas de aplicação não foi possível chegar em uma faixa de aplicação que o CV fosse abaixo de 20%, ou seja, nas taxas de 8,5 e 10 L/ha devido a baixa pressão na ponta, fez com que a formação das gotas pela ponta fosse mais desuniforme.

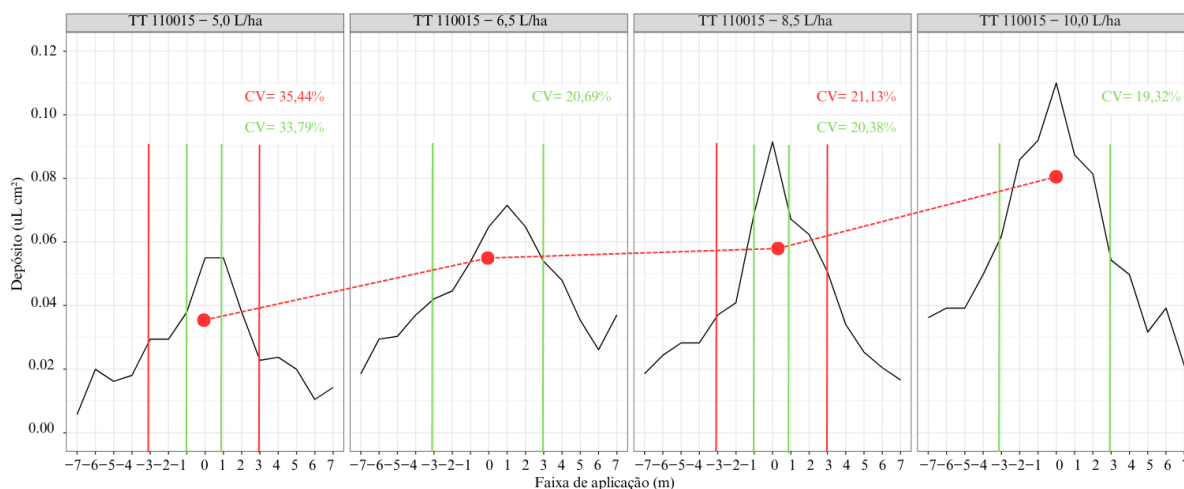
Gráfico 2. Faixa de aplicação da cobertura com a ponta de pulverização XR 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou

mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.



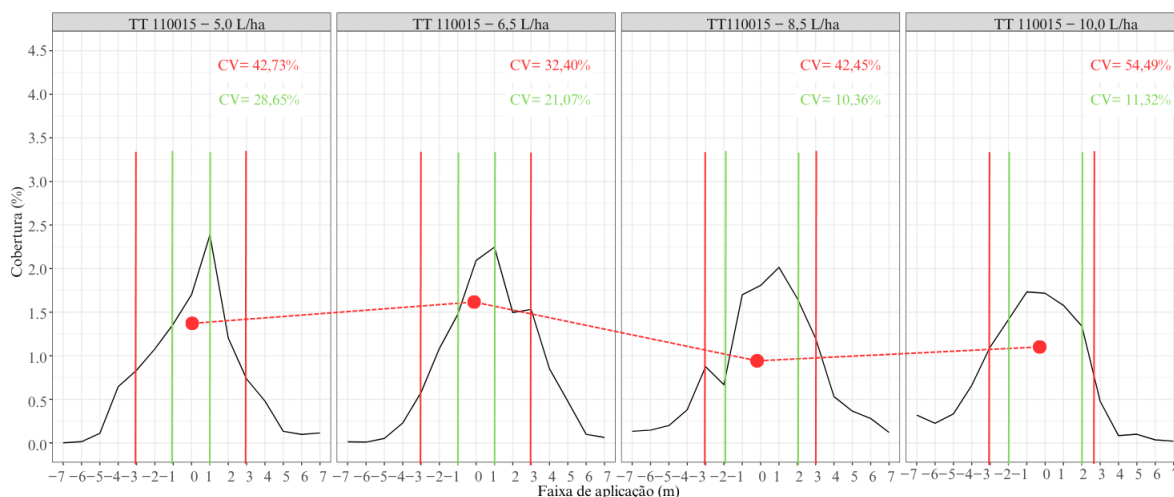
De acordo com o Gráfico 03 de faixa de aplicação em relação ao depósito na ponta TT 110015. É possível observar que a conforme a taxa de aplicação aumentou, o depósito de gotas também aumentou, sendo a aplicação de 10,0 L/ha a que apresentou maior depósito de gotas. Também foi identificado o aumento no CV conforme diminuiu a taxa de aplicação, que pode ter influência das condições climáticas no momento do voo com a taxa de aplicação de 5,0 L/ha, onde as condições estavam quase 2 graus abaixo e 10% de umidade relativa do ar acima da média do voo com 10,0 L/ha. Yu et al. (2009) mostraram que o tempo de evaporação pode ser elevado em torno de 9,2 vezes quando o diâmetro da gota é aumentado em 3,6 vezes. A aplicação com 5 L/ha foi a única taxa de aplicação utilizando a ponta de pulverização TT 110015 que não foi possível definir uma faixa de aplicação efetiva, pois o espaçamento de 2 m de faixa o CV foi de 33,7%. Nas taxas de 6,5 e 10,0 L/ha a faixa efetiva foi de 6 m, com a taxa de 8,5 L/ha foi possível definir a faixa efetiva com 2 m.

Gráfico 03. Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização TT 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.



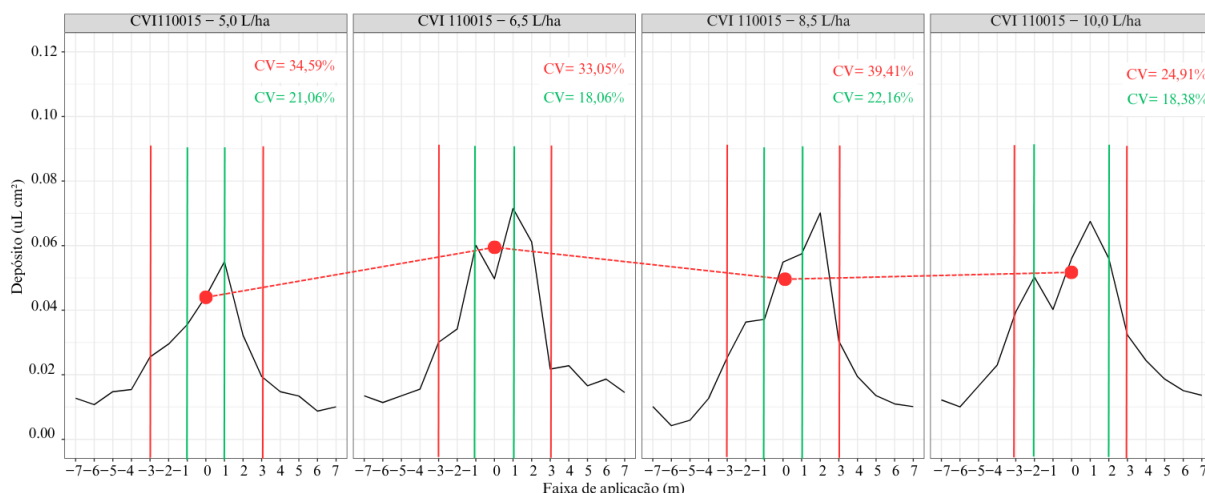
De acordo com o Gráfico 04 de faixa de aplicação em relação a cobertura na ponta TT 110015. A cobertura dos papéis hidrossensíveis com 5 L/ha e 6,5 L/ha foi maior, possivelmente devido a baixas taxas de aplicação produzirem gotas maiores devido a menor pressão de trabalho necessário para atender a vazão e modelo de ponta utilizado. Trabalhos mostram o efeito da classe de gotas na cobertura, com níveis de cobertura maiores quando utilizado classe de gotas maiores (Silva, 2023). O CV diminuiu conforme a taxa de aplicação aumentou, indicando uma maior confiabilidade nos resultados de 8,5 e 10,0 L/ha. Com as taxas de 5 e 6,5 L/ha não foi possível encontrar uma faixa efetiva com as configurações estudada com a ponta TT 110015, nas taxas de 8,5 e 10,0 L/ha foi possível determinar a faixa 4 m, com o CV abaixo de 20%.

Gráfico 4. Faixa de aplicação de cobertura com a ponta de pulverização TT 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.



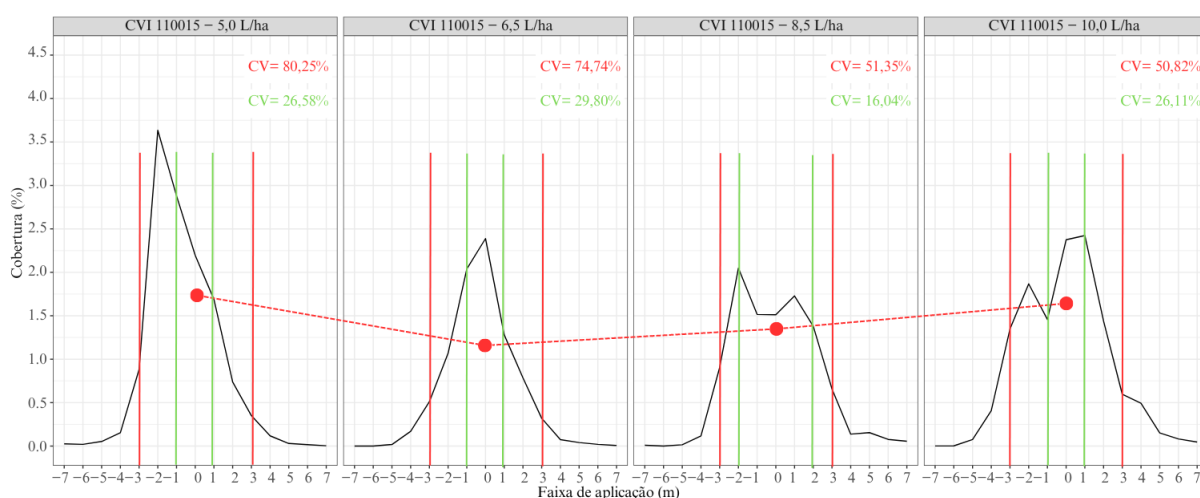
De acordo com o Gráfico 05 de faixa de aplicação em relação ao depósito na ponta CVI 110015. Com base nos resultados obtidos, é evidente que, em todas as taxas de aplicação, os CVs não corresponderam às expectativas para a faixa de 6 m, uma vez que os CVs ficaram abaixo de 20%, considerado o mínimo para uma distribuição uniforme da aplicação. Observou-se que, para alcançar um coeficiente abaixo de 20%, a faixa necessária foi de 2 m para as taxas de aplicação de 5 e 6,5 L/ha, de 4 m para 10 L/ha, e de 2 m para a taxa de aplicação de 8,5 L/ha, onde um CV de 22% foi o mínimo obtido, não atendendo ao critério de uniformidade estabelecido. Conforme apontado por Antuniassi (2021), a aplicação em faixa, sem sobreposição das passadas, pode resultar em um alto coeficiente de variação, indicando a necessidade de trabalhar com diferentes faixas de aplicação para evitar falhas no processo. Em situações de sobreposição, conforme mencionado por Carvalho (2022), a largura média da faixa para aplicações com gotas grossas e muito grossas foi de 4,3 m. A houve diferença na média somente com a taxa de 5,0 L/ha com as demais taxas de aplicação.

Gráfico 05. Faixa de aplicação do depósito com a ponta de pulverização CVI 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.



De acordo com o Gráfico 06 de faixa de aplicação em relação a cobertura na ponta CVI 110015. A cobertura de gotas utilizando a ponta CVI 110015 apresentou resultados com CVs acima de 20% com a faixa de aplicação de 6 m, houve possibilidade de ter faixa efetiva nas taxas de 8,5 L/ha apenas com a ponta CVI 110015. Não houve diferenças significativas na cobertura com aumento da taxa de aplicação.

Gráfico 6. Faixa de aplicação de cobertura com a ponta de pulverização CVI 110015 em cada taxa de aplicação testada no experimento com o coeficiente de variação em porcentagem do depósito, as barras verticais em vermelho representam a faixa de 6 m, em verde as barras representam a faixa de aplicação onde encontrasse o CV baixo de 20% ou mais próximo encontrado, os pontos representam a média atingida de depósito dentro da faixa de 6 m.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhor configuração para aplicação com a ponta XR 110015 e TT 110015 é na taxa de 10 L/ha de voo é com 6 m de faixa efetiva.

A melhor configuração para aplicação com a ponta CVI 110015 é na taxa de 10 L/ha de voo é com 4 m de faixa efetiva.

O aumento da taxa de aplicação proporciona o aumento do depósito de aplicação.

A variável de depósito responde significativamente aos ajustes operacionais de mudança de ponta e taxa de aplicação.

O depósito é maior utilizando ponta XR 110015 e TT10015, já a cobertura é maior quando utilizado a ponta CVI 110015.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros, o teste das pontas utilizadas com diferentes alturas de voo, objetivando avaliar se a variação de altura influenciará na qualidade da aplicação. Conforme observado no presente trabalho, a taxa de aplicação de 10 L/ha foi a mais efetiva com todas as pontas, por isso, sugere-se testar maiores taxas de aplicação verificando se influenciará na deposição de gotas e cobertura da área foliar.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, Fernando Storniolo; GAZZIERO, DLP. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. 2020.

ALTHMAN, M.F. **Avaliação da faixa de deposição em função do modelo de aeronave e volume de calda aplicado**. Dissertação, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2021.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. Acessado em 10 de Dezembro de 2023, em: http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf.

ANTUNIASSI, Ulisses Rocha; BAILO, Fabio HR. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Boletim de Pesquisa de Soja**, v. 8, p. 165-177, 2004.

ANTUNIASSI, Ulisses Rocha; BOLLER, Walter. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. **Botucatu: Fedaf**, 2011.

ANTUNIASSI, U.R.; MOTA, A.A.B.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO, F.K.; QUEIROZ, M.F.P.; ROMANI, V.V. Drift and uniformity of drone applications according to the droplet size. **American Chemical Society**. ACS FALL: Resilience of Chemistry. Atlanta-GA, 22 – 26 ago, 2021.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING - ASAE. **Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment**. St. Joseph, MI: ASAE, 2018. 10 p. (ASAE Standard: ASAE S 386.2).

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

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SASAKI, E. H. Distribuição da calda na cultura da videira por turboatomizador com diferentes configurações de pontas. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 731-738, 2006.

BARBOSA, Kamilly Vitória Freire da Silveira et al. Agricultura de precisão: uso de drones. 2021.

BERNA, R. **Espectro de gotas geradas por ponta de jato plano de impacto para aplicação aérea na presença de adjuvantes em caldas de pulverização**. 2017, 60 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho. Diário Oficial da União 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1>

Carmo, E., Silva, A., Braz, G., Procópio, S., Simon, G., Rocha, A., & Barcellos, L. (2019). Riscos fitossanitários e desempenho agrônômico da soja associados aos arranjos espaciais das plantas. **Revista de Biociências**. <https://doi.org/10.14393/BJ-V35N3A2019-41957>.

CONTIERO, Robinson Luiz; BIFFE, Denis Fernando; CATAPAN, Valdenir. **Tecnologia de Aplicação**. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

CARVALHO, F. K. et al. Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in Brazil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p.1118- 1125, 2016.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.esp., p.10-15, 2007.

DARIO, G.; DEL BEM JUNIOR, L.; FERRARI, J. L.; NEGRISOLI, M. M.; RODRIGUES, D. M.; SILVA, F. N.; RAETANO, C. G., **Métodos de avaliação do depósito em estudos de taxa de aplicação**. In: IX SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação, 2019, Campo Grande. IX SINTAG, 2019. v. 9. p. 1-4.

DE OLIVEIRA, Maurílio Fernandes et al. Comportamento dos herbicidas no ambiente. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, p. 10-138, 2011.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet**, Cieszyński, v. 67, n. 2, p19-25, 2002.

Derksen RC, Canas LA, Ranger CM, Reding ME & Ozkan HE (2012) Implications for pesticide delivery and insecticide selection using chemical analysis of plant tissue and efficacy. *International Advances in Pesticide Application - Aspects of Applied Biology*, 114:279-286.

EUGENIO, Fernando Coelho; ZAGO, Hugo Bolsoni. O livro dos drones um guia completo para entender todas as partes e funcionamento. **Alegre, ES: CAUFES**, 2019.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica Adga 110015 para pulverização agrícola. *Engenharia Agrícola*, Sorocaba, v. 27, n. 2, p.471-478, 2007.

FRIHA, Othmane et al. Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 8, n. 4, p. 718-752, 2021.

INOUE, Yoshio. Satellite-and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming—a review. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 66, n. 6, p. 798-810, 2020.

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

MATUO, T.; PIO, L.C.; RAMOS, H.H. Módulo 2 – tecnologia de aplicação dos agroquímicos e equipamentos. In: Associação Brasileira de Ensino, 2001.

MILLER, P. C. H.; ELLIS, MC Butler. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop protection**, v. 19, n. 8-10, p. 609-615, 2000.

MOREIRA, C. A. F. Espectro de gotas e deriva de diferentes formulações de 2,4- D e Glyphosate com pontas sem e com indução de ar. 2016. 63 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2016.

RAMOS, Hamilton et al. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. **ANDEF-Associação Nacional de Defesa Vegetal. Linea Creativa, Ed., Campinas, São Paulo, Brasil, 2004.**

REIS, Erlei Melo; ZANATTA, Mateus. Cálculo do dano do amassamento, na cultura do trigo, pelo rodado do equipamento na primeira aplicação de defensivos. 2017.

ROTH, L. O.; WHITNEY, R. W.; KUHLMAN, D. K. **Application uniformity and some non-symmetrical distribution patterns of agricultural chemicals**. Transactions of the ASAE, v. 28, n. 1, p. 47-0050, 1985.

SANTOS, J. M. F. Princípios básicos da aplicação de agrotóxicos. **Visão Agrícola**, v. 6, p. 59-63, 2006.

TSOUROS, Dimosthenis C.; BIBI, Stamatia; SARIGIANNIDIS, Panagiotis G. A review on UAV-based applications for precision agriculture. **Information**, v. 10, n. 11, p. 349, 2019.

VIANA, R. G. et al. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, v. 28, p. 439-446, 2010.

VOLL, E. Agricultura de precisão: manejo de plantas daninhas. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P. del; QUEIROZ, D. M. de; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R. do; GOMIDE, R. L. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 203

