



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ UENP -
CAMPUS LUIZ MENEGHEL CENTRO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS**

MESTRADO EM AGRONOMIA

ADENILSON DE SOUZA DA SILVA

**AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL NA QUALIDADE
DA APLICAÇÃO**

BANDEIRANTES – PR

ABRIL/2023

AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação - Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* LuizMeneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

BANDEIRANTES – PR

ABRIL/2023

ADENILSON DE SOUZA DA SILVA

**AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL NA QUALIDADE
DA APLICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
graduação – Mestrado em Agronomia -
Universidade Estadual do Norte do Paraná –
Campus Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo

Dr. Fabio Henrique Rojo Baio

Bandeirantes, 27 de abril de 2023

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

Sa Souza da Silva, Adenilson
AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL NA QUALIDADE DA
APLICAÇÃO / Adenilson Souza da Silva; orientador
Rone Batista de Oliveira - Bandeirantes, 2023.
90 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2023.

1. . I. Batista de Oliveira, Rone , orient. II.
Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos aqueles que tornaram possível a conclusão desta dissertação. Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por me guiar e me iluminar durante todo o processo. Sem sua orientação e amor, eu não teria alcançado essa conquista.

Agradeço aos meus pais Jose Ayrton da Silva e Therezinha de Souza da Silva por seu amor incondicional, apoio e encorajamento. Eles sempre me incentivaram a buscar o melhor em tudo o que eu faço. Meus irmãos Adailton e Angelica e meus cunhados Katia e Claudedir que também foram uma fonte constante de inspiração e suporte ao longo dos anos. Eu sou muito grato por ter uma família tão amorosa e solidária.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha noiva Karine Gomes Pereira por seu apoio inabalável durante todo o processo de elaboração desta dissertação. Sua presença em minha vida é um presente inestimável, e sou extremamente grato por ter você ao meu lado em todos os momentos. Seu encorajamento e motivação foram fundamentais para me manter motivado e persistente em meio às adversidades. Mesmo nos momentos mais difíceis, você nunca deixou de me apoiar e encorajar, e isso significou muito para mim. Agradeço por sua paciência, compreensão e amor incondicional. Seu apoio me permitiu dedicar o tempo e a energia necessários para concluir este trabalho com sucesso. Sinto-me abençoado por ter você em minha vida e por compartilhar esta jornada com você.

Também quero agradecer a todos aqueles que me ajudaram desde a minha graduação. Aos meus professores, amigos e colegas de classe que me motivaram a continuar seguindo em frente. Aos meus amigos no NITEC, que me forneceram informações valiosas e me ajudaram na realização deste trabalho e fez com que ele fosse possível.

Agradeço à ARPAC e a todos os seus colaboradores pelo apoio e suporte que nos ofereceram durante este projeto. Esperamos continuar trabalhando juntos em futuros projetos e contribuir para o sucesso de sua empresa.

Agradeço aos membros da banca examinadora Professor Dr. Fabio Henrique Rojo Baio e professor Dr. Marco Antonio Gandolfo por dedicarem seu tempo para avaliar minha dissertação. Suas críticas e sugestões foram muito valiosas para mim e me ajudaram a melhorar meu trabalho.

Por fim, mas não menos importante, quero expressar minha sincera gratidão ao meu orientador professor Dr. Rone Batista de Oliveira. Seu suporte e orientação foram essenciais para a realização deste trabalho. Sem sua ajuda, eu não teria sido capaz de superar os desafios que surgiram ao longo do caminho. Gostaria de expressar minha imensa gratidão a você por ter sido muito mais do que um simples orientador - você se tornou um amigo, alguém que me aconselha e sempre busca o melhor para mim, tanto em minha vida pessoal quanto profissional. Admiro muito sua experiência e conhecimento, e sou grato por ter a oportunidade de aprender com você. Espero continuar aprendendo e crescendo sob sua orientação por muito tempo.

Obrigado a todos por tornarem esta jornada possível e por me ajudarem a alcançar meus objetivos. Serei sempre grato por suas contribuições e apoio.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA - RPA	12
2.1.1. Histórico dos RPAs	12
2.1.2. Benefícios da Utilização de RPAs	13
2.1.3. Emprego dos RPAs na Pulverização	14
2.2. FATORES QUE INTERFEREM NA PULVERIZAÇÃO COM RPA	16
2.2.1. Configurações do RPA	16
2.2.2. Taxa de aplicação, Altura e Velocidade de Aplicação	17
2.2.3. Condições Meteorológicas	18
2.2.4. Qualidade da Aplicação	20
2.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO	21
2.4. SISTEMAS DE GERAÇÃO DE GOTAS	22
2.4.1. Pontas Hidráulicas	22
2.4.2. Discos Rotativos	25
3. CAPÍTULO 1: CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, TAXAS DE APLICAÇÃO E TAMANHO DE GOTAS NA APLICAÇÃO COM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTÁVEL	37
3.1. RESUMO	37
3.2. INTRODUÇÃO	39
3.3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.3.1. Avaliação de cobertura e depósito na metodologia de passadas alternadas	40
3.3.2. RPA	41
3.3.3. Caracterização do bico rotativo	43
3.3.4. Caracterização do experimento	44
3.3.5. Avaliações do depósito e cobertura	49
3.3.6. Análises dos dados	51
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.5. CONCLUSÃO	57
3.6. REFERÊNCIAS	57
4. CAPÍTULO 2: CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, ALTURA DE VOO E VELOCIDADE NA APLICAÇÃO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL	60
4.1. RESUMO	60
4.2. INTRODUÇÃO	62

4.3. MATERIAL E MÉTODOS	63
4.3.1. Análise de Cobertura e Depósito na Metodologia Passadas alternadas	63
4.3.2. RPA	64
4.3.3. Caracterização do bico rotativo	66
4.3.4. Caracterização do experimento	67
4.3.5. Avaliações de depósito e cobertura	72
4.3.6. Análises dos dados	74
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.5. CONCLUSÃO	83
4.6. REFERÊNCIAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. A: Visão geral do RPA visto por cima, B: Visão geral do RPA visto por baixo, C: Bomba do tipo peristáltica, D: Filtro de bomba de malha de 100 mesh. Foto: Silva, A.S. (2022).	42
Figura 1.2. Bico rotativo com seus componentes. Foto: Silva, A.S. (2022).	44
Figura 1.3. Esquema do experimento na metodologia de passadas alternadas. Foto: Silva, A.S. (2022)	45
Figura 1.4. A: Card Mylar para realizar análise de depósito e B: papel hidrossensível para realizar análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2022).	46
Figura 1.5. A= Corante azul brilhante utilizado, B=Calda contendo marcador e abastecimento do tanque do RPA. Foto: Silva, A.S. (2022).	47
Figura 1.6. Estação Meteorológica. Foto: Silva, A.S. (2022).	48
Figura 1.7. Dados médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações. M= Classe de gotas Médias, G= Classe de gotas Grossas	48
Figura 1.8. Coletores de depósito e cobertura sob a superfície a 0,90 m do solo. Foto: Silva, A.S. (2022).	50
Figura 1.9. Concentrações do corante conhecidas. Foto: Silva, A.S. (2022).	50
Figura 1.10. Plataforma do Windias® para realização da análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2021).	51
Figura 1.11. Imagem do papel hidrossensível após o processamento pelo software Windias® Foto: Silva, A.S. (2022).	51
Figura 1.12. Análise canônica aplicada aos tratamentos, condições meteorológicas, depósito e cobertura na realização 1. Gr= Grossa, Me= Média, UR= Umidade relativa, Temp.= Temperatura do ar, Vent= Velocidade de vento.	53
Figura 1.13. Análise canônica aplicada aos tratamentos, condições meteorológicas, depósito e cobertura na realização 1. Gr= Grossa, Me= Média, UR= Umidade relativa, Temp.= Temperatura do ar, Vent= Velocidade de vento.	55
Figura 2.1. A: Visão geral do RPA visto por cima, B: Visão geral do RPA visto por baixo, C: Bomba do tipo peristáltica, D: Filtro de bomba de malha de 100 mesh. Foto: Silva, A.S. (2022).	65
Figura 2.2. Bico rotativo com seus componentes. Foto: Silva, A.S. (2022).	67
Figura 2.3. Esquema do experimento na metodologia de passadas alternadas. Foto: Silva, A.S. (2022)	68

Figura 2.4. A: Card Mylar para realizar análise de depósito e B: papel hidrossensível para realizar análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2022).	69
Figura 2.5. A= Corante azul brilhante utilizado, B=Calda contendo marcador e abastecimento do tanque do RPA. Foto: Silva, A.S. (2022).	70
Figura 2.6. Estação Meteorológica. Foto: Silva, A.S. (2022).	71
Figura 2.7. Dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações	71
Figura 2.8. Dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações	72
Figura 2.9. Coletores de depósito e cobertura sob a superfície a 0,90 m do solo. Foto: Silva, A.S. (2022).	73
Figura 2.10. Concentrações do corante conhecidas. Foto: Silva, A.S. (2022).	74
Figura 2.11. Plataforma do Windias® para realização da análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2021).	74
Figura 2.12. Imagem do papel hidrossensível após o processamento pelo software Windias® Foto: Silva, A.S. (2022).	74
Figura 2.13. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (2, 3, 4, 5 e 6 metros), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura).	76
Figura 2.14. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (2, 3, 4, 5 e 6 metros), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura).	78
Figura 2.15. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (3, 4, 5 e 6 m s-1), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura).	80
Figura 2.16. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (3, 4, 5 e 6 m s-1), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura).	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Parâmetros técnicos do RPA utilizado no experimento.	42
Tabela 2.1. Parâmetros técnicos do RPA utilizado no experimento.	65

SILVA, Adenilson de Souza. AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO. 2023. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2023.

RESUMO

A demanda global por alimentos continua aumentando, o que exige um aumento contínuo da produção agrícola, por isso a grande importância do agronegócio brasileiro no mundo. Diante dessa situação, uma nova tecnologia de aplicação tem sido amplamente utilizada em todo o mundo: a aplicação com RPAs (*Remotely Piloted Aircraft System*). Não há muitas afirmações sobre essa tecnologia, porque os dados de pesquisas obtidos no Brasil são escassos, informações inconsistentes são geradas sem suporte científico, o que dificulta análises mais técnicas de viabilidade agrônômica, ambiental e econômica. O objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos das condições meteorológicas, taxas de aplicação, classes de gotas, alturas de voo e velocidade de aplicação no depósito e a cobertura da aplicação aeronave remotamente pilotável. O experimento com taxas de aplicação, classes de gotas foi realizado num esquema fatorial de 2x2x4, com duas condições de aplicações durante o dia (manhã e tarde), duas Classes de tamanho de gotas (média e grossa) e quatro taxas de aplicação (5; 6,5; 8,5; 10 L ha⁻¹), e os experimentos com alturas de voo e velocidades de aplicação foram montados em esquema fatorial de 2x5 (duas condições de aplicações x cinco alturas de voos - 2, 3, 4, 5 e 6 metros) e 2x4 (duas condições de aplicações e quatro velocidades de operação - 3, 4, 5 e 6 m s⁻¹), ambos os experimentos na taxa de aplicação de 5 L ha⁻¹ e com classe de gotas média. Os dados foram analisados por meios de técnicas de análises canônicas. Os resultados indicam que o depósito e a cobertura não sofrem efeito das condições meteorológicas na classe de gotas grossas, porém muito efeito na classe de gotas médias. A cobertura tem uma relação negativa com o depósito. As aplicações com parâmetros meteorológicos favoráveis beneficiam o depósito com a classe de gotas médias, independente da taxa de aplicação e a cobertura é mais afetada negativamente pelas condições meteorológicas desfavoráveis do que o depósito. A cobertura e o depósito sofrem efeitos diferentes nas mudanças de taxa de aplicação. Classes de gotas médias proporcionam maior variabilidade no depósito e classes de gotas grossas na cobertura. Os tratamentos com as alturas 3 e 4 m tiveram maior variabilidade da cobertura e relação com a umidade relativa do ar. Houve semelhança maior na variabilidade dos dados entre as velocidades de 4 e 5 m s⁻¹ quando comparados com outras velocidades, indicando que as duas velocidades não têm diferenças estatísticas entre si. As velocidades de 3 e 6 m s⁻¹ foram os tratamentos que tiveram correlação com o depósito e a cobertura por sua proximidade aos vetores. O depósito e a cobertura tiveram uma correlação positiva entre si e negativa em relação as variáveis meteorológicas, A temperatura e a umidade são as variáveis que causam maior variabilidade nos dados. Alturas de voo mais baixa têm um impacto positivo na cobertura e no depósito da aplicação, sendo menos afetadas pelas condições meteorológicas. Velocidade de vento mais alta proporciona aumento na variabilidade da cobertura e do depósito. O efeito da velocidade da aplicação com RPA é dependente da condição meteorológica presente no momento da aplicação.

Palavras-chaves: Tecnologia de aplicação, Configurações operacionais, qualidade, aplicação aérea.

SILVA, Adenilson de Souza. REMOTELY PILOTED AIRCRAFT IN APPLICATION QUALITY. 2023. Master's Dissertation in Agronomy - State University of Northern Paraná, Luiz Meneghel Campus, Bandeirantes, 2023.

ABSTRACT

Global demand for food continues to rise, necessitating a continuous increase in agricultural production. This highlights the significant importance of the Brazilian agribusiness in the world. In light of this situation, a new application technology has been widely used worldwide: the application with Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAs). There is not much information available about this technology, as research data obtained in Brazil is scarce, leading to inconsistent information generated without scientific support. This hinders more technical analysis of agronomic, environmental, and economic feasibility. The objective of this research was to study the effects of weather conditions, application rates, droplet classes, flight heights, and application speeds on the deposition and coverage of remotely piloted aircraft application. The experiment with application rates and droplet classes was conducted in a 2x2x4 factorial design, with two application conditions during the day (morning and afternoon), two droplet size classes (medium and coarse), and four application rates (5, 6.5, 8.5, 10 L ha⁻¹). The experiments with flight heights and application speeds were set up in a 2x5 (two application conditions × five flight heights - 2, 3, 4, 5, and 6 meters) and 2x4 (two application conditions × four operation speeds - 3, 4, 5, and 6 m s⁻¹) factorial design, both experiments at an application rate of 5 L ha⁻¹ and with a medium droplet class. The data were analyzed using canonical analysis techniques. The results indicate that deposition and coverage are not affected by weather conditions in the coarse droplet class but are significantly affected in the medium droplet class. Coverage has a negative relationship with deposition. Applications with favorable weather parameters benefit deposition with the medium droplet class, regardless of the application rate, and coverage is more negatively affected by unfavorable weather conditions than deposition. Coverage and deposition have different effects on changes in application rates. Medium droplet classes provide greater variability in deposition, while coarse droplet classes provide greater variability in coverage. Treatments at heights of 3 and 4 meters had the greatest coverage variability and correlation with relative humidity. There was greater similarity in data variability between speeds of 4 and 5 m s⁻¹ compared to other speeds, indicating that these two speeds do not have statistical differences. Speeds of 3 and 6 m s⁻¹ were the treatments that correlated with deposition and coverage due to their proximity to the vectors. Deposition and coverage exhibited a positive correlation with each other and a negative correlation with meteorological variables. Temperature and humidity were the variables causing the greatest variability in the data. Lower flight heights have a positive impact on coverage and deposition, being less affected by weather conditions. Higher wind speed increases the variability of coverage and deposition. The effect of RPA application speed is dependent on the prevailing meteorological condition at the time of application.

Keywords: Application technology, Operational settings, quality, aerial application.

1.INTRODUÇÃO

A demanda global por alimentos continua aumentando, o que exige um aumento contínuo da produção agrícola, por isso a grande importância do agronegócio brasileiro no mundo. No Brasil, a produção agrícola é um dos principais setores da economia, responsável por cerca de 25% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e por mais de 50% das exportações brasileiras (CEPEA, 2022).

Os agricultores precisam utilizar tecnologias que possam aumentar a produtividade, melhorar as formas de manejo e além da crescente preocupação com a poluição ambiental, o aumento dos custos de produtos, mão de obra e energia também tem se tornado cada vez mais proeminente.

Diante dessa situação, uma nova tecnologia de aplicação tem sido amplamente utilizada em todo o mundo: a aplicação com RPAs (*Remotely Piloted Aircraft System*) (MARTINEZ-GUENTHER et al., 2020).

O uso de RPA para aplicar produtos fitossanitários tem se tornado cada vez mais comum na agricultura, oferecendo vantagens em termos de precisão, eficiência e redução de custos em aplicações localizadas (BARBIZAN et al., 2022), no entanto, é fundamental que essa tecnologia seja utilizada de maneira responsável e segura, buscando as boas práticas para a aplicação e segurança do uso do equipamento.

A adoção de boas práticas na aplicação de produtos fitossanitários, visando formar um espectro de gotas mais uniforme e o momento de aplicação mais favorável, é um aspecto fundamental para reduzir o risco de deriva e proporcionar aplicações eficazes, sustentáveis e economicamente viáveis, problema esse que vem sendo estudado em aplicações usando RPA (WANG et al., 2018b). Em relação ao processo de geração de gotas, ponta hidráulica (GUO et al., 2020; WANG et al., 2020a; AHMAD et al., 2020; CHEN et al., 2020a) e equipamento de disco rotativo de atomização (LIU et al., 2020) têm sido utilizados em trabalhos de investigação.

Não há muitas afirmações sobre essa tecnologia, porque os dados de pesquisas obtidos no Brasil são escassos, informações inconsistentes são geradas sem suporte científico, o que dificulta análises mais técnicas de viabilidade agrônômica, ambiental e econômica. Um dos processos mais utilizados para investigar a dinâmica das pulverizações de produtos fitossanitários tem sido a análise dos depósitos por meio de substâncias marcadoras (corantes alimentícios, pigmentos fluorescentes e íons metálicos), e cobertura por coletores

artificiais passivos. A partir destes processos tem se tomado decisões na escolha de técnicas de aplicação e equipamentos de pulverização (MARCHI et al., 2005).

O objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos das condições meteorológicas, taxas de aplicação, classes de gotas, alturas de voo e velocidade de aplicação no depósito e a cobertura da aplicação aeronave remotamente pilotável.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA - RPA

2.1.1. Histórico dos RPAs

RPA é uma aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota, vem da definição *Remotely Piloted Aircraft System*, é o termo técnico e padronizado internacionalmente pela OACI (Organização da Aviação Civil Internacional) para se referir aos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas utilizadas com propósitos não recreativos (DECEA, 2019).

Aeronave de asa rotativa significa uma aeronave mais pesada que o ar que depende principalmente da sustentação gerada por um ou mais rotores para manter-se em voo com hélices projetadas para empurrar o ar para baixo. Devido à ação oposta e igual das forças, quando o rotor empurra o ar para baixo, o mesmo ar empurra o RPA para cima. Portanto, quanto mais rápido os rotores giram, maior é a força gerada para a elevação. (DECEA, 2019).

Após a segunda guerra mundial, em 1973 a Força Aérea Americana desenvolveu um RPA chamado Projeto Aquila, o qual tinha pouca eficiência, pois voava poucos minutos, apesar de ter sido projetado para ter uma autonomia de voo de 20 horas e precisava ser operado por 30 pessoas em solo (COSTA, 2019). O modelo que ficou marcado na história dos RPA, ou seja, o qual conhecemos hoje em dia, foi desenvolvido pelo engenheiro espacial israelita Abraham (Abe) Karem (REZENDE, 2018). Os RPA foram criados e desenvolvidos em âmbito militar e depois sua tecnologia foi aberta ao meio civil para exploração comercial e aprimoramento tecnológico (CERBARO, 2016).

As novas tecnologias tornaram os RPA acessíveis à população, usando para recreação e como aeromodelos. Empresas viram essa tecnologia como um meio de melhorar a prestação de serviços e as RPA (*Remotely Piloted Aircraft* ou traduzindo para o português, aeronaves remotamente pilotadas) (ALFARO, 2015).

No Brasil, o primeiro veículo aéreo não tripulado - RPA foi o BQM1BR, fabricado pela CBT (Companhia Brasileira de Tratores), em 1983, ele era movido a jato e tinha por objetivo servir de alvo aéreo (ITARC, 2018). Os RPA utilizados na guerra são diferentes daqueles que conhecemos atualmente, mas este tipo de dispositivo, que foi

“importado” da indústria bélica, vem ganhando cada vez mais aplicações úteis e geniais dentro da sociedade (CIRIACO, 2019) e vem sendo utilizado para diversas tarefas, como auxiliar na agricultura e agropecuária, segurança, entrega de produtos, entre outras utilidades (AUGUSTO, 2018).

Na década de 1980, os helicópteros agrícolas movidos a combustível foram introduzidos pela primeira vez no Japão (Chen et al., 2021). No entanto, com os avanços tecnológicos recentes, os modelos elétricos de um ou vários rotores têm gradualmente substituído os helicópteros movidos a combustível (He et al., 2017; Chen et al., 2021).

Já que está falando de história, então: as RPAs para uso civil foi um desenvolvimento natural a partir da comercialização de multirotores para uso recreativo (aeromodelos), a princípio com 4 motores, sistema de estabilização e nivelamento horizontal em voo e GNSS. A próxima etapa nesse desenvolvimento foi a criação de uma característica até aquele momento (início da década de 2010) inédito em aeromodelos recreativos, um dispositivo chamado RTH (return to home), possível somente com a utilização da posição GNSS a partir do local de decolagem. A partir disso, os aeromodelos recreativos começaram a ter desenvolvimento mais intensivo em suas placas controladoras e começaram a permitir o plano de voo. Essa última característica permitiu o salto da tecnologia para a aplicação de defensivos com pequenas mudanças nos equipamentos RPA, uma vez que havia o controle de pouso e decolagem, assim como o controle das passadas paralelas no talhão onde o defensivo era aplicado. Essa característica de gerenciamento das passadas foi desenvolvido a princípio para a realização de aerofotogrametria, permitindo a mosaicagem das imagens individuais do campo (comunicação pessoal, 27 de maio de 2023).

2.1.2. Benefícios da Utilização de RPAs

A agricultura de precisão tem um papel fundamental no cenário futuro do agronegócio, gerando mais produtividade, minimizando custos, evitando desperdícios e otimizando processos (RIBEIRO, 2019). Com essas transformações digitais no campo, segundo denomina Ribeiro (2019), o processo de industrialização 4.0, aparecem com destaque os RPA, que são utilizados para monitorar lavouras, identificar falhas no plantio, entre outras atividades (LUCHETTI, 2019).

O RPA já é largamente utilizado como meio de aplicação de produtos fitossanitários, para mapeamentos de forma geral, para inspeções civis e industriais. Em

países europeus e nos EUA, esse já é utilizado na indústria naval como auxílio na inspeção (KNEIPP, 2018).

O RPA pode ser customizado de acordo com a necessidade do seu usuário, possui um centro de comando que controla seus movimentos. Há uma variedade de modelos, dos mais simples ao mais modernos, que em alguns casos utilizam energia cinética transformada em estática para serem reaproveitadas em outras funcionalidades (GUISSONI, 2017). O mapeamento aéreo e a versatilidade dos RPA também podem ser citados como vantagens, pois é útil em diferentes mercados, se adequando a cada um deles (MEDEIROS NETO, 2016).

Por meio do uso de RPA é possível realizar a análise da plantação, detecção de doenças ou pragas, falhas no plantio ou excesso/falta de irrigação (RODRIGO, 2016). Na demarcação do plantio, o RPA proporciona uma visão do todo de forma ágil e fácil, as imagens capturadas poderão auxiliar em quais áreas do campo serão mais propícias ao plantio; Acompanhamento da safra, o RPA sobrevoa a plantação com a frequência desejada pelo produtor, realizando a captura de imagens e a análise cronológica no computador por meio de software, o que torna possível verificar o desenvolvimento da safra e se a lavoura está desenvolvendo como esperado; Pulverização realizada de forma precisa é um dos principais fatores quando se busca o máximo potencial de cultivo, a aplicação é realizada pelo RPA, o que é mais eficiente pela proximidade com as plantas e, ao mesmo tempo, mais segura por não ser tripulado por um piloto (RODRIGO, 2016; DE CLERCQ et al., 2018).

2.1.3. Emprego dos RPAs na Pulverização

Através da portaria Nº 298, datada de 22 de setembro de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu normas para a utilização de aeronaves não tripuladas na aplicação de agrotóxicos e produtos similares, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Essas normas exigem que os operadores possuam registro no MAPA, certificação de conclusão do Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR) e que as aeronaves não tripuladas estejam em situação regular junto à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Ademais, para garantir a segurança das operações, a aplicação aero agrícola utilizando aeronaves não tripuladas é restrita à área-alvo

da intervenção e é de suma importância o registro dos dados referentes a cada aplicação de agrotóxicos e produtos similares, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2021).

Os RPAs se distinguem pelo modelo da asa, podendo ser de asa fixa ou rotativa. Os RPAs de asa rotativa podem ser do tipo helicóptero convencional ou multirotor. Os RPAs do tipo multirotor são compostos por uma plataforma aérea equipada com eletrônica sofisticada, seu sistema de controle permite voos altamente estáveis com um tempo reduzido de treinamento operacional. Esses RPAs são compactos, fáceis de operar, seguros e possuem baixo custo operacional (MEDEIROS, 2007).

Na agricultura, o RPA do tipo asa fixa é utilizado em grande escala na agricultura, e pode ser um modelo mais adequado para grandes áreas. No entanto, ele é bastante suscetível a ventos fortes, mas, em geral, é o que apresenta menos problemas de operação para usuários. Esse tipo de RPA possui uma asa tipo fixa, que cria sustentação para o voo, e um motor tipo hélice na parte traseira que impulsiona o modelo para frente (FORCE, 2016).

O RPA de asa fixa é um projeto de aeronave mais tradicional, semelhante a um avião. É composto por um corpo central com duas asas e, geralmente, uma única hélice. Quando no ar, as duas asas geram sustentação que compensa o peso do RPA, permitindo que ele permaneça em voo. Os RPAs de asa fixa são comumente utilizados em grandes áreas, possuindo um sensor de altimetria e precisão centimétrica (TORRESAN et al., 2016). Eles apresentam diversas vantagens em comparação com os RPAs de asa rotativa, como maior velocidade e altura de voo. No entanto, esses modelos requerem uma pista para decolagem e aterrissagem ou podem ser lançados manualmente (TORRESAN et al., 2016; BASSO et al., 2016; BOON et al., 2017).

De acordo com Xiong Kui et al. (2017), os RPAs de asa rotativa apresentam as seguintes vantagens: Não requer pista e decolagem, permitindo trabalhos próximos à área a ser aplicada; Raio de giro curto e boa manobrabilidade; Possibilidade de voo vertical e bom desempenho em voo de baixa altitude; Alta eficiência de campo (tempo sem carga curto); Possibilidade de trabalho em áreas pequenas e / ou inclinadas; Alto grau de automação e também o efeito de “*Downwash*” que é o efeito do movimento do fluxo de ar para baixo realizando empurrando as gotas e fazendo a movimentação das folhas das culturas, que pode melhorar a deposição no alvo e é de fácil aplicação em plantas isoladas ou áreas específicas.

Hunter III et al. (2019) diz a respeito da alta capacidade de aplicação em áreas que seriam de difícil entrada e para manejo da cultura, em relação a declividade, terrenos irregulares entre outras dificuldades.

Uma característica inerente a este tipo de aplicação é a utilização de uma menor taxa de aplicação para viabilizar a operação (MARTINEZ GUANTER et al., 2020). Isso aumenta a autonomia e as capacidades operacionais.

A aplicação de produtos fitossanitários empregando RPAs, teve um grande aumento nos últimos anos, existem muitos desafios que precisam ser compreendidos e corretamente ajustados, para assegurar o sucesso das aplicações, seja do ponto de vista agrônomo ou ambiental. Por se tratar de algo relativamente novo, ainda carece de informações (MARTINEZ GUANTER et al., 2020).

A aplicação com RPA pode gerar algumas vantagens como: Menor desperdício de produto: a pulverização com RPA reduz o desperdício de produto, pois é possível controlar a quantidade de produto aplicado em cada área (LIU et al., 2019). apresentam uma vantagem significativa em relação aos equipamentos terrestres, uma vez que evitam o amassamento das culturas, reduzindo as perdas na produção. Segundo Reis e Zanatta (2017), o amassamento em uma plantação de soja com produtividade de 3,2 toneladas por hectare pode resultar em perdas de até 4,9%.

Impacto na saúde humana: a exposição a produtos fitossanitários utilizados na pulverização pode afetar a saúde humana, causando efeitos como irritação dos olhos e das vias respiratórias, dores de cabeça e, em casos extremos, doenças graves como câncer (FREITAS et al., 2022).

2.2. FATORES QUE INTERFEREM NA PULVERIZAÇÃO COM RPA

2.2.1. Configurações do RPA

A configuração inadequada do RPA também pode afetar a eficácia da aplicação em condições de vento. De acordo com Costa et al. (2007), a escolha de diferentes tamanhos e tipos de bicos de pulverização e ajustes na pressão da calda podem ajudar a melhorar a eficácia da aplicação em condições de vento. Além disso, a utilização de sistemas de estabilização de voo e de controle automático de direção da pulverização também pode ajudar a melhorar a precisão da aplicação em condições de vento (NERIS, 2001).

A configuração do RPA é uma variável importante na aplicação de produtos fitossanitários, pois pode afetar a cobertura e precisão da pulverização. A estrutura do RPA de pulverização e o tipo de bico de pulverização são fatores-chave que influenciam a eficácia da aplicação (MEDEIROS, 2007).

De acordo com o estudo de Smith et al. (2018), a capacidade do tanque de pulverização pode afetar a duração da aplicação, já que RPAs com tanques de menor capacidade precisa ser recarregados mais frequentemente. Além disso, RPAs com tanques de pulverização maiores tendem a ter uma maior eficiência, pois podem cobrir uma área maior sem interrupções.

Embora ainda faltem dados sobre como o tipo e o número de rotores afetam a deriva, a influência dos rotores na deriva foi reconhecida (RICHARDSON et al., 2019). Wang estudou as características de deriva de cone vazio e bicos injetores de ar montados em RPAs com diferentes números de rotores (WANG et al., 2021). Com base em 90% da distância total de deriva, eles demonstraram que rotor único sempre fornecia as menores distâncias de deriva (WANG et al., 2021).

O tipo de bico de pulverização também pode afetar a cobertura e precisão da pulverização. De acordo com o estudo de ROHDE et al. (2021), bicos de pulverização de jato plano têm uma maior precisão na aplicação, enquanto bicos de pulverização de jato cônico têm uma maior cobertura.

2.2.2. Taxa de aplicação, Altura e Velocidade de Aplicação

Vários fatores podem interferir na aplicação, como a altura e velocidade de voo do RPA, o tamanho e composição das gotas produzidas, a taxa de aplicação e as características da pulverização, incluindo o uso de adjuvantes. Geralmente, a altura aplicada está entre 1,0 e 3,0 m, e a velocidade está entre 1,0 e 7,0 m s⁻¹, o que pode ser verificado no trabalho de Liao et al. (2019); Wang. et al. (2020 a); Ahmad et al. (2020) e Chen P. et al. (2020). Wang et al. (2020 a) relatam que um equilíbrio deve ser encontrado entre altitude e velocidade para obter aplicações satisfatórias. Tang et al. (2018) estudou o efeito da altitude de voo na qualidade da aplicação de RPA em citros e concluiu que uma distância de 1,2 m do alvo pode fornecer uma boa distribuição da calda no dossel e penetração de gotas para citros com as condições operacionais empregadas em seu trabalho.

O depósito das gotas pulverizadas com RPA são influenciadas por diversos fatores controláveis da pulverização, como parâmetros operacionais como taxas de aplicação, velocidade de RPA na pulverização, tamanhos de gotas e altura de aplicação, fatores ambientais (umidade, temperatura, e velocidade do vento), e as propriedades do líquido (tipo e concentração do líquido) (BALSARI, 2017); (BALSARI 2019); (TESKE, 2020).

A deposição e distribuição de gotas no dossel da cultura estão intimamente relacionadas com a altura operacional e a velocidade de pulverização da cultura executada pelo RPA (HUSSAIN et al. 2019). RPAs de rotor único (helicópteros não tripulados), a altura de voo adequada acima do dossel da cultura está entre 2,5 - 4 m, enquanto a velocidade está entre 3-5 m s⁻¹ (CHEN, 2020), (CHEN, 2016), (XUE, 2016). O coeficiente de variação (CV) da deposição total nas plantas para ambos os tipos de RPA varia de 30 a 70% normalmente; porém, no pior caso, o valor ultrapassa 80% (CHEN, 2021); (LOU, 2018), (CHEN, 2016); (WANG, 2019); (MENG, 2020). A maioria dos dados de teste vem do voo de um único RPA.

Os resultados do teste são comparados com o manual, equipamento de pulverização de solo e equipamento de pulverização de aviação. No entanto, atualmente não há pesquisas com foco e avaliação da qualidade de pulverização de pulverização de formação próxima com vários RPAs (CHEN, 2022a).

2.2.3. Condições Meteorológicas

Condições meteorológicas em diferentes horários do dia influenciam a eficácia dos tratamentos fitossanitários. A temperatura e a umidade relativa do ar exercem grande influência sobre a duração das gotas, estando diretamente relacionada à sua evaporação (ADEGAS, 2020).

As perdas por evaporação durante a aplicação de produtos fitossanitários são consideradas uma das principais perdas no processo de pulverização. Assim, para evitá-las, as condições psicrométricas do ar devem ser constantemente monitoradas durante as pulverizações, com valores recomendados de temperatura do ar inferiores a 30 °C e de umidade relativa superiores a 55% e tomar medidas para ajustar a pulverização para determinada situação (ANDEF, 2004; RAETANO, 2011).

As condições psicrométricas são tão importantes que trabalhos mostram que o tempo para a evaporação das gotas aumenta exponencialmente com o aumento da umidade

relativa do ar, com registro de valores que chegam a 153% quando se aumenta a UR de 30 para 90% (YU et al., 2009a; YU et al., 2009b). Além destas condições, o tamanho das gotas também tem grande influência sobre estas perdas (XU et al., 2010; YU et al., 2009a; YU et al., 2009b). Yu et al. (2009b) 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.

Com a ocorrência de perdas do produto aplicado, menor será a quantidade de agrotóxico que atinge o alvo e, possivelmente, haverá redução da eficácia do controle fitossanitário. Fato relatado em diversos trabalhos, ao se comparar diferentes horários de aplicação, há indicação de que o depósito do produto fitossanitário diminuiu significativamente à medida que o déficit de pressão é aumentado (ALVARENGA et al., 2013; BALAN et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2012).

Juntamente com a evaporação, a deriva provoca muitas perdas durante as aplicações de agrotóxicos. Juntas, estas perdas podem ser elevadas, com valores que atingem os 45% da taxa de aplicação total aplicada (CHAIM et al., 1999). Uma das principais variáveis que influenciam a deriva é a velocidade do vento e, conseqüentemente, sob maiores valores dessa variável, maior será a deriva (CARLSEN et al., 2006b; NUYTTENS et al., 2006). Deste modo, durante as pulverizações, a velocidade do vento deve estar situada entre 3 e 7 km h⁻¹, tolerando-se velocidades de até 10 km h⁻¹, exceto para aplicação de herbicidas (ANDEF, 2004; RAETANO, 2011). O vento é um fator crucial na aplicação de produtos fitossanitários com RPAs, pois pode afetar a precisão e eficácia da pulverização. De acordo com o estudo de Desmarteau et al. (2020), o vento pode desviar a direção da pulverização, resultando em uma cobertura incompleta da área alvo e potencial contaminação de áreas não alvo. Este resultado foi corroborado por Catania et al. (2011), que encontraram que ventos fortes podem comprometer a precisão da pulverização e resultar em uma menor eficácia do tratamento fitossanitário.

Além disso, a velocidade e a direção do vento são importantes para avaliar a segurança da aplicação de fitossanitários com RPAs. De acordo com Desmarteau et al. (2020), ventos com velocidade acima de 10 km h⁻¹ podem tornar a aplicação perigosa, já que o RPA pode perder estabilidade e se desviar da rota planejada. Que encontraram que ventos laterais podem afetar negativamente a estabilidade do RPA e a precisão da pulverização.

De acordo com Silva et al. (2018) há uma correlação espacial entre o período disponível para aplicação de agrotóxicos no estado do Paraná e a variação sazonal ao longo do ano. Essa dependência está presente e afeta a forma como os agricultores podem realizar as aplicações de agrotóxicos, sendo que com este estudo foi observado que para que o

agricultor fosse pulverizar 8 horas seguidas ele teria apenas um dia disponível. Para compensar, os especialistas em tecnologia de pulverização desenvolveram diferentes bicos de pulverização. Isso os ajuda a cumprir a tarefa de manter as plantas livres de doenças, conforme afirma a fonte citada nesta linha do texto (ALVARENGA et al., 2013).

É importante minimizar a pressão aplicada aos produtos vegetais para fins fitossanitários. Para fazer isso, use técnicas de alta pressão, como pontas que produzem gotas grandes ou técnicas de baixa pressão, como ventos laterais que não são ideais para pulverização. Quando altas taxas de evaporação resultam em tempos de queda de longa duração e estáveis, até mesmo à deriva do vento é aumentada (ALVARENGA et al., 2011).

2.2.4. Qualidade da Aplicação

Conceitualmente, existem dois tipos de avaliação de aplicação de produtos fitossanitários: primeiramente a deposição que determina a quantidade de produto depositado no alvo (massa ou volume por área ou massa seca do alvo) e a segunda a cobertura que determina o percentual do alvo coberto pela aplicação (TAVARES, 2020).

Os parâmetros de depósito e cobertura são os componentes mais eficiente no desempenho da aplicação, é importante quantificá-los para avaliar a eficácia da pulverização (YU et al., 2009a). Existem diversos estudos sobre padrões de deposição de pulverizações, indicando grande variabilidade dos fitossanitários ao longo das faixas de aplicação, o que diminui a eficácia dos tratamentos (PERGHER; GUBIANI; TONETTO, 1997). Além desses, Dario et al. (2017) quando avaliaram pontas de jato plano com indução de ar, pré-orifício e jato simples, detectaram que na cultura da soja aproximadamente 50% do depósito ficou retido no terço superior do dossel, reduzindo até o terço inferior, constatando as dificuldades em distribuir a pulverização igualmente em todas as partes da planta, também abordado por Prado et al. (2015).

Cobertura do alvo é definida como a percentagem do alvo que foi coberta pelas gotas de pulverização, e a cobertura ideal depende do alvo a ser atingido e das características do produto aplicado (TAVARES, 2020). No caso dos herbicidas de contato há necessidade maior de cobertura, pois o produto não é móvel na planta, diferentemente dos herbicidas sistêmicos, em que a cobertura não é muito importante, pois o produto é absorvido e possui características de mobilidade no alvo (BAESSO et al., 2014).

Medidas precisas de número de gotas por área são importantes para que se tenha a técnica mais correta para a utilização. Isso permite decisões de pulverização precisas e ajuda com métodos de pulverização adequados. Também reduz o uso de produtos fitossanitários, combinando a taxa de aplicação com a quantidade de gotas depositadas. Eles também coletam amostras de depósito para detectar sua presença. A criação de modelos dessa natureza é difícil e a maioria dos métodos envolve a coleta de gotas para analisá-las. Depois que os dados da pulverização com RPAs podem ser coletados e processados em papel hidrossensível, também conhecido como WSP (*Water sensitive paper*). Este é utilizado para coletar gotas da pulverização e realizar o processamento da imagem (HOFFMANN, 2005).

Uma linha de visão pode ser estabelecida para observar o efeito de deposição, mas a resolução do scanner e o efeito de sobreposição de gotas prejudica a precisão ao determinar quantas gotas estão presentes (ZHU, 2011). Outros pesquisadores obtêm essas informações adicionando uma quantidade de um marcador na calda com o agrotóxico (GAO, 2019). O método utilizando um marcador na calda consegue ter alta precisão na deposição das gotas, e usando matérias-primas baratas (marcadores). O processamento seguinte é uma complexa análise necessária para obter o depósito. Um analisador a laser (KIRK, 2007), e sensores de umidade foliar (ACHARYA, 2017), podem ser usados para detectar as gotas depositadas.

2.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação é o uso de todo o conhecimento científico com o objetivo de colocar corretamente o produto fitossanitário no alvo, propondo uma dose necessária economicamente e com uma mínima poluição ambiental (MATUO, 1990).

A tecnologia de aplicação é necessária e fundamental para realizar o controle fitossanitário adequado para manter a sanidade fitossanitária para garantir que as plantas cultivadas possam utilizar plenamente seu potencial produtivo sem doenças, pragas de insetos ou plantas invasoras (OLIVEIRA, 2010). O manejo fitossanitário correto é fundamental para garantir a qualidade e a quantidade de produtos fitossanitário, protegendo as plantas de pragas e doenças que podem afetar o crescimento e a produção (FERREIRA et al., 2018).

Equipamentos e avanços tecnológicos oferecem informações úteis sobre a pulverização, como o registro do local pretendido para o depósito e o rastreamento de

possíveis perdas fora da área pretendida. Técnicas e equipamentos incorretos podem prejudicar o manejo eficiente no controle fitossanitário, levando ao desperdício desnecessário de produto na forma de deriva ou superdosagem (FERREIRA, 2011).

A qualidade da aplicação e o controle adequado dos alvos podem ser melhorados por meio da interação correta de vários fatores. Dentre esses fatores, os parâmetros do espectro de gotas, como o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a amplitude relativa (AR) e o percentual volumétrico de gotas com diâmetro inferior a 100 μm (V100), bem como as condições meteorológicas, são essenciais para melhorar a qualidade do processo (RUAS, 2006).

O espectro de gotas refere-se aos diferentes tamanhos de gotas produzidos por uma mesma ponta hidráulica ou atomizador rotativo (ZAMBIANCO, 2013). A determinação do espectro gerado por esses equipamentos é crucial para o sucesso na aplicação de defensivos agrícolas, pois influencia diretamente a faixa de deposição, contribuindo para a largura e uniformidade da aplicação (ANTUNIASSI et al., 2009).

A eficácia de uma aplicação é crucial para o desenvolvimento das culturas e é influenciada por diversos fatores, como a escolha adequada do equipamento, incluindo tipos de instrumentos e sistemas montados, pontas de pulverização hidráulicas ou atomizadores rotativos, ajuste do volume de calda, parâmetros operacionais (como a faixa de deposição, altura de voo, velocidade de aplicação e tamanho da barra de pulverização), condições meteorológicas favoráveis e o momento correto da aplicação. É importante lembrar que as boas práticas agrícolas devem ser sempre consideradas (ANTUNIASSI et al., 2017a) para garantir a efetividade da aplicação.

Novas técnicas de aplicação estão constantemente desenvolvidas a fim de garantir a eficácia de sua aplicação. Segundo Matuo (2001), a aplicação adequada de um produto fitossanitário requer o uso de todo o conhecimento científico disponível. Esta definição incluem o uso de tecnologia adequada para aplicação de produtos como produtos fitossanitários.

2.4. SISTEMAS DE GERAÇÃO DE GOTAS

2.4.1. Pontas Hidráulicas

O uso de produtos fitossanitários depende de muitos aspectos, entre eles, a escolha da ponta, taxa de aplicação correta, parâmetros operacionais, condições ambientais e momento correto para a aplicação e a relação entre o alvo a ser atingido (ANTUNIASSI; BAILO (2008).

A escolha da ponta de pulverização para RPAs é um aspecto crucial na aplicação de produtos fitossanitários, pois pode afetar a cobertura, depósito, uniformidade e a eficácia da aplicação. As Pontas de pulverização são responsáveis por gerar as gotas em uma aplicação, através da passagem do líquido em um orifício sob uma determinada pressão, com isso é formado uma lâmina líquida, a qual se divide em gotas de diferentes tamanhos (ANTUNIASSI et al., 2017b). São consideradas um dos componentes mais importantes, pois estão relacionados à qualidade da aplicação, tamanho de gotas, distribuição de líquido pulverizado, uniformidade de distribuição e volume da calda (BAUER; RAETANO, 2004). As pontas de pulverização têm uma influência significativa na qualidade da aplicação, pois afetam a vazão, a cobertura do alvo e a uniformidade da distribuição da calda (BAUER; RAETANO, 2004).

A pressão exercida na calda, a tensão superficial, a densidade, a viscosidade e as condições atmosféricas do ar externo às pontas de pulverização são fatores que afetam a formação do filme líquido e das gotas que são produzidas (RAETANO; MOTA, 2019a).

As pontas de pulverização são categorizadas com base no perfil de deposição (área total ou em faixa), formato do jato de pulverização (jato plano ou cônico), mecanismos de geração de gotas, vazão das pontas e espectro de gotas (RAETANO, 2019b). O ângulo de abertura do jato plano tem um efeito sobre o tamanho das gotas geradas, com ângulos menores produzindo gotas maiores (RAETANO, 2019b). As principais tecnologias envolvidas em pontas de pulverização estão relacionadas na sequência: Jato plano: O processo consiste em direcionar o líquido por meio de um orifício elíptico, formando um filme plano que, ao se afastar da fonte, se fragmenta em gotículas. O ângulo de dispersão do jato é influenciado tanto pela pressão de pulverização - menor pressão resulta em menor ângulo de dispersão e vice-versa - quanto pela configuração da parte interna e do orifício de saída de cada ponta. (ANDEF, 2004); ponta de pulverização por impacto: As pontas de impacto operam com um jato de líquido que é direcionado a uma superfície sob um ângulo próximo de 90°, produzindo um filme plano de líquido com um amplo ângulo de abertura, variando entre 130° a 150°, mesmo quando utilizadas com pressões inferiores a 1,0 bar. (BOLLER, 2019); Jato cone: As pontas de jato cônico operam com um processo que envolve a passagem do líquido pulverizado através de uma pastilha com um anel, também conhecido como difusor,

contendo um ou mais furos tangenciais ou helicoidais. Esse líquido é então conduzido para uma câmara de turbilhonamento, que promove um movimento rotacional no fluido. (VELLOSO; GASSEN; JACOBSEN, 1984). Ao sair pelo orifício da ponta, o líquido forma um filme com formato de cone. Caso haja um orifício central no anel, o cone formado será preenchido com líquido (cone cheio). Entretanto, na ausência desse orifício, o centro do cone será composto apenas por ar, caracterizando um jato cônico vazio; Jato plano de redução de deriva: Com o objetivo de minimizar a perda de calda pulverizada causada pela deriva, foram criadas pontas de jatos planos com tecnologias específicas para esse propósito. Dentre essas tecnologias, destacam-se as pontas com pré-orifícios e as pontas de impacto com câmara de turbulência. Ambos os tipos de pontas reduzem significativamente a quantidade de gotas finas e muito finas produzidas em comparação com pontas de mesma vazão (BOLLER, 2019); Pontas de indução de ar: Existem duas gerações de pontas de indução de ar disponíveis. A primeira geração, conhecida como Venturi I, produz gotas maiores em comparação às pontas com pré-orifícios. Já na segunda geração, denominada Venturi II, é possível encontrar pontas que produzem gotas com tamanhos semelhantes às pontas com pré-orifícios (BOLLER, 2019).

De acordo com o estudo de Buosi et al. (2020), diferentes tipos de pontas de pulverização podem produzir diferentes padrões de deposição na folhagem, afetando assim a cobertura da planta. Além disso, a configuração da ponta de pulverização também pode afetar a uniformidade da aplicação. De acordo com o estudo de Wang et al. (2018a), a abertura da ponta de pulverização afeta a taxa de deposição de calda no alvo, o que pode resultar em uma cobertura inadequada do alvo na pulverização com RPA. Este resultado foi confirmado por Liu et al. (2019), que encontraram que a escolha inadequada da ponta de pulverização pode resultar em uma menor uniformidade da aplicação com RPA.

Guo et al. (2020) estudaram a altura de liberação de gotas e a distância entre os bicos na aplicação com ponta de plano XR 110015VS. O autor descobriu que o ângulo do jato é o maior fator que afeta o tamanho da gota.

Conforme observado no estudo de Wang et al. (2020b) em diferentes modelos de RPAs, a ponta com sistema de indução de ar apresenta um efeito na redução de deriva superior a ponta cone na aplicação com RPAs. Os resultados da utilização destes modelos de pontas tiveram as proporções de gotas com tamanho de partícula inferior a 75 µm foram de 16,1% para ponta cone vazio e 1,8% em ponta de indução de ar. A utilização de pontas de indução de ar pode resultar em gotas mais grossas, reduzindo assim o risco de deriva das mesmas.

O tipo de ponta de pulverização mais utilizado na aplicação com RPAs é a ponta de jato plano simples e pontas do tipo cone. Além disso, as pontas de jato plano geralmente requerem menor pressão e vazão do líquido pulverizado, o que pode ser benéfico para a operação com RPAs, que têm capacidade de carga limitada (CHEN et al. 2022b).

É importante destacar que a escolha da ponta de pulverização também pode afetar a segurança da aplicação. De acordo com o estudo de Zambolim et al. (2008), pontas de pulverização inadequadas podem aumentar o risco de deriva e proporcionar contaminação de aplicadores, transeuntes, animais e o ambiente. Pontas danificadas podem aumentar a vazão da calda, prejudicando a uniformidade da aplicação e aumentando a vazão original da ponta (PEIXOTO et al., 2020).

Deve-se atentar a outro fator na seleção de pontas que é o dimensionamento em relação as variáveis da pulverização que serão adotadas, como a taxa desejada, velocidade de aplicação, a faixa efetiva da aplicação, segundo Carvalho et al. (2011) seguindo a fórmula:

$$L \text{ min}^{-1} = \frac{L \text{ ha}^{-1} \times \text{km h}^{-1} \times \text{faixa (m)}}{600}$$

onde:

$L \text{ min}^{-1}$ = Vazão da ponta em litros por minutos.

$L \text{ ha}^{-1}$ = Taxa de aplicação em litros por hectare.

km h^{-1} = Velocidade de voo em quilômetros por hora.

Faixa = Largura da faixa de deposição efetiva em metros.

Conhecida a vazão necessária, localiza-se a ponta adequada de acordo com fatores como o alvo, tipo de produto, tamanho de gota e outros fatores, verifica a respectiva pressão de operação em uma tabela fornecida pelo fabricante de pontas, levando em conta ainda o tamanho das gotas, de acordo com o tipo de produto a ser aplicado Carvalho et al. (2011).

2.4.2. Discos Rotativos

Discos atomizadores são dispositivos que são usados em RPA de pulverização para a função gerar e distribuir gotas. Eles são usados em aplicações agrícolas,

mas também em outras áreas, como a pulverização de inseticidas, herbicidas e fertilizantes. escoamento (MONTEIRO, 2007)

Os bicos rotativos ou atomizadores são utilizados como alternativa aos bicos hidráulicos ou pneumáticos para fracionar líquidos em gotas. Eles são conhecidos como bicos de energia centrífuga e oferecem a grande vantagem de gerar gotas uniformes, sendo atualmente os mais homogêneos. Existem vários modelos de bicos rotativos disponíveis no mercado (OLIVEIRA et al., 2010).

O princípio de funcionamento é que o líquido atravessa um eixo oco do atomizador e é expelido em direção a uma tela ou conjunto de discos rotativos que quebram o líquido em gotas, utilizando a força centrífuga. Para dar possibilidade de trabalhos com a pulverização em taxas de aplicação de 10 e 20 L ha⁻¹ no Brasil, CDA, ou *Controlled Drop Application*, usou discos rotativos para criar um espectro mais uniforme de gotas. É uma técnica que a CBB (Centro Brasileiro de Bioaeronáutica) criou em 1998 esta técnica e é usada em seu Sistema BVO (Baixo Volume Oleoso). Este sistema exige que os usuários adicionem óleo vegetal ou adjuvantes a calda - isso ajuda a reduzir a evaporação e manter as gotas finas, uma vez que elimina gotas muito pequenas, causadoras de deriva e, as muito grandes, que se perdem por escoamento (OLIVEIRA et al., 2010).

Os discos atomizadores são uma opção eficaz para aplicação de herbicidas em áreas de difícil acesso, como matas, beiras de estradas e encostas íngremes. (BAYER et al., 2021).

A vantagem dos discos atomizadores montados em RPA é a capacidade de cobrir grandes áreas com menor número de bicos e é um equipamento mais uniforme na geração de gotas, além de reduzir o risco de exposição a produtos fitossanitários para o operador (JAFARZADEH et al., 2020). O uso de discos atomizadores em RPA também permite aplicar produtos de forma mais uniforme, pois é possível controlar a velocidade e a altura de voo do RPA para garantir uma distribuição adequada do produto (FERREIRA et al., 2008).

A escolha do disco atomizador mais adequado também é importante para garantir a eficácia da aplicação. Fatores como tamanho, formato e material do disco, rotação podem afetar a qualidade da pulverização (QINGQING et al., 2017).

3. REFERENCIAS

ACHARYA, B.S.; STEBLER, E.; ZOU, C.B.; Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions, **Hydrol Processes**, v.31, p. 240-249, 2017.

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D.L.P.. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. 2020.

AHMAD, F.; QIU, B.; DONG, X.; MA, J.; HUANG, X.; AHMED, S.; CHANDIO, F.A.; Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. **Computers and Electronics in Agriculture** v.172, p.105350. 2020.

ALFARO, R.A. F.. **Os Veículos Aéreos Não Tripulados na PSP: Visão Estruturante e Aplicabilidade Operacional**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Policiais) – Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna. Lisboa, Portugal. 2015.

ALVARENGA, C. B., TEIXEIRA, M. M., ZOLNIER, S., CECON, P. R., SIQUEIRA, D. L., RODRIGUÊS, D. E., RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, n.1, 2013.

ALVARENGA, C. B., Efeitos do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 97-110, 2014.

ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. FCA/UNESP, Botucatu/SP, 2005.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, p. 174-175, 2008.

ANTUNIASSI, U. R. et al. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**, v. 2, p. 173-212, 2009.

ANTUNIASSI, U. R., CARVALHO, F. K., MOTA, A. A. B., CHECHETTO, R. G. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2017a.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Recomendações de boas práticas na aplicação aérea de produtos fitossanitários. **REVISTA PLANTIO DIRETO**, v. 27, p. 5-9, 2017b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL – ANDEF. Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários. 1ª edição, Campinas: Linea Creativa, 50 p. 2004.

AUGUSTO, T.. **Uso de RPA cresce dentro de vários segmentos empresariais**. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/veja.abril.com.br/economia/mercado-deRPA-cresce-dentro-do-setor-empresarial/amp/>. Acesso em: 2 nov. 2022.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. **Tecnologias de aplicação de agrotóxicos**. Revista Ceres, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 780-785, 2014.

BARBIZAN, R. Z.; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. USO DE DRONES NA PULVERIZAÇÃO DA AGRICULTURA 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, p. 584-596, 2022.

BASSO, B.; DUMONT, B.; CAMMARANO, D.; PEZZUOLO, A.; MARINELLO, F.; SARTORI, L. Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone. **Sci. Total Environ**, p. 227–235, 2016.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v. 22, , p. 275-284, 2004.

BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G.; RIO, A. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, p. 293-298, 2008.

BALSARI, P.; GIL, E.; MARUCCO, P.; VAN DE ZANDE, J.C.; NUYTENS, D.; HERBST, A. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type, **Biosyst Eng.**, v.154, p. 313, 2017.

BALSARI, P.; GRELLA, M.; MARUCCO, P.; MATTA, F.; MIRANDA-FUENTES, A. Assessing the influence of air speed and liquid flow rate on the droplet size and homogeneity in pneumatic spraying, **Pest Manag. Sci.**, 75, pp. 366-379, 2019.

BATISTA DE ALVARENGA, C.; CUNHA, JP.A.R.; MARTINS T., MAURI. Aspectos da avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia, Minas Gerais. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 3, p. 25-31, 2011.

BAYER, T., COSTA, I. F. D., LENZ, G., ZEMOLIN, C., MARQUES, L. N., & STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, , v.15(2), p.192–198. 2011.

BOLLER, W. Resposta da tecnologia de aplicação de defensivos em relação à concepção atmosférica visando o controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.33, supl, p.113-116, 2007.

BOLLER, W.; GANDOLFO, M. A.; GANDOLFO, U. D. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PULVERIZADORES TRATORIZADOS DE BARRAS: Bicos e pontas hidráulicas. Curitiba: SENAR AR/PR, 2019 – Ilust.; 60 p.

BOON, M. A.; DRIJFHOUT, A. P.; TESFAMICHAEL, S. Comparison of a Fixed-Wing and Multi-Rotor Uav for Environmental Mapping Applications: A Case Study. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 47, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA /Gabinete da Ministra. Portaria MAPA Nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União: Edição 182, Seção 1, n. 298, p. 14, 2021.

BUOSI, G. G. P.. Influência de pontas de pulverização e tamanho de gota na deposição em plantas de amendoim. 2020.

CARVALHO, F.K. “Atomizadores Rotativos Para Aplicação Aérea.” Tecnologia De Aplicação Para Culturas Anuais, 2nd ed., Botucatu, SP, 2011, pp. 183–195.

CARLSEN, S. C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). **Chemosphere**, Philadelphia, v. 64, p. 778-786, 2006b.

CATANIA, P. et al. Assessment of the wind influence on spray application using an artificial vineyard. **European Journal of Horticultural Science**, v. 76, n. 3, p. 102, 2011.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA–CEPEA.PIB Do Agronegócio Brasileiro. Cepea. Esalq. Usp. Br, 2021,

CIRIACO, D.. O que é RPA? 2019. disponível em: <https://canaltech.com.br/produtos/o-que-e-RPA/> Acesso em: 17 janeiro 2023.

CERBARO, V.A. et al. Crop RPA: uma plataforma para coleta, armazenamento e disponibilização de dados agrícolas. 2016.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta daninha**, v. 25, p. 203-210, 2007.

COSTA, R. Análise da atuação dos drones na segurança de um país. Dissertação, Universidade Nova Lisboa, (2019).

CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F. M.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R.; NICOLELLA, G. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura de tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, maio 1999.

CHEN, S. D.; LAN, Y. B.; LI, J. Y.; ZHOU, Z. Y.; JIN, J.; LIU, A. M. Effect of spray parameters from a small unmanned helicopter on the regularity of droplet deposition distribution in the hybrid rice canopy. **Trans Chin Soc Agric Eng**, v. 32, n. 017, p. 40-46, 2016.

CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, v. 10, n. 2, p. 303, 2020.

CHEN, P.; OUYANG, F.; WANG, G.; QI, H.; XU, W.; YANG, W.; ZHANG, Y.; LAN, Y. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Ind. Crop. Prod.**, v. 163, p. 113324, 2021.

CHEN, P.; OUYANG, F.; ZHANG, Y.; LAN, Y. Preliminary Evaluation of Spraying Quality of Multi-Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Close Formation Spraying. **Agriculture**, v.12, p.1149, 2022a

CHEN, P.; DOUZALS, J. P.; LAN, Y.; COTTEUX, E.; DELPUECH, X.; POUXVIEL, G.; ZHAN, Y. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. **Frontiers in Plant Science**, p.2726. 2022b.

DA CUNHA, J.A.R.; RUAS, R.A.A.. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, p. 61-66, 2006.

DARIO, G.; OLIVEIRA, J.V.; TAVARES, A. A. C. ; MARTINS, V.A. ; OLIVEIRA, R. B.. **Qualidade da aplicação com três tipos de pontas de pulverização na cultura da soja**. In: Anais do VIII Sintag, Campinas. VIII Sintag - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação. Botucatu, SP: FEPAF, 2017. v. 8. p. 1-4.

DE CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. Agriculture 4.0: The future of farming technology. **Proceedings of the World Government Summit**, Dubai, UAE, p. 11-13, 2018.

DESMARTEAU DA, R.; AM, H. P; GUEVARA M.W. Impact of Wind Speed and Direction and Key Meteorological Parameters on Potential Pesticide Drift Mass Loadings from Sequential Aerial Applications. **Integr Environ Assess Manag**. V.16(2), p.197-210, 2020.

FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. "**Integrated pest management**" Disponível em: <http://www.fao.org/ipm/en/>. Acesso em: 17 janeiro 2023.

FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, JRG di. Aplicação de fungicidas na cultura da soja com pulverizador costal pressurizado e manual elétrico com bico rotativo para volume baixo: parte 1: cobertura. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS**, v. 4, 2008.

FERREIRA, M.C. et al. Distribuição Volumétrica e Diâmetro de Gotas de Pontas de Pulverização de Energia Hidráulica para Controle de Corda-de-Viola. Viçosa - MG: **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.697-705. 2011.

FERREIRA, F., et al. "Integrated pest management in Brazilian apple orchards: Adoption and constraints." **Crop Protection**, v.108, p.64-72. 2018.

FREITAS, F. C. L.; TEIXEIRA, M. M.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; MACHADO, A. F. L.; VIANA, R. G. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 164-167, 2005.

FREITAS, L. M. de; BONFATTI, R.; VASCONCELLOS, L.C.F.. Impactos da pulverização aérea de agrotóxicos em uma comunidade rural em contexto de conflito. **Saúde em Debate**, v. 46, p. 224-235, 2022.

FOCO RURAL., (2018). Demonstração de Drone de pulverização agrícola. Consultado em 8 de agosto de 2018. <http://www.focorural.com/detalhes/n/n/10266/demonstracao-de-drone-de-pulverizacao-agricola-.html>. Acesso em: 20 janeiro 2023

FORCE, P. Drones na Agricultura: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor. Porto Alegre: **Floresta & Agricultura**, 2016.

GAO, S.C.; WANG, G.B.; ZHOU, Y.Y.; WANG, M.; YANG, D.B.; YUAN, H.Z., *et al.* Water-soluble food dye of Allura Red as a tracer to determine the spray deposition of pesticide on target crops. **Pest Manag Sci**, v. 75 (10), p. 2592-2597, 2019.

GUISSONI, E.D.S.C. **Comparação custo-benefício entre uma placa dedicada para RPA com uma adaptada com arduíno**. 2017. UNIUBE.

GUO, H.; ZHOU, J.; LIU, F.; HE, Y.; HUAN, H.; WANG, H. Application of machine learning method to quantitatively evaluate the droplet size and deposition distribution of the UAV spray nozzle. **Applied Sciences** v. 10(5), p.10051759. 2020.

HOFFMANN, W.C.; HEWITT, A.J. Comparação de três sistemas de imagem para papéis sensíveis à água, **Appl Eng Agric**, v. 21 (6), p. 961-964, 2005.

HUNTER III, J.E.; GANNON, T.W.; RICHARDSON, R.J.; YELVERTON, F.H.; LEON, R.G. Integration of remote weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. **Pest Management Science** v.76(4), p.1386-1392. 2019.

HUSSAIN, S. et al. Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agro-chemical applications. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, n. 4, 2019.

ITARC. História dos RPA: como surgiram? Para que servem?. 2018. Disponível em: <https://itarc.Deorg/historia-dos-RPA/>. Acesso em: 20 janeiro 2023.

JAFARZADEH, A.; ARSHAD, M. Application of drone in agriculture: A review. **International Journal of Agriculture and Biology**, 26(5), 977-984. 2020.

KNEIPP, R.B.. **O estado da arte na utilização de RPA para inspeção naval e offshore**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Naval. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

KIRK, I.W., Measurement and prediction of atomization parameters from fixed-wing aircraft spray nozzles, **Trans ASABE**, 50 (3), pp. 693-703 , 2007.

LIAO, J.; ZANG, Y.; LUO, X.; ZHOU, Z.; LAN, Y.; ZANG, Y.; GU, X.; XU, W.; HEWITT, A. Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. 12(2):10-16. 2019.

LIU, S.; GAO, J.; JIANG, X. Research progress and prospects of unmanned aerial vehicle (UAV)-based pesticide spraying in agriculture. **Biosystems Engineering**, 169, 115-123. 2018

LIU, Z.; CHEN, Y.; WANG, J. Effect of nozzle type on spray distribution in unmanned aerial vehicle pesticide application. **Journal of Agricultural Engineering**, 40(1), 31-36. 2019.

LIU, Y.; LI, L. LIU, Y.; HE, X.; SONG, J.; ZENG, A.; WANG, Z. **Assessment of spray deposition and losses in an apple orchard with an unmanned agricultural aircraft system in China**. Transactions of the ASABE 63(3):619-627. 2020.

LOU, Z.; XIN, F.; HAN, X.; LAN, Y.; DUAN, T.; FU, W. Efeito da altura de vôo de veículos aéreos não tripulados na distribuição de gotas, deriva e controle de pulgões e ácaros. **Agronomia**. 187. 2018.

LUCHETTI, A.. Utilização de RPA na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro. **Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual**, 2019.

MARCHI, S. R.; MARTINS, D., COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; NEGRISOLI, E. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 287-294, 2005.

MARTINEZ-GUANter, J.; AGÜERA, P.; AGÜERA, J.; PEREZ-RUIZ, M. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture** 21:226-234. 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.

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MEDEIROS, M.P.D.. **Veículos aéreos não tripulados e sistema de entrega: estudo, desenvolvimento e testes**. 2016. Dissertação de Mestrado. Brasil.

MENG, Y. et al. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, p. 105 2020.

MONTEIRO, M. V. M. **Compendio de aviação agrícola**. 2.ed. Sorocaba: Cidade, 2007. 298p.

NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.; ABI-SAAB, O. J. G. **Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação**. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 105-110, mai/ago. 2012.

NERIS, L.O.; TRINDADE JUNIOR, O.. **Um piloto automático para as aeronaves do projeto**. ARARA. 2001.

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M.; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; SONCK, B. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part1: Meteorological conditions. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v. 77, p. 1-8, 2006.

OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de Inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.92-99, 2010.

PEIXOTO, R. L. O.; CUNHA, I. B. C.; CAIXETA, D. F. Perfil de deposição e vazão de pontas de pulverização TTI11003 sob diferentes níveis de desgaste. **Ipê Agronomic Journal**, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2020.

PERGHER, G.; GUBIANI, R.; TONETTO, G. Foliar deposition and pesticide losses from three airassisted sprayers in a hedgerow vineyard. **Crop Protection**, Oxford, v.16, n.1, p.24-33, 1997.

PRADO, E.P. et al. Taxa de aplicação e uso de surfactante siliconado na deposição da pulverização e controle da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 514-527, 2015.

PRUDKIN, G.; BREUNIG, F.M. RPA e Ciência: teoria e aplicações metodológicas-volume I. 2019.

QINGQING, Z., XINYU, X., WEICAI, Q., CHEN, C., & LIANGFU, Z. Optimization and test for structural parameters of UAV spraying rotary cup atomizer. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 78-86. 2017.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Passa Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. cap. 1, p. 15-26.

RAETANO, C. G; CUNHA, J. P. A. R. Assistência de ar e transferência de carga elétrica às gotas em pulverização: Interferência e potencial de uso das tecnologias em sistemas de produção. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 2 ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019a. p. 125- 145.

RAETANO, C., MOTA, A., ANTUNIASSI, U., & BOLLER, W. (2019b). Pontas de pulverização hidráulicas. ANTUNIASSI, UR; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**, 2, 67-89.

RAMOS, P.D.P.. **Conceitos de agronegócio e agricultura familiar: visões, importância e funcionamento**. 2014a.

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

REZENDE, R.M.C.. RPA: regulamentações e os impactos na segurança pública. **Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual**, 2018.

REIS, E.M.; ZANATTA, M. Cálculo do dano do amassamento, na cultura do trigo, pelo rodado do equipamento na primeira aplicação de defensivos. Disponível em: <http://www.orsementes.com.br/sistema/anexos/artigos/94/Amassamento%20c%C3%A1lculo%20dano.pdf>. Acesso em: 19 de abril, 2023.

RIBEIRO, D.A.C.. **Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil**. 2019.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C.A.; KIMBERLEY, M.O.; STRAND, T.M. Eficiência de aplicação de spray de um veículo aéreo não tripulado multirotor configurado para aplicação aérea de pesticidas. *Trans. Asabe* 62, 1447–1453. 2019.

RODRIGO, O. A., **RPA sobre o campo: avanços tecnológicos ampliam as possibilidades do uso de aeronaves não tripuladas na agricultura**. Pesquisa FAPESP, 2016

ROHDE, E.H.; MENEGHEL, B.C.P.. Avaliação de diferentes pontas e volumes de pulverização na aplicação de fungicida no milho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 14, p. 95-107, 2021.

SANTOS, W.R.; DENADAI, M.S.. Uso de RPA no monitoramento de ovinos em propriedade rural de Pardinho/SP. In: **VII JORNACITEC Jornada Científica e Tecnológica**. 2018.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, R. B. de; GANDOLFO, M.A. Mapping of the time available for application of pesticides in the state of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.

SILVA, A. S.; THEODORO, J. G. C.; CAMPOS, J. V.; TANAKA, R. K.; CARBONARO, H. M.; FERREIRA, P. G. R. O.; LEMES, G. S.; OLIVEIRA, R. B.. Espectro de gotas e deriva na pulverização com bico rotativo de aeronave remotamente pilotável. In: **X SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de aplicação**, 2022, Porto Alegre-RS. Anais SINTAG 2022.

SMITH, J., LEE, Y., PARK, J., & KIM, D. The impact of tank size on the efficiency of pesticide application using RPAs. **Journal of Agricultural Engineering**, 43(3), 193-199. 2018.

TANG, Y.; HOU, C.J.; LUO, S.M.; LIN, J.T.; YANG, L.Z.; HUANG, W.F. Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture** 148:1-7. 2018.

TAVARES, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; THEODORO, J. G. C.; SILVA, A. S.; RONQUI, M. P.; OLIVEIRA, R. B. Aplicação eficiente de fungicidas e inseticidas. *Cultivar*, 05 jun. 2020.

TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1069–1074, 2005.

TESKE, M.E.; THISTLE, H.W.; MICKLE, R.E. Modelagem de deriva e deposição de pulverização aérea de gotas mais finas, **Appl Eng Agric**, 16 (4), pp. 351-357. 2020.

TORRESAN, C.; BERTON, A.; CAROTENUTO, F.; DI GENNARO, S. F.; GIOLI, B.; MATESE, A.; WALLACE, L. Forestry applications of UAVs in Europe: A review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2427-2447, 2017.

VELLOSO, J.O.; GASSEN, D.N.; JACOBSEN, L. A. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra. 1984.

WANG, C.; HE, X.; WANG, X.; WANG, Z.; WANG, S.; LI, L.; BONDS, J.; HERBST, A.; WANG, Z. Testing method and distribution characteristics of spatial pesticide spraying deposition quality balance for unmanned aerial vehicle. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 11(2):18-26. 2018a

WANG, J.; LIU, Z.; CHEN, Y.; & ZHANG, Y. Comparison of spray distribution of different nozzle types in unmanned aerial vehicle pesticide application. **Journal of Agricultural Engineering**, 39(2), 57-62. 2018 b.

WANG, G.; LAN, Y.; YUAN, H.; QI, H.; CHEN, P.; OUYANG, F.; HAN, Y. Comparison of spray deposition, wheat aphid control effectiveness and working efficiency in wheat field of unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. **Aplic. Sci.** 9, 218. 2019.

WANG, G.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; SONG, C.; SHAN, C.; CHEN, S.; LAN, Y. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 3(2):65-72. 2020a.

WANG, C.; HE, X.; ZENG, A.; HERBST, A.; WANLIN, G. Método de medição e experimento na deriva de pulverização de produtos químicos aplicados por pulverizador uav com base em uma bancada de teste de pomar artificial. *Transac. Queixo. Sociedade Agrícola Eng.* 36, 56–66. 2020b.

WANG, C.; HERBST, A.; ZENG, A.; WONGSUK, S.; QIAO, B.; QI, P.; et al. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. **Sci. Total Environ.** 777:146181. 2021.

XIONGKUI, H.; BONDS, J.; HERBST, A.; LANGENAKENS, J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 10(3):18-30. 2017.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactants at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, Philadelphia, v. 106, n. 1, p. 58-67, mar. 2010.

XUE, X.; LAN, Y.; SOL, Z.; CHANG, C.; HOFFMANN, W.C. Desenvolver um sistema automático de pulverização aérea baseado em veículo aéreo não tripulado. **Computar. Elétron. Agrícola.** 128, 58-66. 2016.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, Philadelphia, v. 104, n. 3, p. 324-334, set. 2009a.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. **Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces**. Transactions of the ASABE, St. Joseph, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009b.

ZAMBIANCO, E. C. Avaliação na Qualidade de Pulverização em Plantas de Tomate Utilizando Diferentes Pontas. 79 f. Mestrado (Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2013

ZAMBOLIM, L. et al. (ed.). Produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas). Viçosa, MG: UFV, 2008. 652 p.

3. CAPÍTULO 1: CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, TAXAS DE APLICAÇÃO E TAMANHO DE GOTAS NA APLICAÇÃO COM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTÁVEL

3.1. RESUMO

RESUMO

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas na aplicação de produtos fitossanitários faz parte da evolução da agricultura em automatização de ferramentas e tecnologias digitais no campo para facilitar o manejo fitossanitário. Há lacunas científicas e ajustes operacionais e os efeitos das condições meteorológicas na qualidade das aplicações. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito das condições meteorológicas, tamanho de gotas e taxa de aplicação na cobertura e deposição de gotas na aplicação com aeronave remotamente pilotável. O experimento foi realizado num esquema fatorial de $2 \times 2 \times 4$, com duas condições de aplicações durante o dia (manhã e tarde), duas Classes de tamanho de gotas (média e grossa) e quatro taxas de aplicação (5; 6,5; 8,5; 10 L ha⁻¹). Foi construída uma grade amostral quadrática de 20 pontos dentro de uma área de 600 m² constituído de cinco faixas paralelas a cada 5 m e quatro coletores em cada faixa espaçada a cada 5 m para aplicações alternadas. Em cada ponto amostral foi analisado a cobertura e os depósitos da pulverização. Os resultados indicam que o depósito e a cobertura não sofrem efeito das condições meteorológicas na classe de gotas grossas, porém muito efeito na classe de gotas médias. A cobertura tem uma relação negativa com o depósito. As aplicações com parâmetros meteorológicos favoráveis beneficiam o depósito com a classe de gotas médias, independente da taxa de aplicação e a cobertura é mais afetada negativamente pelas condições meteorológicas desfavoráveis do que o depósito. A cobertura e o depósito sofrem efeitos diferentes nas mudanças de taxa de aplicação. Classes de gotas médias proporcionam maior variabilidade no depósito e classes de gotas grossas na cobertura.

Palavras-chaves: Tecnologia de aplicação, Configurações operacionais, qualidade, aplicação aérea.

ABSTRACT

The use of Remotely Piloted Aircraft in the application of phytosanitary products is part of the evolution of agriculture in automating tools and digital technologies in the field to facilitate phytosanitary management. There are scientific gaps and operational adjustments, as well as the effects of weather conditions on application quality. The objective of this study was to determine the effect of weather conditions, droplet size, and application rate on coverage and droplet deposition in the application with a remotely piloted aircraft. The experiment was conducted in a 2x2x4 factorial design, with two application conditions during the day (morning and afternoon), two droplet size classes (medium and coarse), and four application rates (5, 6.5, 8.5, 10 L ha⁻¹). A quadratic sampling grid of 20 points was established within a 600 m² area, consisting of five parallel strips at 5 m intervals, with four collectors in each strip spaced at 5 m intervals for alternating applications. Coverage and deposition of the spray were analyzed at each sampling point. The results indicate that deposition and coverage are not affected by weather conditions in the coarse droplet class, but are significantly affected in the medium droplet class. Coverage has a negative relationship with deposition. Applications with favorable weather parameters benefit deposition with the medium droplet class, regardless of the application rate, and coverage is more negatively affected by unfavorable weather conditions than deposition. Coverage and deposition have different effects on changes in application rate. Medium droplet classes provide greater variability in deposition, while coarse droplet classes provide greater variability in coverage.

Keywords: Application technology, Operational settings, quality, aerial application.

3.2. INTRODUÇÃO

Os produtos fitossanitários precisam ser pulverizados sobre o solo ou plantas de forma que o ingrediente ativo atinja toda a superfície alvo. Para que isso aconteça, é essencial que o equipamento distribua uniformemente na quantidade correta de produto na área de pulverização (BONARDIO, 2015), dessa forma, é necessário verificar cuidadosamente a taxa de aplicação a ser aplicado, o número e tamanho de gotas, a pressão das pontas, a dosagem, a diluição, a agitação e a necessidade de adição de adjuvantes. A pulverização é a técnica mais comum de aplicação desses produtos, conforme apontado por Ferreira et al. (2013). Existem diferentes métodos de aplicação, desde equipamentos manuais costais, tratorizados terrestres, e até equipamentos aéreos, que são selecionados com base no tamanho da área, urgência do controle, nas características da cultura (altura) e no alvo a ser controlado.

A agricultura está em constante evolução e, atualmente, há uma maior automatização de ferramentas e o uso de tecnologias digitais para aumentar a eficiência dos manejos (SILVA NETO et al., 2021). Uma dessas tecnologias é o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) para pulverizar produtos fitossanitários, como mencionado por Martin et al. (2019). Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), uma aeronave remotamente pilotada, popularmente conhecida como drone, é aquela cuja pilotagem ocorre remotamente, sem fins recreativos (ANAC, 2017).

O uso de RPAs na agricultura apresenta diversas vantagens. Segundo Verger et al. (2014) e Gao et al. (2018), essas aeronaves apresentam baixo custo financeiro e maior capacidade de operação em comparação a um avião. Além disso, as RPAs permitem a aplicação em áreas de difícil acesso, terrenos íngremes ou com obstáculos que outros equipamentos aéreos não conseguem operar e com maior rendimento operacional que o equipamento costal. O uso de RPAs também possibilita a aplicação de produtos em taxas variáveis ou aplicação localizada (*spot spraying*), resultando em economia de produto (LUCHETTI, 2019).

O uso de RPAs na aplicação de produtos fitossanitários possibilita uma maior aplicação localizada. No entanto, há ainda lacunas na literatura em relação à otimização do uso dessa tecnologia, como a incerteza quanto à qualidade das aplicações (RICHARDSON et al., 2020). A aplicação com RPAs se destaca pelo uso de taxas menores de aplicação, o que

permite maior autonomia e capacidade operacional do equipamento. No entanto, é necessário aprimorar a tecnologia de aplicação no campo. Segundo Lan e Chen (2018), é preciso realizar mais estudos em relação à aos parâmetros de pulverização com RPAs, especialmente diante do uso de taxas de aplicação reduzidas e outros desafios. De acordo com Chen et al. (2020a), um aspecto crucial a ser considerado durante a aplicação é o tamanho das gotas, uma vez que este fator pode afetar tanto a deposição do produto no alvo quanto à deriva. Nas aplicações com RPAs é fundamental que as condições meteorológicas sejam entendidas para que saiba como manejar os parâmetros operacionais para cada tipo de aplicação.

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito das condições meteorológicas, tamanho de gotas e taxa de aplicação na cobertura e depósito de gotas na aplicação com aeronave remotamente pilotável.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1. Avaliação de cobertura e depósito na metodologia de passadas alternadas

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. A área experimental continha cobertura do solo com a cultura da soja em estágio de desenvolvimento V7.

No experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) num esquema fatorial de 2x2x4 com os seguintes fatores: condição experimental (manhã e tarde), tamanho de gotas (grossa e média) e quatro taxas de aplicação nos depósitos e cobertura no alvo com quatro repetições em cada tratamento.

As taxas de aplicação foram de 5,0; 6,5; 8,5; e 10 L ha⁻¹ alterando a vazão de cada bicos para 0,45, 0,68, 0,76 e 0,90 L min⁻¹ respectivamente, para descobrir as vazões referentes as taxas de aplicações foi utilizado a fórmula:

$$L \text{ min}^{-1} = \frac{L \text{ ha}^{-1} \times km \text{ h}^{-1} \times faixa \text{ (m)}}{600}$$

onde:

$L \text{ min}^{-1}$ = Vazão da ponta em litros por minutos.

$L \text{ ha}^{-1}$ = Taxa de aplicação em litros por hectare.

km h^{-1} = Velocidade de voo em quilômetros por hora.

Faixa = Largura da faixa de deposição efetiva em metros.

Foi usado a altura de voo de 3 m, velocidade de aplicação de 5 m s^{-1} e a faixa de aplicação de 6 m. As duas classes de tamanho de gotas foram de classe média com diâmetro mediano volumétrico (DMV) de aproximadamente $253 \mu\text{m}$ e a classe de gotas grossas com DMV de aproximadamente de $369 \mu\text{m}$, conforme o espectro de gotas gerado pelas pontas de referência segundo a norma ASABE 572.3 (ASABE, 2020) e valores determinados por Tavares (2021).

No experimento foram quantificados o depósito e a cobertura das aplicações utilizando alvos artificiais. Para minimizar a influência das condições meteorológicas das aplicações, foi alternado os tratamentos de forma sistemática. Isso significa que começou aplicando o primeiro tratamento na primeira repetição, seguido pelo segundo tratamento na mesma repetição, e assim por diante. Quando concluído a primeira repetição, retornou para o primeiro tratamento na segunda repetição e continuou a alternância até o final do experimento. Dessa forma, reduzindo a variação das condições meteorológicas entre os tratamentos.

3.3.2. RPA

O modelo de aeronave remotamente pilotável utilizado foi da empresa ARPAC INDÚSTRIA DE AERONAVES LTDA. O sistema de pulverização da aeronave (Figura 1.1 A) é composto de uma bomba peristáltica fornecendo líquido para os dois bicos rotativos na vazão de 0,1 a $1,2 \text{ L min}^{-1}$ (Figura 1.1 C) e um tanque com capacidade de 10 L está equipado no RPA (Figura 1.1). Dois bicos rotativos (Figura 1.2) horizontalmente foram montados sob cada rotor traseiro do RPA sob as diferentes tensões a velocidade de rotação do bico pode variar de 0 a 16.000 rpm. Na Tabela 1.1 contém mais informações referentes aos parâmetros do RPA utilizado. No teste de campo, o tamanho da gota e a taxa de fluxo foram todos programados antes do voo com a unidade portátil de controle de solo usada para controlar o RPA. No teste de capacidade de classes de gotas, o DMV relacionado a classe de

gotas grossas e médias foram definidos controlando as velocidades de rotação do bico rotativo em 6000 e 9000 rpm, respectivamente.

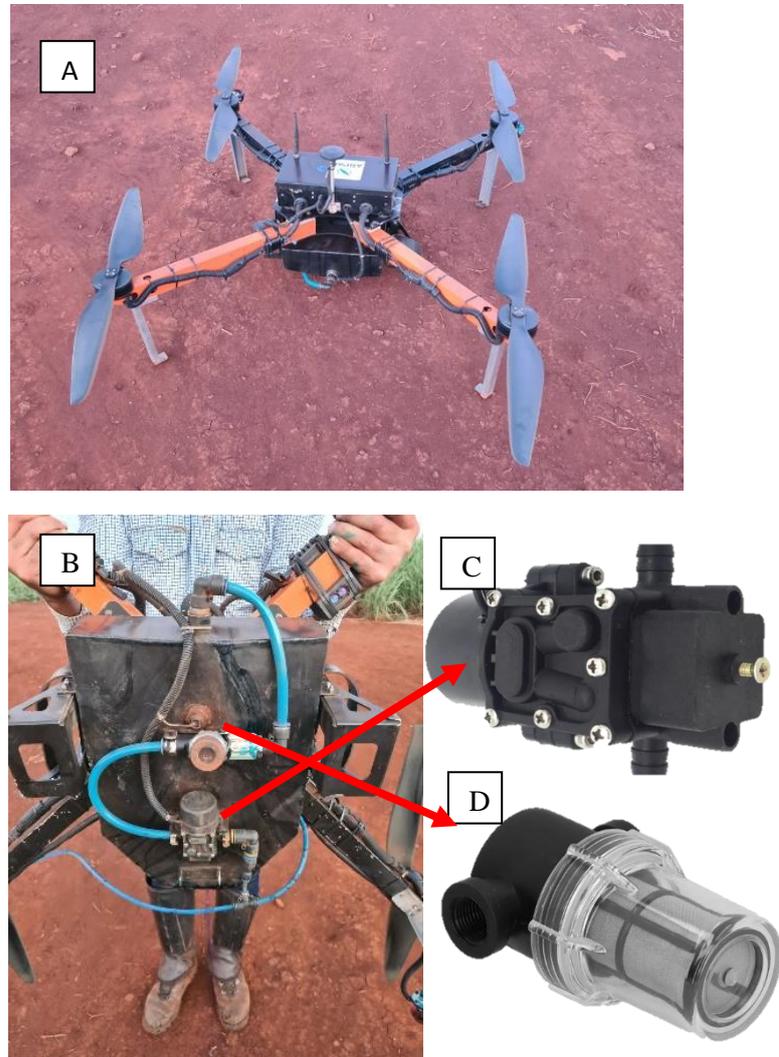


Figura 1.1. A: Visão geral do RPA visto por cima, B: Visão geral do RPA visto por baixo, C: Bomba do tipo peristáltica, D: Filtro de bomba de malha de 100 mesh. Foto: Silva, A.S. (2022).

Tabela 1.1. Parâmetros técnicos do RPA utilizado no experimento.

RPA	ARPAC®
Dimensão (metros)	1,05 x 1,05
Volume de tanque (Litros)	10
Número de rotores	4
Tipo de dispositivo gerador de gotas	Atomizador
Número de bicos	2
Vazão (L min ⁻¹)	0-5,6
Máxima velocidade (m s ⁻¹)	6
Tempo de bateria (minutos)	20
Faixa de aplicação (metros)	4-7
Peso máximo de decolagem (kg)	25

3.3.3. Caracterização do bico rotativo

O bico rotativo utilizado é um modelo criado pela empresa ARPAC®, que consiste num motor para realizar a rotação do disco para fazer a quebra do líquido em gotas para a distribuição sob o alvo. O bico rotativo contém três tubos de transporte do líquido até o disco. O disco é feito de alumínio, liso na parte interna e externa do disco, com diâmetro de 6 cm na base de formação de lâmina do líquido, diâmetro de 4 cm na base de recepção do líquido succionado pela bomba, com uma angulação de 35 graus do disco para a formação da lâmina do líquido (Figura 1.2).

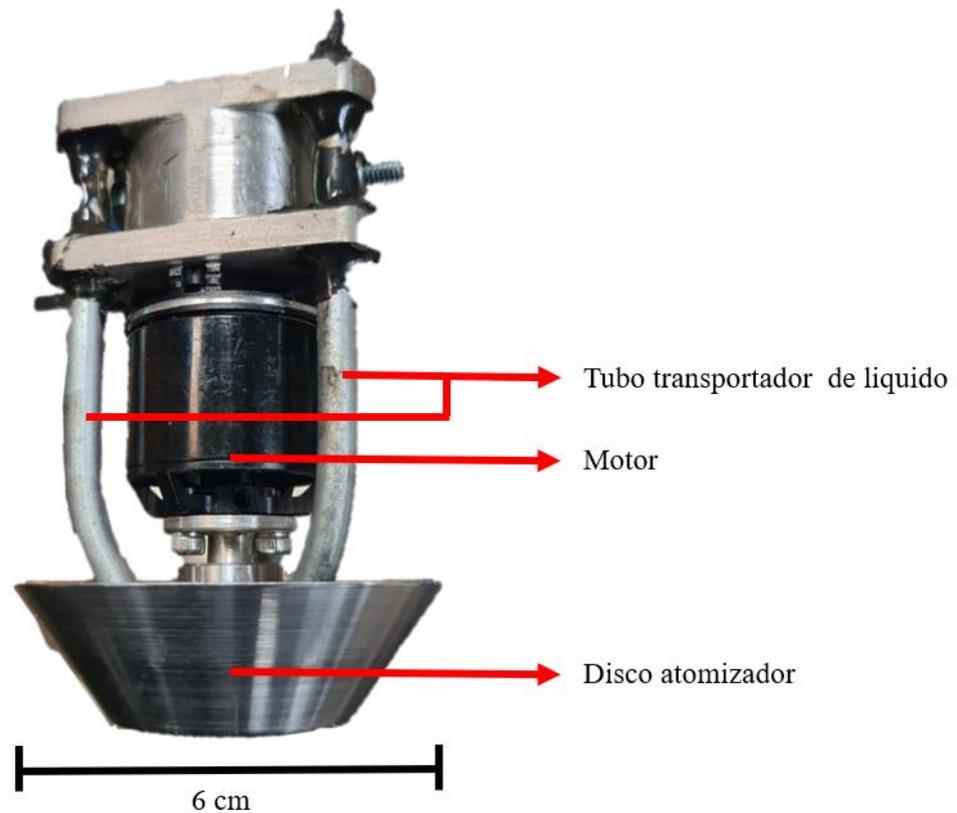


Figura 1.2. Bico rotativo com seus componentes. Foto: Silva, A.S. (2022).

Para definição de classe de gotas médias foi utilizado a rotação de 9000 RPM e classe de gotas grossas a rotação de 6000 RPM, obtido por SILVA et al. 2022.

3.3.4. Caracterização do experimento

Todos os parâmetros foram controlados pela unidade portátil de controle de solo e monitorados durante os testes de pulverização. O RPA testado é caracterizado com a tecnologia de posicionamento global (GPS) assim, uma altura constante e posicionamento de liberação de pulverização foi mantida com variação de 0,5 m. Nessas configurações de pulverização, a largura efetiva da faixa foi calibrada em 6 m.

A metodologia para essa avaliação de qualidade da pulverização foi baseada no teste de deposição e calibração de equipamentos de aplicação aérea em passadas

alternadas, o RPA sobrevoou sobre coletores dispostos em ângulo perpendicular a faixa no sentido de passagens alternadas (Figura 1.3).

Foi selecionado uma área para montagem do experimento de forma que permita o deslocamento seguro do pulverizador e de tamanho suficiente para que não haja interferência nos diferentes tratamentos. Foram dispostos 20 coletores dentro de uma área de 600 m², cinco faixas espaçadas a cada dez metros e cinco coletores em cada faixa espaçada a cada cinco metros perpendiculares ao sentido da aplicação (Figura 1.3). Em cada suporte foi colocado dois coletores, um para cobertura (Papel hidrossensível), papel do tipo couche fosco de gramatura de 115 (Figura 1.4 B) e outro para depósito (*card Mylar*) uma placa de material plástico (Figura 1.4 A).

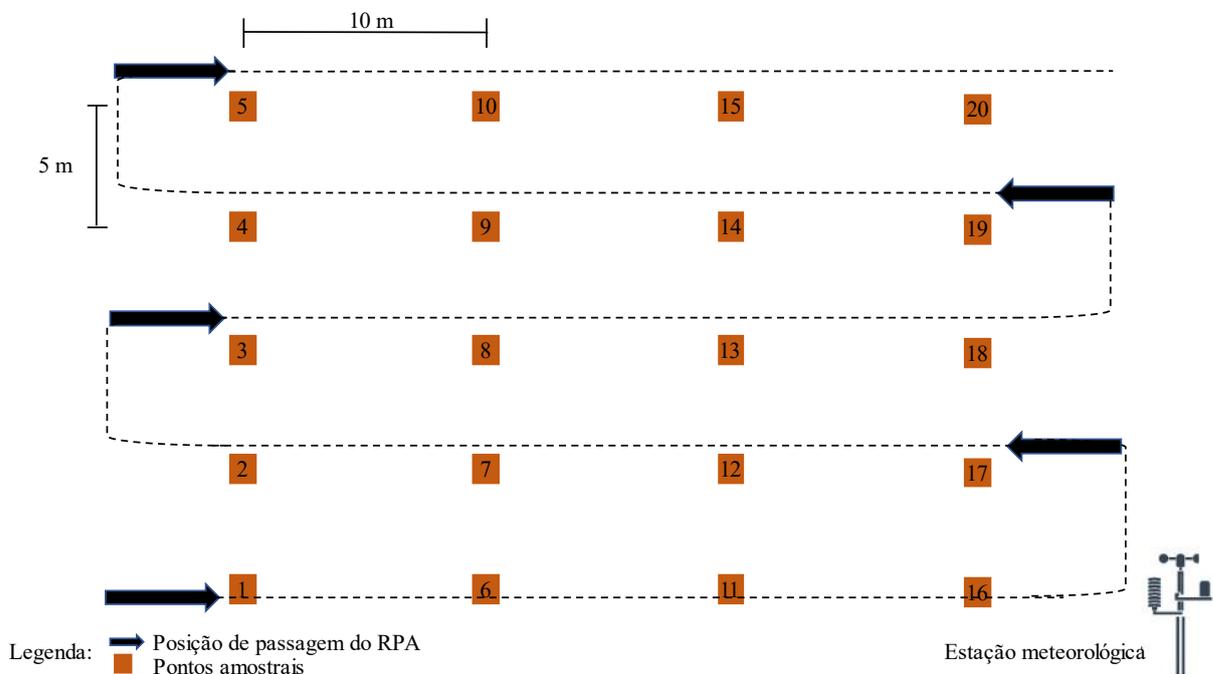


Figura 1.3. Esquema do experimento na metodologia de passadas alternadas. Foto: Silva, A.S. (2022)

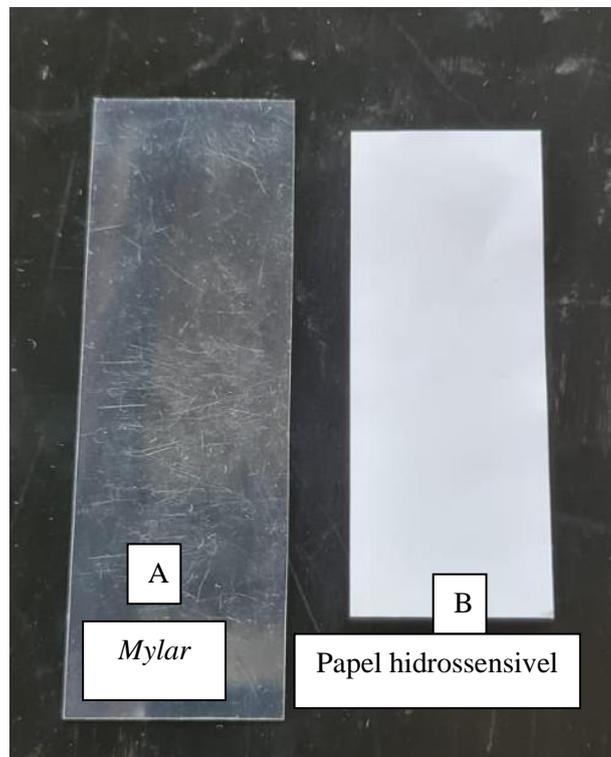


Figura 1.4. A: Card Mylar para realizar análise de depósito e B: papel hidrossensível para realizar análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2022).

Os coletores *card mylar* e o papel hidrossensível, foram colocados sobre uma base rígida de papelão e fixados em estacas de madeira na altura 0,9 metros do solo. A calda de aplicação foi composta pela mistura de água e o marcador Azul Brillhante FCF (maltodextrina e corante artificial: azul brilhante FCF 11,00%) na concentração de 6 g L^{-1} (Figura 1.5 A). A calda da aplicação foi feita no dia que foi realizada as aplicações, armazenada em um galão de produtos de 20 L. Antes da aplicação foi realizada todos os testes de verificação dos parâmetros indicados no controle do RPA, velocidade do RPA, medindo uma distância de 50 m para a passagem do RPA e foi registrado o tempo para percorrer a distância de 50 m, dividindo a distância a pelo tempo resulta na velocidade em m s^{-1} , vazão nos bicos rotativos para cada taxa de aplicação desejada, utilizando dois recipientes para coletar o líquido dos bicos rotativos no tempo de um minuto e altura de voo, utilizando uma régua de 6 m e colocando o RPA em uma altura pelo sistema de controle e assim verificando se a altura de voo é igual a altura no sistema de controle do RPA. Ao fim da pulverização, foi coletada a amostra de calda de cada bico para determinar a curva analítica do marcador por

espectrofotometria. O tanque do RPA foi abastecido em cada mudança de tratamento para garantir as aplicações com o mesmo volume de calda no depósito (Figura 1.5 B).

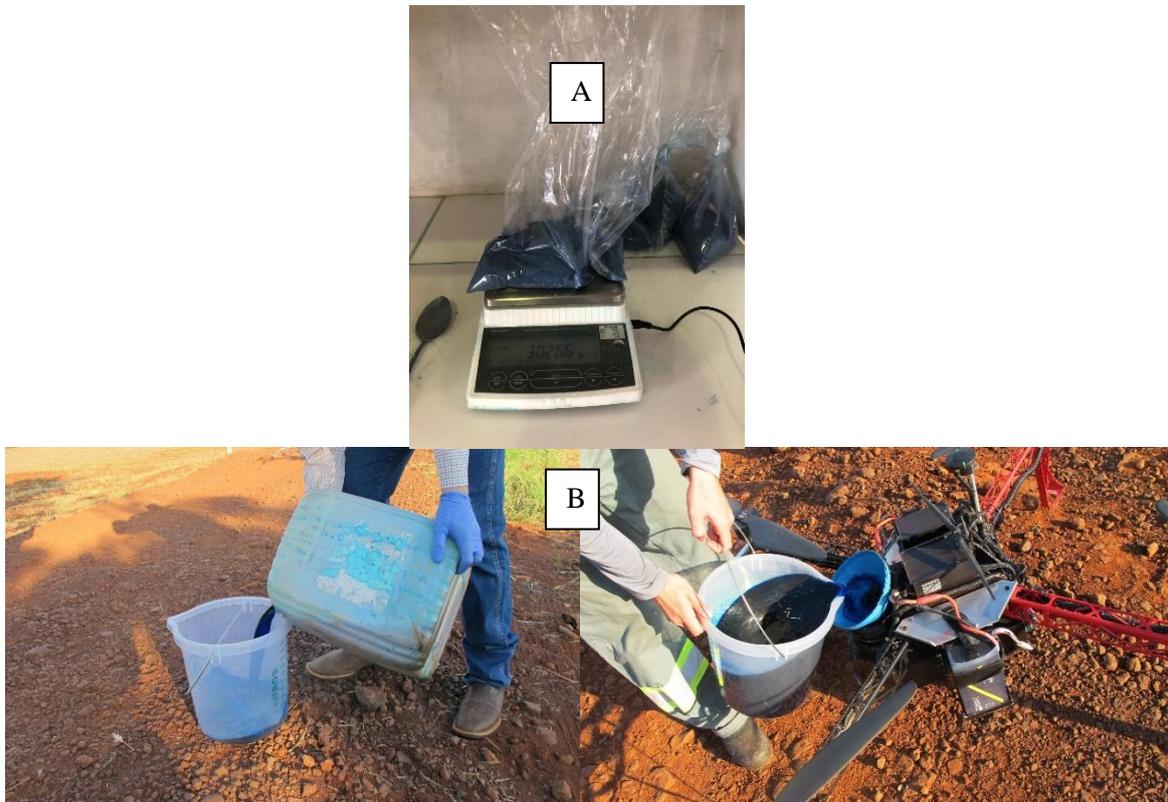


Figura 1.5. A= Corante azul brilhante utilizado, B=Calda contendo marcador e abastecimento do tanque do RPA. Foto: Silva, A.S. (2022).

Durante todas as pulverizações foi registrado a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento por meio de uma Estação Meteorológica com registro a cada segundo, fixada com sensores numa altura de 1,5 metros do solo (Figura 1.6).

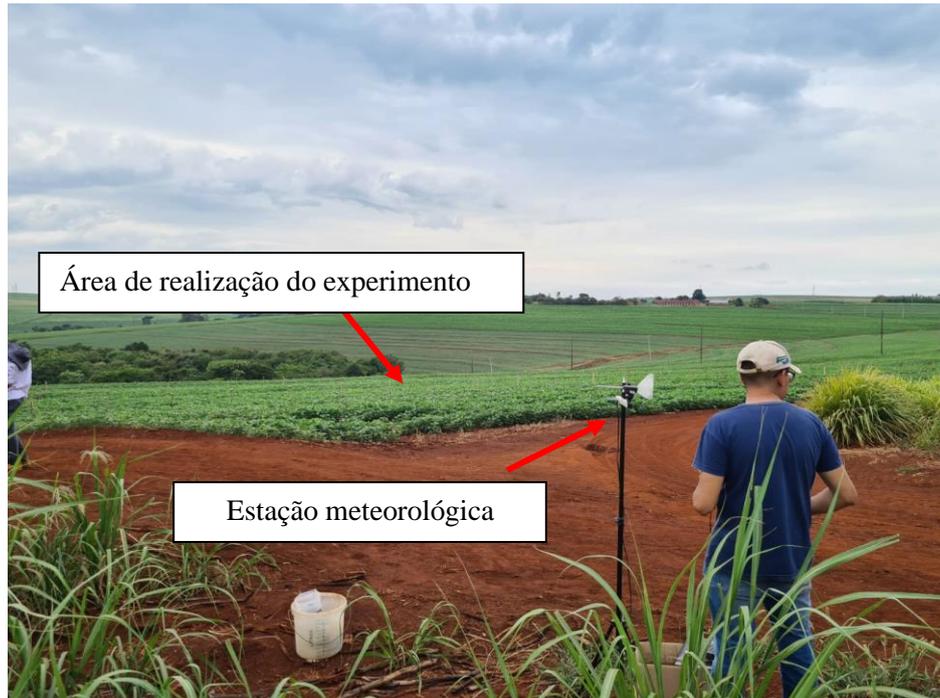


Figura 1.6. Estação Meteorológica. Foto: Silva, A.S. (2022).

As médias das condições meteorológicas registradas em cada experimento estão apresentadas nas Figura 1.7.

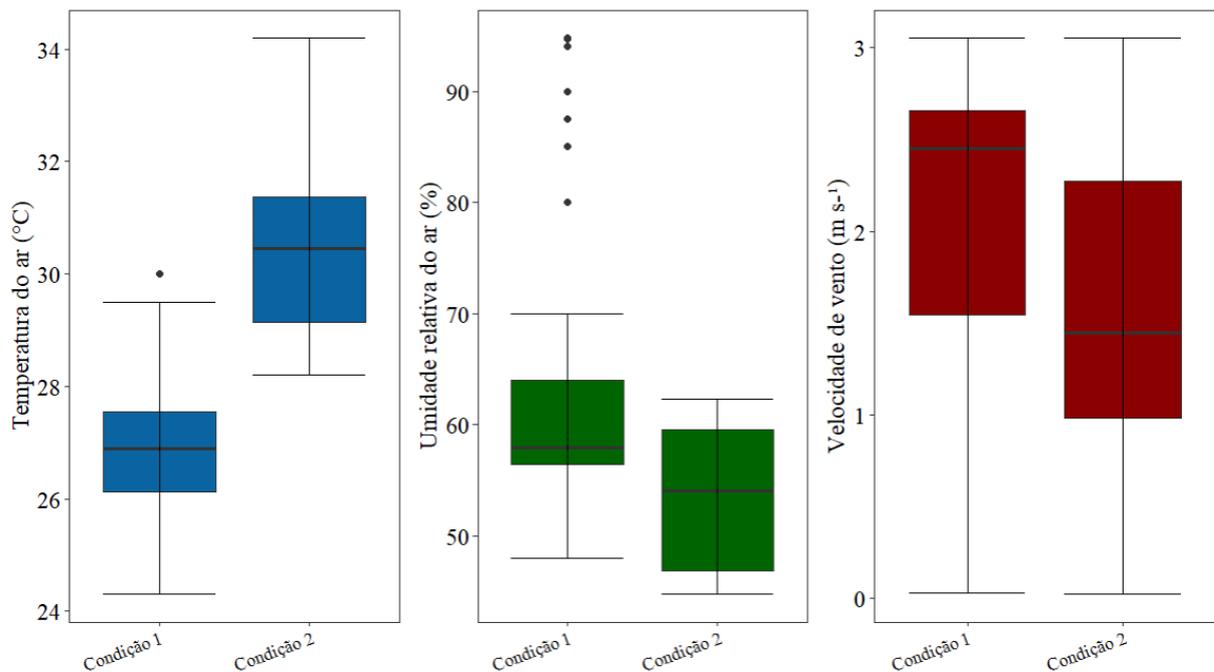


Figura 1.7. Dados médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações. Condição 1 (manhã), Condição 2 (tarde).

3.3.5. Avaliações do depósito e cobertura

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 (Figura 1.8), 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) (Figura 1.9) e determinado uma equação linear ($y = b + ax$) para estimar a concentração do corante em mg L^{-1} 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^{-1}); V_i = volume capturado pelo alvo (μL); C_f = concentração do corante determinada pela equação linear (mg L^{-1}) 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 cm^2), obtendo o depósito coletado em $\mu\text{L cm}^{-2}$ 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^{-1} , sendo dividido por 2,0 para 10 L ha^{-1} ; 1,7 para $8,5 \text{ L ha}^{-1}$ e 1,3 para $6,5 \text{ L ha}^{-1}$. Conforme Dario et al. (2019) não ocorre diferença entre realizar a correção em relação a colocar diferentes concentrações para cada taxa de aplicação.



Figura 1.8. Coletores de depósito e cobertura sob a superfície a 0,90 m do solo. Foto: Silva, A.S. (2022).



Figura 1.9. Concentrações do corante conhecidas. Foto: Silva, A.S. (2022).

Para a avaliação de cobertura foi utilizado um papel do tipo hidrossensível no tamanho de 3 cm x 7 cm (Figura 1.5 B), e a cobertura determinada pelo Sistema de Análise de Imagens WinDias® (Figura 1.10). 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, (Figura 1.11), com cálculos o sistema já determina o percentual de área coberta pelas gotas depositadas no coletor.

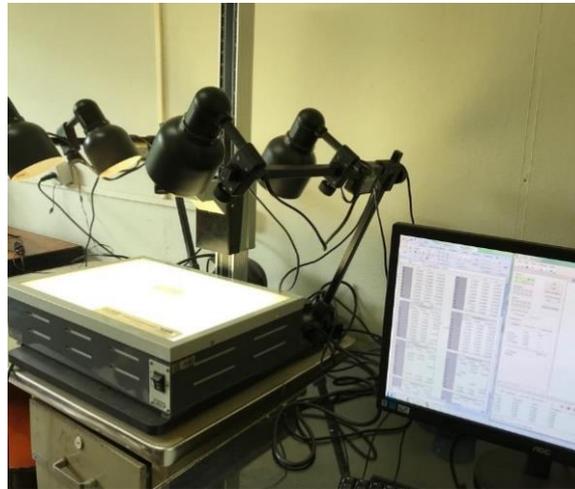


Figura 1.10. Plataforma do Windias® para realização da análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2021).

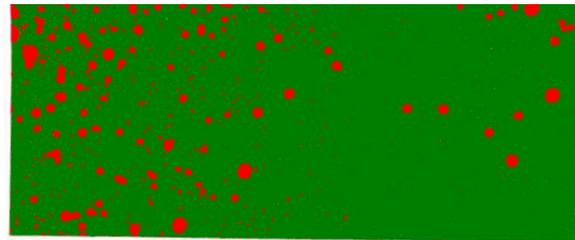


Figura 1.11. Imagem do papel hidrossensível após o processamento pelo software Windias® Foto: Silva, A.S. (2022).

3.3.6. 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 variância pelo teste de Levene. Foi utilizado análise multivariada por

técnicas de análises de variáveis canônicas para entender a relação, inclinação, dispersão e contribuição das variáveis na variabilidade dos tratamentos.

Todas as análises foram realizadas no software R (Version 4.2.1 (2022-06-23 ucrt) e software Rbio (Bhering,2017).

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1.12 está apresentado a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as taxas de aplicação, tamanho de gotas, condições meteorológicas e as variáveis de resposta de depósito e cobertura. A variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas foi de 98,9%, indicando alta precisão na interpretação do biplot construído pela aplicação do programa RBio (Bhering,2017) relataram que um conjunto de resultados pode ser considerado confiável quando a soma dessas duas primeiras variáveis ultrapassa 70%. Esta análise possibilitou verificar que alturas se destacaram pelo depósito e cobertura, e os fatores das condições meteorológicas que mais influenciam nas análises.

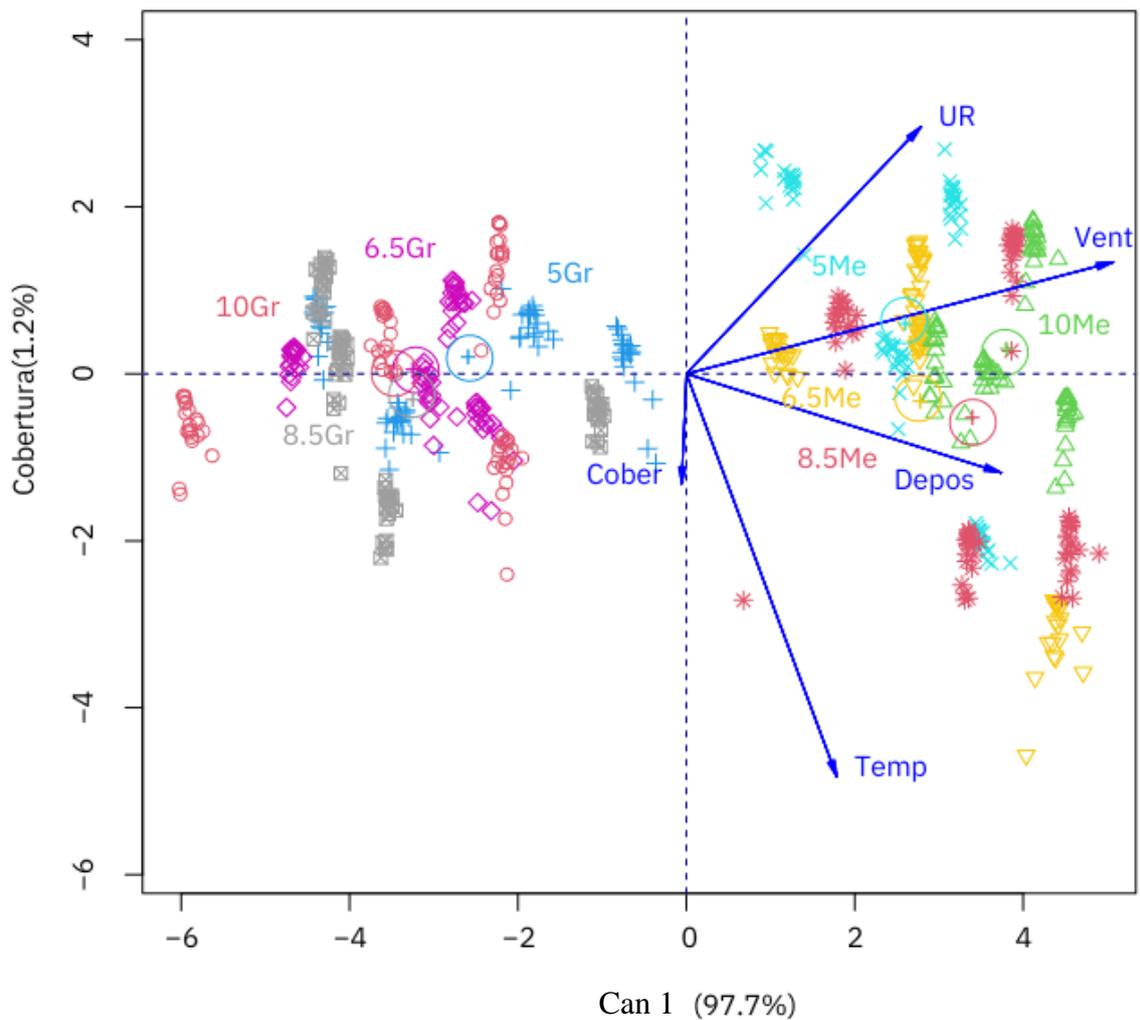


Figura 1.12. Análise canônica aplicada aos tratamentos (taxas de aplicação e tamanho de gotas), condições meteorológicas, depósito e cobertura na condição 1. Gr= Grossa, Me= Média, UR= Umidade relativa, Temp.= Temperatura do ar, Vent= Velocidade de vento, 5, 6,5, 8,5 e 10 L ha⁻¹.

Foi observada dissimilaridade na variabilidade em relação as classes de gotas e taxas de aplicação, ou seja, estatisticamente a combinação das taxas de aplicação de 5, 6,5, 8,5 e 10 com a classe de gotas grossas não são semelhantes da combinação das respectivas taxas de aplicação na classe de gotas médias. Além disso, a combinação das taxas de aplicação com a classe de gotas médias apresentou maior depósito das gotas em comparação com a classe de gotas grossas. Estudo realizado por Chen et al. (2020b) também constatou que o tamanho das gotas afeta a deposição na superfície do alvo e a classe de gotas médias apresentou maior depósito, enquanto as classes de gotas finas e grossas apresentaram menores valores de depósito.

A combinação das taxas de aplicação com a classe de gotas grossas apresentou os menores valores de depósito influenciando pouco na variabilidade da deposição. As taxas de aplicação têm variabilidade semelhantes dentro do conjunto das classes de gotas, ou seja, não teve diferença estatisticamente na alteração da taxa de aplicação. Estudos realizados por Shan et al. (2021) e Oliveira et al. (2021), também verificaram que a classe de gotas grossas produz um depósito menor na superfície do alvo em comparação com as classes de gotas finas e médias proporcionando impactos significativos na redução de controle, principalmente com herbicidas.

Em relação à cobertura da aplicação, a classe de gotas grossas apresentou maior influência em sua variabilidade e não foi influenciada pelas mudanças das condições meteorológicas realizada na condição 1. (Biglia, 2022; Wang, 2022) mostram resultados que a aplicação de gotas grossas também é menos sensível aos vórtices formados pelo movimento das hélices e ao efeito *downwash*. Houve uma correlação positiva entre a cobertura, depósito e a temperatura. Isso significa que, quanto maior a temperatura, maior a cobertura e depósito na aplicação na condição meteorológica da manhã. Por outro lado, a umidade e a velocidade do vento apresentaram uma correlação negativa com a cobertura, ou seja, quanto maior a umidade e a velocidade do vento, menor a cobertura.

O depósito das gotas foi influenciado primordialmente pela velocidade do vento, umidade e a temperatura do ar, a umidade apresentou a menor influência. O aumento da velocidade do vento, temperatura e umidade na condição 1 resultou em um aumento no depósito no alvo, visto que as condições meteorológicas na parte da manhã foram condições mais adequadas (temperatura do ar $<30^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar $>50\%$) para a aplicação de acordo com as boas práticas da tecnologia de aplicação, ou seja, sem efeitos significativos na evaporação das gotas.

A soma dos componentes da variável canônicas chegou a 97,3%, indicando que o conjunto de dados apresenta variabilidade uniforme. A Figura 1.13 apresenta a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as alturas de voo e as variáveis de resposta.

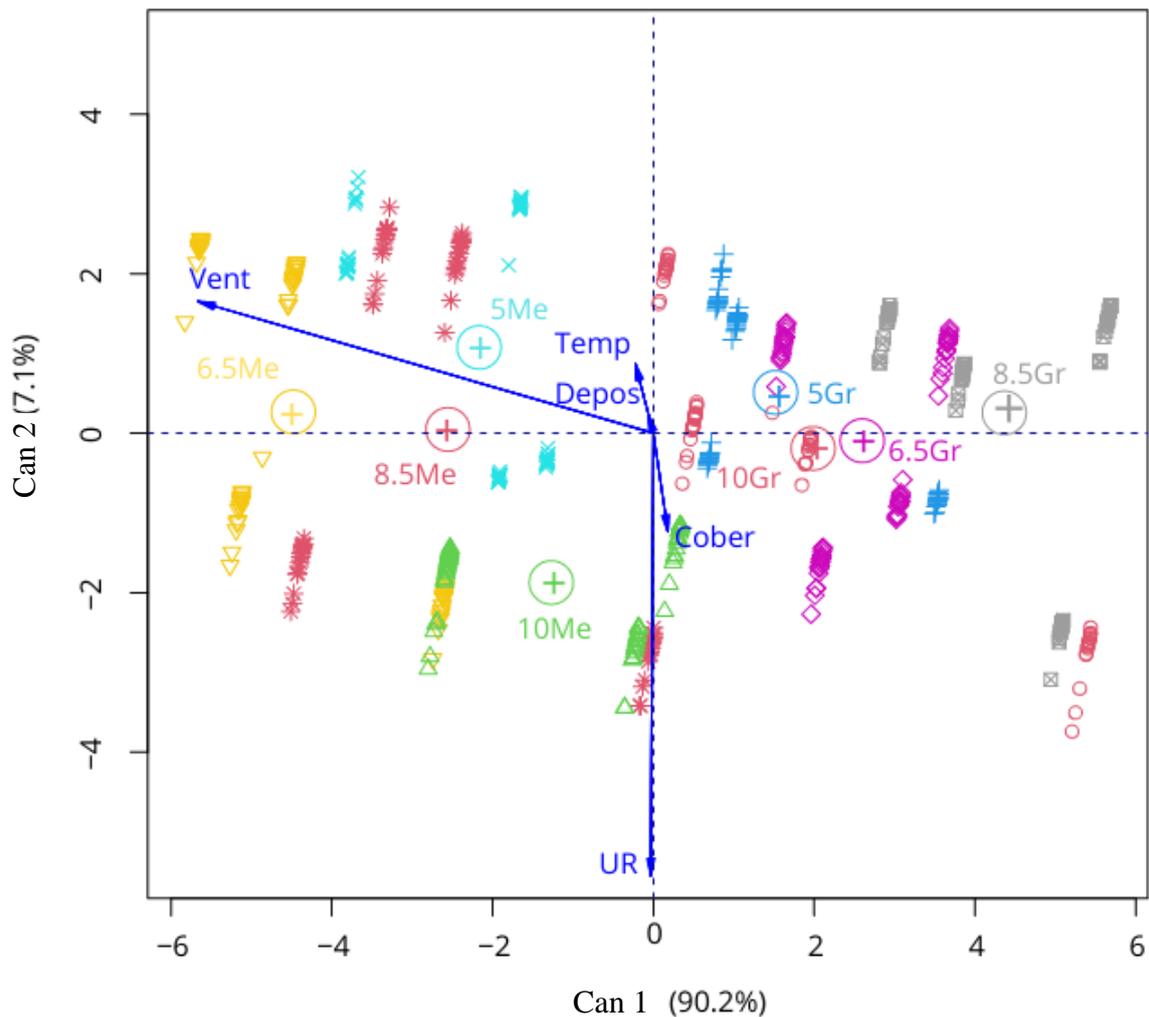


Figura 1.13. Análise canônica aplicada aos tratamentos, condições meteorológicas, depósito e cobertura na condição 1. Gr= Grossa, Me= Média, UR= Umidade relativa, Temp.= Temperatura do ar, Vent= Velocidade de vento, 5, 6,5, 8,5 e 10 L ha⁻¹.

Foi observada diferença na variabilidade em relação as classes de gotas, ou seja, estatisticamente o a combinação das taxas de aplicação de 5, 6,5, 8,5 e 10 com a classe de gotas grossas são diferentes da combinação das respectivas taxas de aplicação na classe de gotas grossa. Os tratamentos na combinação das taxas de aplicação de 5 e 8,5 L ha⁻¹ na classe de gotas grossas não tiveram influência das condições meteorológicas da tarde e nem influenciaram na variabilidade dos dados do depósito e cobertura. Os tratamentos da combinação das taxas de aplicação de 6,5 e 10 L ha⁻¹ tiveram efeitos na variabilidade dos dados de cobertura.

Importante destacar que os resultados gerais da manhã foram semelhantes ao da tarde, em relação aos grupos de tratamentos formados, entre taxa e tamanho de gotas, formando agrupamentos separados. Em geral o depósito foi a resposta que menos foi influenciada pelas condições meteorológicas da tarde e os tratamentos, mostrada pelo tamanho da seta que está representando o depósito, o tamanho da seta representa o quanto este vetor é influenciado pelas demais vetores representados na figura 6, ou seja, o depósito não teve alterações significativas com as variáveis estudadas. O depósito teve uma correlação positiva com o vento e a temperatura da tarde, e ocorreu uma correlação negativa com a cobertura e a umidade relativa, ou seja, com o aumento da temperatura e vento o depósito é maior, e com a diminuição da umidade relativa ou com o aumento da cobertura ocorre a diminuição do depósito.

A umidade relativa do ar é a variável que mais afeta a variabilidade da cobertura positivamente, que pode ser explicado pelo fator de evaporação de gotas. De acordo com YU et al. (2009a), o aumento da umidade relativa do ar resulta em um aumento exponencial do tempo necessário para a evaporação de gotículas, com valores registrados chegando a 153% e de acordo com estudos de XU et al. (2010) o tamanho das gotas também exerce uma grande influência sobre as perdas por evaporação. YU et al. (2009b) constataram que o tempo de evaporação pode aumentar em torno de 9,2 vezes quando o diâmetro da gota é aumentado em 3,6 vezes. A cobertura teve relação negativa com a velocidade do vento e o depósito com a temperatura, estes resultados podem ser explicados pela perda por deriva sendo influenciada pela velocidade do vento no carreamento das gotas para fora da área aplicada, de acordo com o estudo realizado por Wang et al. (2020), que avaliou a deriva de RPA comercial equipado com bicos centrífugos, em condições de vento forte, sendo coletado gotas na distância de 50 m a favor do vento. Os estudos de Liu et al. (2021) e Grant et al. (2022) indicaram que a influência da velocidade do vento é mais significativa do que o tamanho da gota no potencial risco de deriva.

3.5. CONCLUSÃO

As aplicações com parâmetros meteorológicos favoráveis beneficiam o depósito com a classe de gotas médias, independente da taxa de aplicação e a cobertura é mais afetada negativamente pelas condições meteorológicas desfavoráveis do que o depósito.

A cobertura e o depósito sofrem efeitos diferentes nas mudanças de taxa de aplicação. Classes de gotas médias proporcionam maior variabilidade no depósito e classes de gotas grossas na cobertura.

3.6. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil-ANAC. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. ANAC, 2017. 26 p. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

BIGLIA, A., M. GRELLA, N. BLOISE, L. COMBA, E. MOZZANINI, A. SOPEGNO, M. PITTARELLO, E. DICEMBRINI, L. ELOI ALCATRÃO, G. GUGLIERI, P. BALSARI, D. RICAUDA AIMONINO, P. GAY, UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses, **Science of The Total Environment**, Volume 845, 2022.

BHERING, L. L.. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.

BONADIO, J.A.B. et al. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas: inovações. **Ciências Agrárias**, p. 207, 2015.

BUOSI, G.G.P.. Influência de pontas de pulverização e tamanho de gota na deposição em plantas de amendoim. 2020.

CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 303, 2020a.

CHEN, S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 195, 2020b.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.) Fungicide: an advanced treatise. **New York: Academic Press**, 1967. p.239-86

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.

FARIAS, M.A.G. L.. Influência do tamanho de gota e horário de aplicação na deposição e controle de percevejos na cultura da soja. 2021.

FERREIRA, M. C., LEITE, G. J. & LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, 29, 2013. 1539-1548.

GAO, J., LIAO, W., NUYTTENS, D., LOOTENS, P., VANGHEYTE, J., PIZURICA, A., HE, Y. & PIETERS, J. Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2018. 67, 43-53

GOMES, A.H.M.. Adjuvantes e pontas de pulverização na aplicação de produtos fitossanitários na cultura da soja. 2021.

KNOCHE M. Efeito do tamanho da gota e do volume do transportador no desempenho de herbicidas aplicados na folhagem. **Proteção de Culturas**, 1994; 13(3): 163-178.

LAN, Y.; CHEN, S. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 1, n. 1, 2018.

Luchetti, A. Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, (2019).

MATTHEWS, G. A. et al. **Pest management**. Longman, 1984.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019.

OLIVEIRA, O.G.T.M. et al. Influence of droplet size on spray deposition and weed control using glyphosate. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 449-457, 2021.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. Transactions of the ASABE, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020.

SHAN, Changfeng et al. Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 74-81, 2021.

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. Research, **Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021.

SILVA, A. S.; THEODORO, J. G. C.; CAMPOS, J. V.; TANAKA, R. K.; CARBONARO, H. M.; FERREIRA, P. G. R. O.; LEMES, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Espectro de gotas e deriva na

pulverização com bico rotativo de aeronave remotamente pilotável. In: X SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de aplicação, 2022, Porto Alegre-RS. Anais SINTAG 2022.

VERGER, A., VIGNEAU, N., CHÉRON, C., GILLIOT, J., COMAR, A., BARET, F. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops. **Remote Sensing of Environment**, 152, 654-664. (2014).

WANG, G.; LAN, Y.; YUAN, H.; QI, H.; CHEN, P.; OUYANG, F.; HAN, Y. Comparison of spray deposition, wheat aphid control effectiveness and working efficiency in wheat field of unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. **Aplic. Sci.** 9, 218. 2019.

WANG, C. et al. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. **Science of the Total Environment**, v. 777, p. 146181, 2021.

WEI, Y.; CHEN, J.; WANG, C.; HAN, L.; SHANG, Z.; WANG, G.; WANG, M.; DENG, X.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LI, P.; WEI, Y.; WANG, J.; XU, X.; LAN, Y.; GUO, R. Evaluation of herbicides aerielly applied from a small unmanned aerial vehicle over wheat field. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 1, p. 49-53, 2020.

ZHU, H.P.; SALYANI, M.; FOX, R.D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, **Comput Electron Agric**, 76 (1), pp. 38-43, 2011.

4.CAPÍTULO 2: CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, ALTURA DE VOO E VELOCIDADE NA APLICAÇÃO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTÁVEL

RESUMO

Aplicações com aeronave remotamente pilotável (RPA) podem apresentar alta eficiência de trabalho nas aplicações localizadas de produtos fitossanitários e áreas totais de alguns cultivos específicos. No entanto, há ainda lacunas na literatura em relação à otimização do uso dessa tecnologia, como a incerteza quanto à qualidade das aplicações. O objetivo do trabalho foi determinar o efeito das condições meteorológicas, altura de voo e velocidade de aplicação na cobertura e deposição de gotas na aplicação com aeronave remotamente pilotável. Os experimentos foram montados em esquema fatorial de 2x5 (duas condições de aplicações x cinco alturas de voos - 2, 3, 4, 5 e 6 metros) e 2x4 (duas condições de aplicações e quatro velocidades de operação - 3, 4, 5 e 6 m s⁻¹), ambos os experimentos na taxa de aplicação de 5 L ha⁻¹ e com classe de gotas média. Os dados foram analisados por meios de técnicas de análises canônicas. Os resultados evidenciam que as alturas de 2, 4 e 5 m apresentam variabilidades semelhantes em comparação com as alturas de 3 e 6 m. Os tratamentos com as alturas 3 e 4 m tiveram maior variabilidade da cobertura e relação com a umidade relativa do ar. Houve semelhança maior na variabilidade dos dados entre as velocidades de 4 e 5 m s⁻¹ quando comparados com outras velocidades, indicando que as duas velocidades não têm diferenças estatísticas entre si. As velocidades de 3 e 6 m s⁻¹ foram os tratamentos que tiveram correlação com o depósito e a cobertura por sua proximidade aos vetores. O depósito e a cobertura tiveram uma correlação positiva entre si e negativa em relação as variáveis meteorológicas, A temperatura e a umidade são as variáveis que causam maior variabilidade nos dados. Alturas de voo mais baixa têm um impacto positivo na cobertura e no depósito da aplicação, sendo menos afetadas pelas condições meteorológicas. Velocidade de vento mais alta proporciona aumento na variabilidade da cobertura e do depósito. O efeito da velocidade da aplicação com RPA é dependente da condição meteorológica presente no momento da aplicação.

Palavras-chaves: Tecnologia de aplicação, Agricultura de precisão, Otimização de aplicação, aplicação aérea.

ABSTRACT

Applications with remotely piloted aircraft (RPA) can present high work efficiency in localized applications of phytosanitary products and total areas of specific crops. However, there are still gaps in the literature regarding the optimization of using this technology, such as uncertainty regarding application quality. The objective of this study was to determine the effect of weather conditions, flight height, and application speed on coverage and droplet deposition in the application with a remotely piloted aircraft. The experiments were set up in a 2x5 (two application conditions × five flight heights - 2, 3, 4, 5, and 6 meters) and 2x4 (two application conditions × four operation speeds - 3, 4, 5, and 6 m s⁻¹) factorial design, both experiments at an application rate of 5 L ha⁻¹ and with a medium droplet class. The data were

analyzed using canonical analysis techniques. The results show that heights of 2, 4, and 5 m exhibit similar variabilities compared to heights of 3 and 6 m. Treatments at heights of 3 and 4 m had greater coverage variability and correlation with relative humidity. There was greater similarity in data variability between speeds of 4 and 5 m s⁻¹ compared to other speeds, indicating that these two speeds do not have statistical differences between them. Speeds of 3 and 6 m s⁻¹ were the treatments that correlated with deposition and coverage due to their proximity to the vectors. Deposition and coverage exhibited a positive correlation with each other and a negative correlation with meteorological variables. Temperature and humidity are the variables causing the greatest variability in the data. Lower flight heights have a positive impact on coverage and deposition of the application, being less affected by weather conditions. Higher wind speed increases the variability of coverage and deposition. The effect of RPA application speed is dependent on the prevailing meteorological condition at the time of application

Keywords: Application technology, Precision agriculture, Application optimization, Aerial application.

4.2. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve o desenvolvimento de diversos dispositivos de pulverização com o intuito de melhorar a eficiência e eficácia no controle de pragas, bem como garantir a segurança dos trabalhadores e do meio ambiente (GILES et al., 2008). Entre eles, destacam-se os sistemas de pulverização aérea não tripuladas, que apresentam alta eficiência de trabalho e praticidade no uso, o que tem levado ao aumento gradual do seu uso na agricultura. Esses sistemas atomizam a calda de pulverização no ar, utilizando aeronaves agrícolas não tripuladas, como multicópteros equipados com tanques, bombas e bicos (ISO/CD 23117-1, 2021). Com o auxílio de GPS (*Global Position System*) e sensores instalados no RPAs, os operadores podem realizar o controle de forma remota ou automática, independentemente do tamanho da plantação e em locais de difícil acesso, como encostas. Ademais, o uso desses sistemas evita a exposição dos trabalhadores aos produtos fitofarmacêuticos (XUE, 2017; ZHANG, 2018).

Diversos estudos têm demonstrado que o tamanho das gotas é um dos principais fatores que afetam a deposição e deriva de produtos fitossanitários durante a pulverização (LIU, 2005; WANG, 2016). Quanto menor a gota, maior a sua efetividade na deriva com o vento, visto que ela permanece por mais tempo no ar (ROBERT, 2013). Martin et al. (2013) realizaram um estudo sobre a distribuição das gotas pulverizadas por bicos eletrostáticos aéreos, com diferentes tamanhos de orifícios e espectro de tamanhos de gotas, sob diferentes condições de velocidade do vento, utilizando um túnel de vento.

O uso de RPAs na aplicação de produtos fitossanitários possibilita uma maior precisão operacional. No entanto, há ainda lacunas na literatura em relação à otimização do uso dessa tecnologia, como a incerteza quanto à qualidade das aplicações, conforme apontado por Richardson et al. (2020). Um dos fatores de grande importância para compreensão é a altura do voo que tem um impacto significativo na amplitude da área de dispersão, juntamente com a uniformidade da distribuição transversal, que é uma condição essencial para reduzir a taxa de aplicação. Isso ocorre porque a altura do voo pode afetar a densidade e a velocidade do fluxo de pulverização, alterando assim a largura da área de deposição (MARTIN et al., 2019). Um parâmetro que modifica a eficácia da aplicação e precisa ser compreendida é a velocidade de aplicação pois a Silva et al. (2022a) relata que a velocidade pode exercer uma influência considerável em aspectos tais como a cobertura e a

densidade de gotas e esta variável pode afetar a quantidade de produto que é depositada na superfície visada, o que, por sua vez, pode incidir diretamente na eficácia da aplicação. Além disso, a velocidade pode ainda condicionar a distribuição das gotas, afetando o seu tamanho e densidade. É necessário destacar que a velocidade adequada pode variar em função das condições ambientais. Também na realização de aplicações com RPAs é fundamental que as condições meteorológicas sejam entendidas para que saiba como manejar os parâmetros operacionais de altura de voo para cada tipo de aplicação para a melhor aplicação.

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito das condições meteorológicas, altura de voo e velocidade na cobertura e depósito de gotas na aplicação com aeronave remotamente pilotável.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1. Análise de Cobertura e Depósito na Metodologia Passadas alternadas

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. A área experimental continha cobertura do solo com a cultura da soja em estágio de desenvolvimento V7.

No experimento com alturas de voo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial de 2x5 com os seguintes fatores: realizações durante o dia, alturas de voo. No experimento com as velocidades de aplicação foi realizado em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial de 2x4 com os seguintes fatores: condições durante o dia, velocidades de aplicação e foi quantificado em ambos os experimentos os depósitos e cobertura no alvo com quatro repetições em cada tratamento.

No experimento com alturas de voo, foram analisadas as alturas 2, 3, 4, 5 e 6 metros com a velocidade de aplicação de 5 m s⁻¹. No experimento com velocidades de aplicação, foram testadas as velocidades de 3, 4, 5 e 6 m s⁻¹ e altura de voo de 3 m. Para ambos os experimentos foi padronizado a faixa de aplicação de 6 m, a taxa de aplicação de 5 L ha⁻¹ e a classe de tamanho de gotas de classe média com diâmetro mediano volumétrico (DMV) de aproximadamente 253 µm, conforme o espectro de gotas gerado pelas pontas de referência segundo a norma ASABE 572.3 (ASABE, 2020). North Platte, NE, EUA, valores

descritos por Tavares (2021). As duas condições foram realizadas em dois períodos do dia manhã e tarde.

No experimento foram quantificados o depósito e a cobertura das aplicações utilizando alvos artificiais. Para minimizar a influência das condições meteorológicas das aplicações, foi alternado os tratamentos de forma sistemática. Isso significa que começou aplicando o primeiro tratamento na primeira repetição, seguido pelo segundo tratamento na mesma repetição, e assim por diante. Quando concluído a primeira repetição, retornou para o primeiro tratamento na segunda repetição e continuou a alternância até o final do experimento. Dessa forma, reduzindo a variação das condições meteorológicas entre os tratamentos.

4.3.2. RPA

O modelo de aeronave remotamente pilotável utilizado foi da empresa ARPAC INDÚSTRIA DE AERONAVES LTDA. O sistema de pulverização da aeronave (Figura 2.1 A) é composto de uma bomba peristáltica fornecendo líquido para os dois bicos rotativos na vazão de 0,1 a 1,2 L min⁻¹ (Figura 2.1 C) e um tanque com capacidade de 10 L está equipado no RPA (Figura 2.1). Dois bicos rotativos (Figura 2.2) horizontalmente foram montados sob cada rotor traseiro do RPA sob as diferentes tensões a velocidade de rotação do bico pode variar de 0 a 16.000 rpm. Na Tabela 2.1 contém mais informações referentes aos parâmetros do RPA utilizado. No teste de campo, o tamanho da gota e a taxa de fluxo foram todos programados antes do voo com a unidade portátil de controle de solo usada para controlar o RPA. No teste de capacidade de classes de gotas, o DMV relacionado a classe de gotas média foi definido controlando as velocidades de rotação do bico rotativo em RPM.

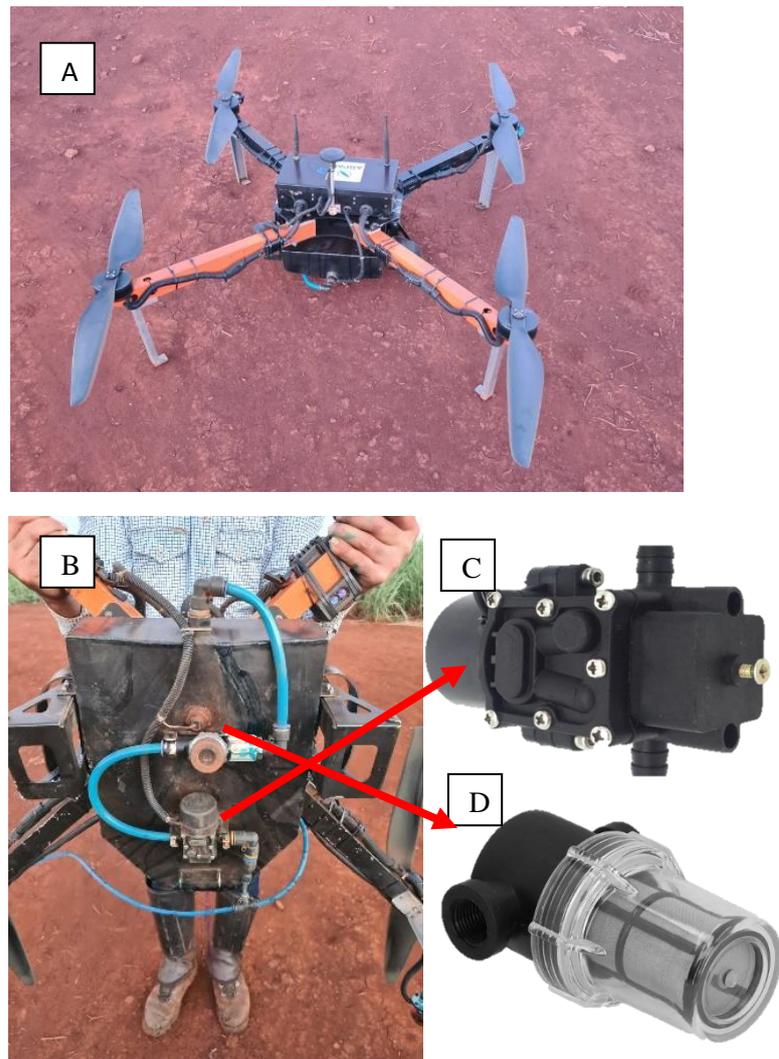


Figura 2.1. A: Visão geral do RPA visto por cima, B: Visão geral do RPA visto por baixo, C: Bomba do tipo peristáltica, D: Filtro de bomba de malha de 100 mesh. Foto: Silva, A.S. (2022).

Tabela 2.1. Parâmetros técnicos do RPA utilizado no experimento.

RPA	ARPAC®
Dimensão (metros)	1,05 x 1,05
Volume de tanque (Litros)	10
Número de rotores	4
Tipo de dispositivo gerador de gotas	Atomizador
Número de bicos	2
Vazão (L min ⁻¹)	0-5,6
Máxima velocidade (m s ⁻¹)	6
Tempo de bateria (minutos)	20
Faixa de aplicação (metros)	4-7
Peso máximo de decolagem (kg)	25

4.3.3. Caracterização do bico rotativo

O bico rotativo utilizado é um modelo criado pela empresa ARPAC®, que consiste num motor para realizar a rotação do disco para fazer a quebra do líquido em gotas para a distribuição sob o alvo. O bico rotativo contém três tubos de transporte do líquido até o disco. O disco é feito de alumínio, liso na parte interna e externa do disco, com diâmetro de 6 cm na base de formação de lâmina do líquido, diâmetro de 4 cm na base de recepção do líquido succionado pela bomba, com uma angulação de 35 graus do disco para a formação da lâmina do líquido (Figura 2.2).

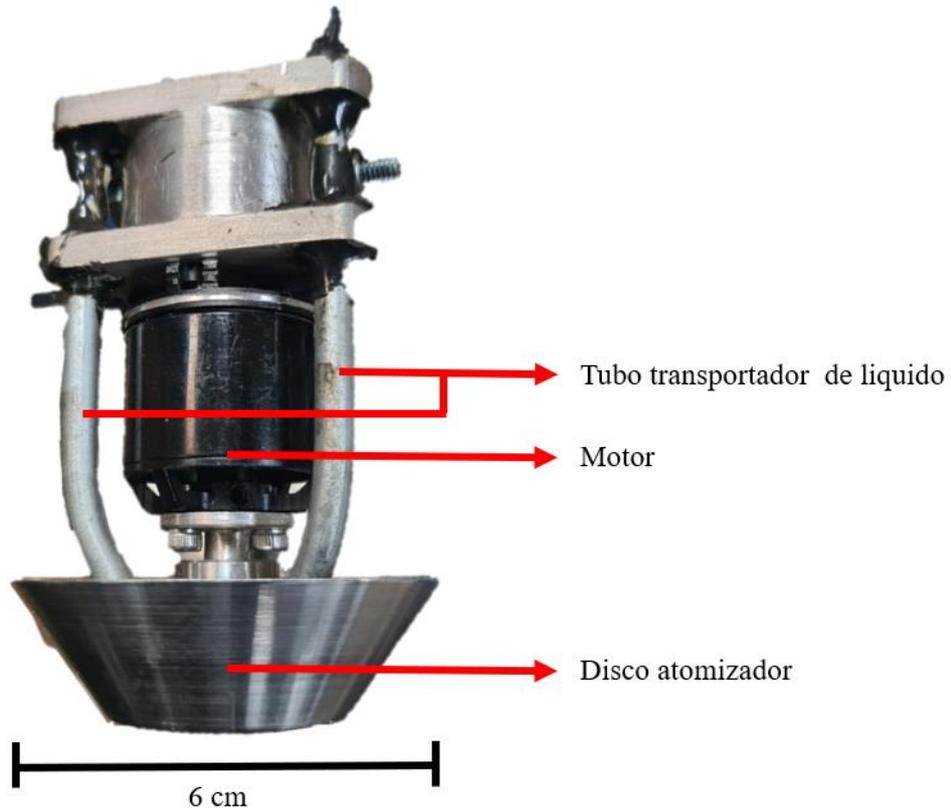


Figura 2.2. Bico rotativo com seus componentes. Foto: Silva, A.S. (2022).

Para definição de classe de gotas médias foi utilizado a rotação de 9000 RPM e classe de gotas grossas a rotação de 6000 RPM, obtido por SILVA et al. 2022.

4.3.4. Caracterização do experimento

Todos os parâmetros foram controlados pela unidade portátil de controle de solo e monitorados durante os testes de pulverização. O RPA testado é caracterizado com a tecnologia de posicionamento global (GPS) assim, uma altura constante e posicionamento de liberação de pulverização foi mantida com variação de 0,5 m. Nessas configurações de pulverização, a largura efetiva da faixa foi calibrada em 6 m.

A metodologia para essa avaliação de qualidade da pulverização foi baseada no teste de deposição e calibração de equipamentos de aplicação aérea em passadas alternadas, o RPA sobrevoou sobre coletores dispostos em ângulo perpendicular a faixa no sentido passagens alternadas (Figura 2.3).

Foi selecionado uma área para montagem do experimento de forma que permita o deslocamento seguro do pulverizador e de tamanho suficiente para que não haja interferência nos diferentes tratamentos. Foram dispostos 20 coletores dentro de uma área de 600 m², cinco faixas espaçadas a cada dez metros e cinco coletores em cada faixa espaçada a cada cinco metros perpendiculares ao sentido da aplicação (Figura 2.3). Em cada suporte foi colocado dois coletores, um para cobertura (Papel hidrossensível), papel do tipo couche fosco de gramatura de 115 (Figura 2.4 B) e outro para depósito (*card Mylar*) uma placa de material plástico (Figura 2.4 A).

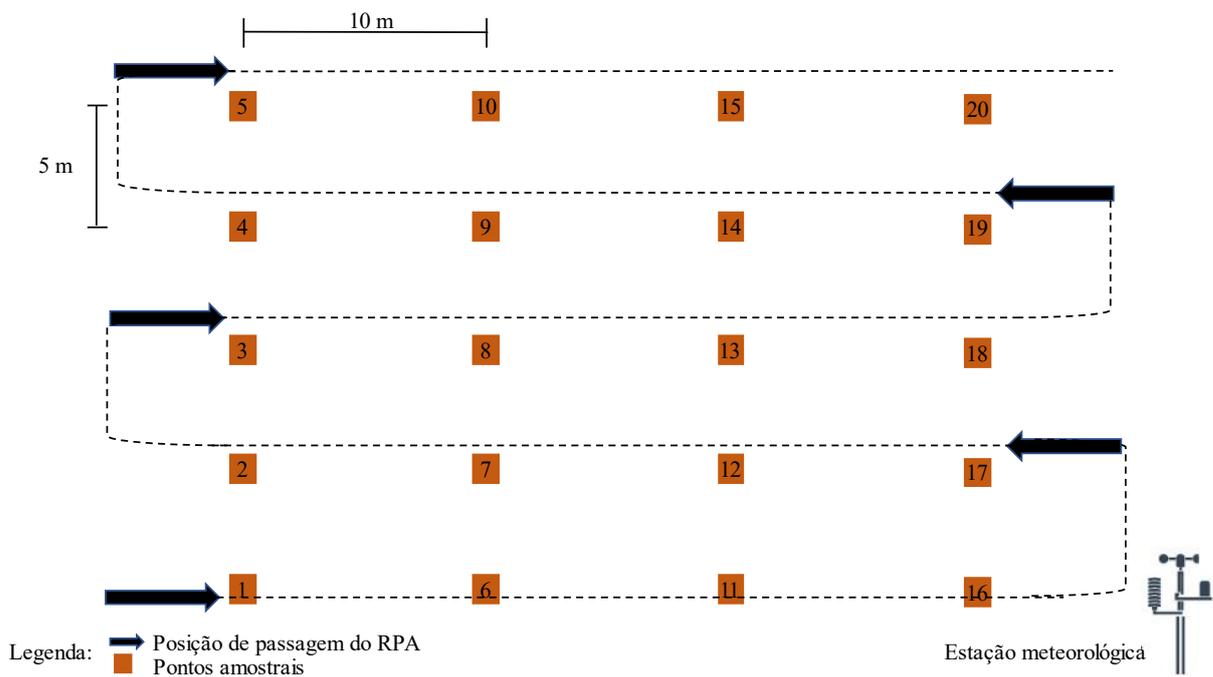


Figura 2.3. Esquema do experimento na metodologia de passadas alternadas. Foto: Silva, A.S. (2022)

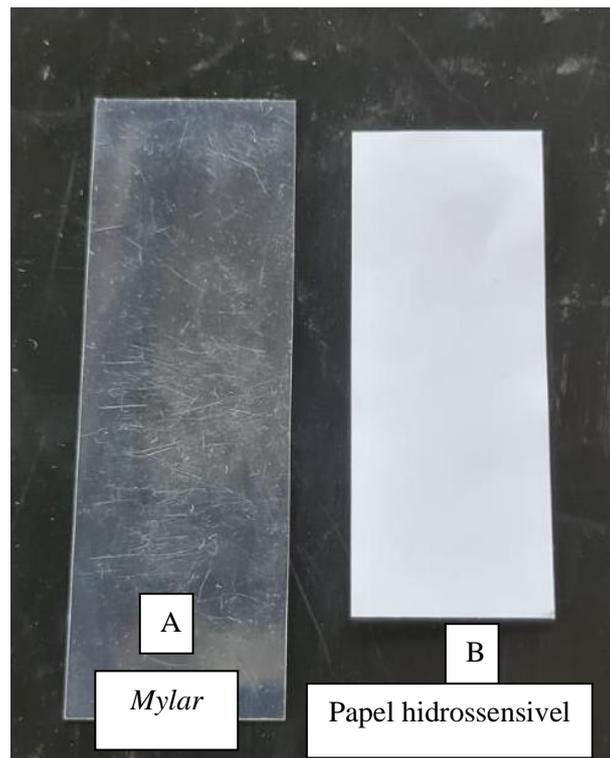


Figura 2.4. A: Card Mylar para realizar análise de depósito e B: papel hidrossensível para realizar análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2022).

Os coletores *card mylar* e o papel hidrossensível, foram colocados sobre uma base rígida de papelão e fixados em estacas de madeira na altura 0,9 metros do solo.

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} (Figura 2.5 A). A calda da aplicação foi feita no dia que foi realizada as aplicações, armazenada em um galão de produtos de 20 L. Antes da aplicação foi realizada todos os testes de verificação dos parâmetros indicados no controle do RPA, velocidade do RPA, vazão nos bicos rotativos para cada taxa de aplicação desejada e altura de voo. Ao fim da pulverização, foi coletada a amostra de calda de cada bico para determinar a curva analítica do marcador por espectrofotometria. O tanque do RPA foi abastecido em cada mudança de tratamento para garantir as aplicações com o mesmo volume de calda no depósito (Figura 2.5 B).



Figura 2.5. A= Corante azul brilhante utilizado, B=Calda contendo marcador e abastecimento do tanque do RPA. Foto: Silva, A.S. (2022).

Durante todas as pulverizações foi registrado a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento por meio de uma Estação Meteorológica com registro a cada segundo, fixada com sensores numa altura de 1,5 metros do solo (Figura 2.6).

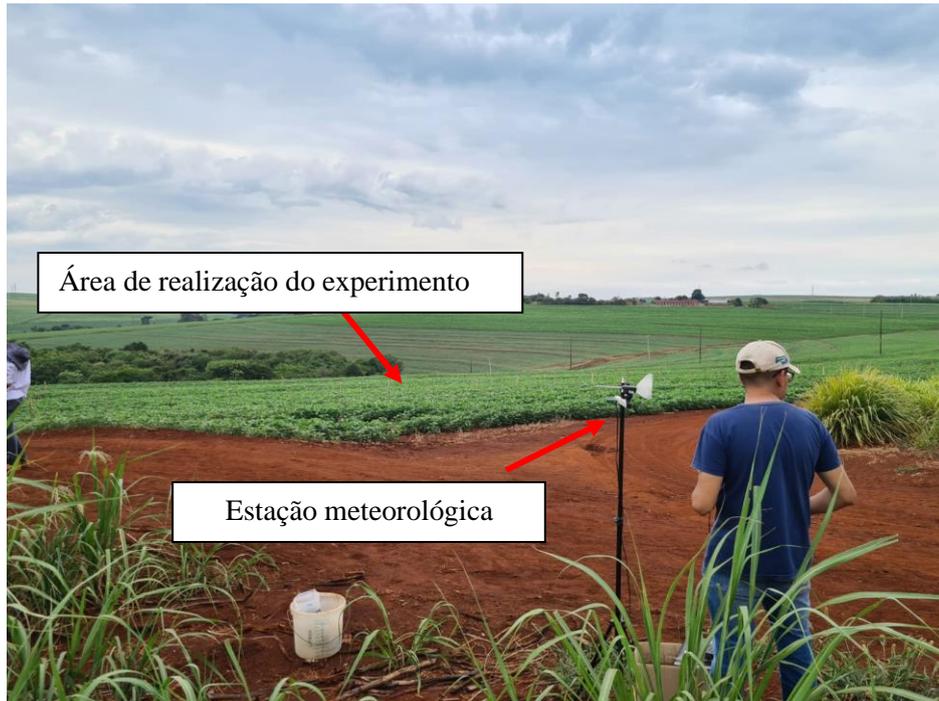


Figura 2.6. Estação Meteorológica. Foto: Silva, A.S. (2022).

As médias das condições meteorológicas registradas em cada experimento estão apresentadas nas Figura 2.7 e 2.8

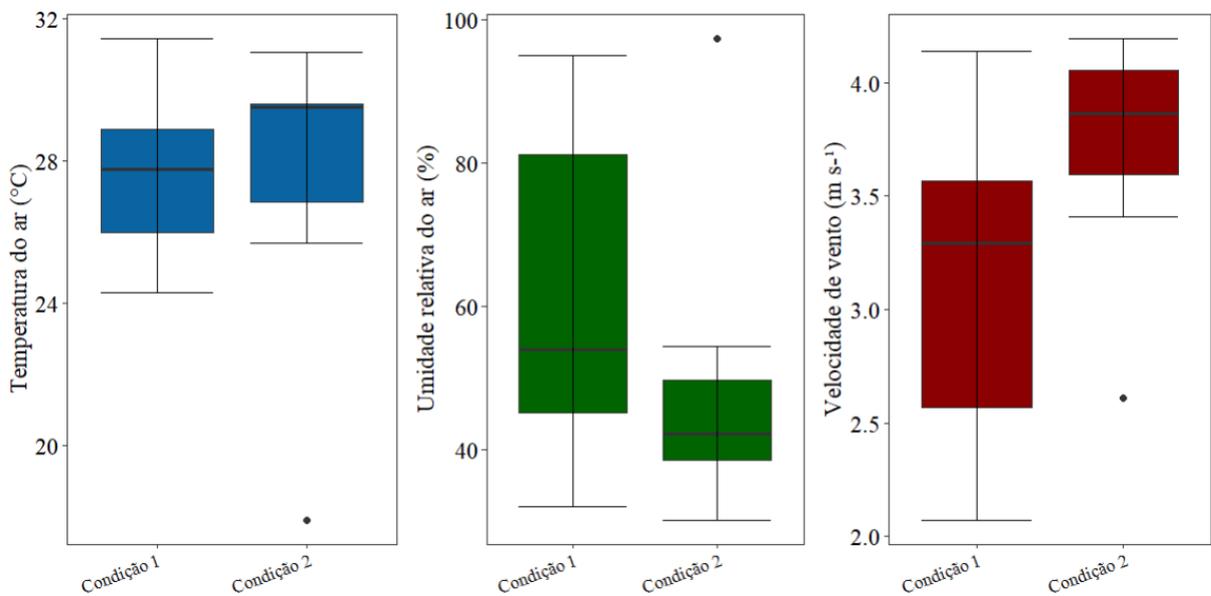


Figura 2.7. Dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações no experimento com as alturas de voo, condição 1 (período da manhã), condição 2 (período da tarde).

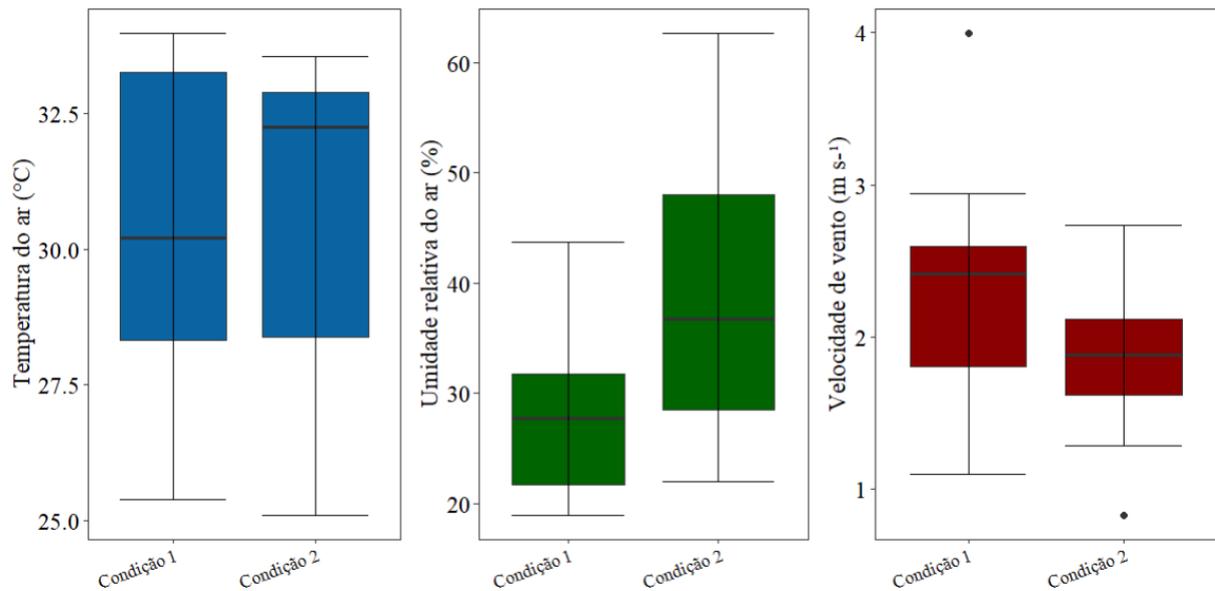


Figura 2.8. Dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade de vento durante o experimento nas duas realizações no experimento com as velocidades de aplicação, condição 1 (período da manhã), condição 2 (período da tarde).

4.3.5. Avaliações de depósito e cobertura

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 (Figura 2.9), 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) (Figura 2.10) e determinado uma equação linear ($y = b + ax$) para estimar a concentração do corante em mg L^{-1} 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^{-1}); V_i = volume capturado pelo alvo (μL); C_f = concentração do corante determinada pela equação linear (mg L^{-1}) 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 cm^2), obtendo o depósito coletado em $\mu\text{L cm}^{-2}$ 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^{-1} , sendo dividido por 2,0 para 10 L ha^{-1} ; 1,7 para $8,5 \text{ L ha}^{-1}$ e 1,3 para $6,5 \text{ L ha}^{-1}$. Conforme Dario et al. (2019) não ocorre diferença entre realizar a correção em relação a colocar diferentes concentrações para cada taxa de aplicação.



Figura 2.9. Coletores de depósito e cobertura sob a superfície a 0,90 m do solo. Foto: Silva, A.S. (2022).



Figura 2.10. Concentrações do corante conhecidas. Foto: Silva, A.S. (2022).

Para a avaliação de cobertura foi utilizado um papel do tipo hidrossensível no tamanho de 3 cm x 7 cm (Figura 2.5 B), e a cobertura determinada pelo Sistema de Análise de Imagens WinDias® (Figura 2.11). Um equipamento capaz de analisar 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, (Figura 2.12), com cálculos o sistema já determina o percentual de área coberta pelas gotas depositadas no coletor.

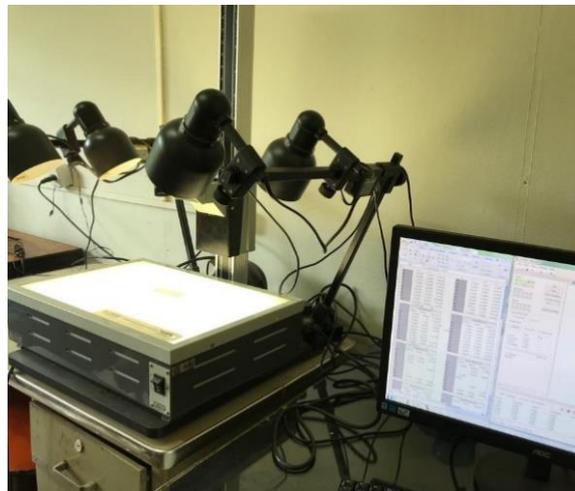


Figura 2.11. Plataforma do WinDias® para realização da análise de cobertura. Foto: Silva, A.S. (2021).

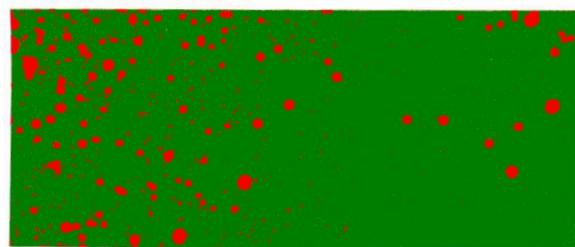


Figura 2.12. Imagem do papel hidrossensível após o processamento pelo software WinDias®. Foto: Silva, A.S. (2022).

4.3.6. 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 variância pelo teste de Levene. Foi utilizada análise multivariada por técnicas de análises de variáveis canônicas para entender a relação, inclinação, dispersão e contribuição das variáveis na variabilidade dos tratamentos.

Todas as análises foram realizadas no software R (Version 4.2.1 (2022-06-23 ucrt) e software Rbio (Bhering, 2017).

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2.13 está apresentado a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as alturas de voo e as variáveis de resposta na condição 1. A variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas foi de 87,1%, indicando alta precisão na interpretação do biplot construído pelo programa Rbio (Bhering, 2017) relataram que um conjunto de resultados pode ser considerado confiável quando a soma dessas duas primeiras variáveis ultrapassa 70%. Esta análise possibilitou verificar que alturas se destacaram pelo depósito e cobertura, e os fatores das condições meteorológicas que mais influenciam nas análises.

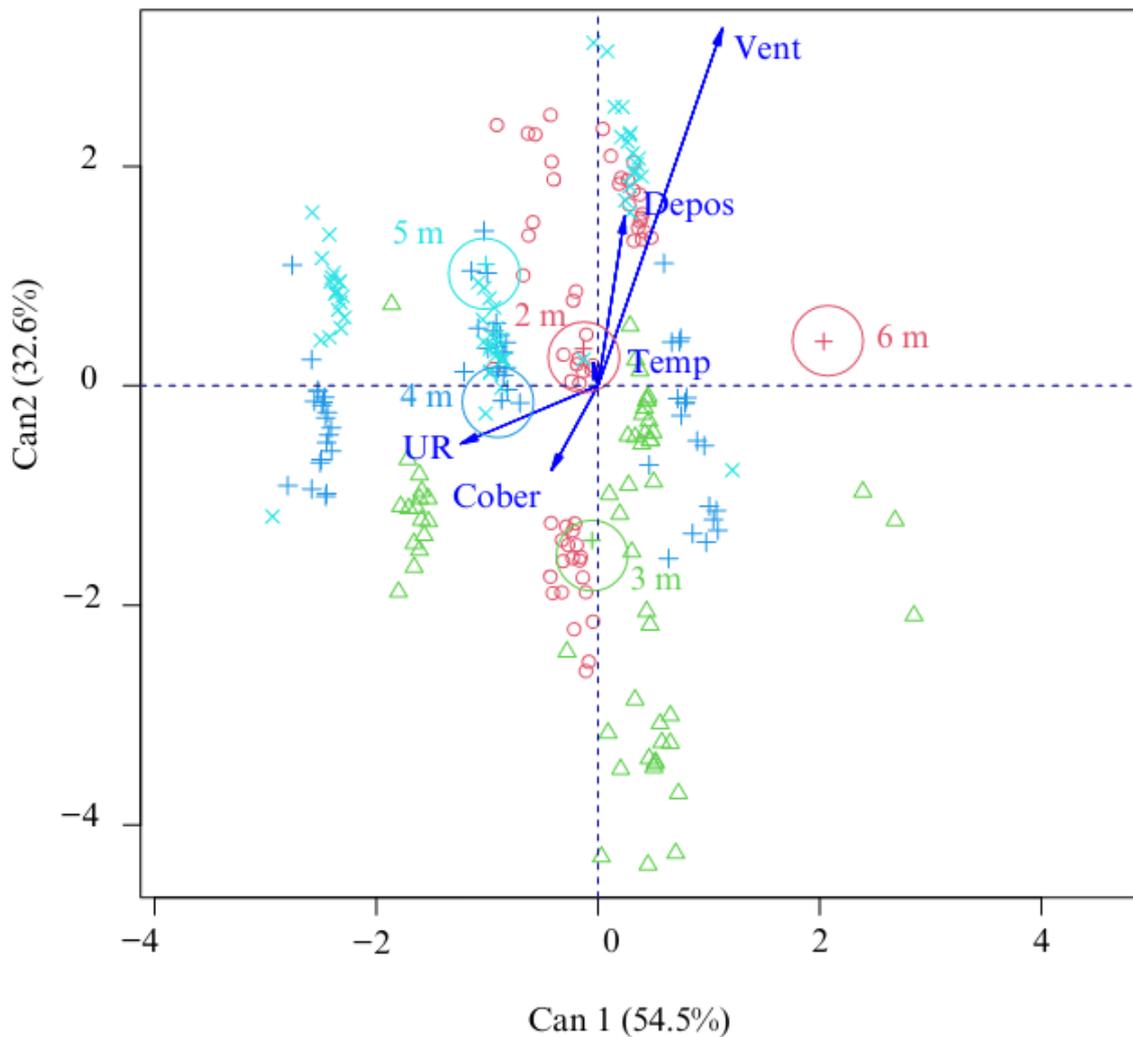


Figura 2.13. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (2, 3, 4, 5 e 6 metros), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura) na condição 1.

Podemos observar com os resultados obtidos em relação as alturas de 2, 4 e 5 m que eles foram mais semelhantes entre si em sua variabilidade do que quando comparados com as alturas de 3 e 6 m. De acordo com uma pesquisa realizada por Hussain et al. (2019); Tang et al. (2018), a altura de voo pode afetar a deposição no alvo. Os estudos observaram que, o depósito pode ser maior quando a aplicação é feita em alturas mais baixas, além disso, o estudo destacou que a altura de voo também pode afetar a uniformidade da deposição. E o estudo realizado por Silva Neto et al. (2022) também observou que a altura de voo é um fator importante para a eficácia da pulverização com RPA. Tang et al. (2018)

observou no seu estudo e concluiu que, em geral, o depósito tende a ser maior quando a aplicação é realizada a alturas menores. Songchao et al. (2017) enfatizam que as condições meteorológicas, como velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura, podem interferir na qualidade da pulverização e na deposição do produto na cultura.

Os tratamentos com as alturas 3 e 4 m tiveram maior variabilidade da cobertura e interação com a umidade relativa do ar. De acordo com Wang et al. (2020), a altura de lançamento também pode afetar a evaporação das gotas, uma vez que elas precisam percorrer uma distância de 1,5 a 4,0 metros até atingirem o alvo. No entanto, outros fatores, como a pressão de trabalho, o tipo de bico, o vento lateral e a trajetória de voo, também podem interferir no lançamento das gotas.

A cobertura teve uma correlação negativa com o vento e o depósito indicando que o aumento do vento e a temperatura causa a diminuição da cobertura no alvo. A cobertura teve uma correlação positiva com a umidade relativa do ar, ou seja, maiores porcentagem umidade relativa do ar causaram maiores índices de cobertura no alvo, que também pode ser explicado pelo fator de evaporação das gotas. Wang et al. (2020) destaca que a umidade relativa do ar pode afetar a evaporação das gotas e, conseqüentemente, a cobertura nas plantas.

O depósito observa-se o oposto da cobertura, tendo uma correlação positiva com o vento como o vetor que mais afeta a variabilidade dos dados de depósito, a temperatura do ar como o vetor não causou variabilidade no trabalho, e negativa com a umidade e a cobertura, isso indica que as velocidades de vento mais altas registradas no presente trabalho ajudaram no depósito das gotas sob o alvo. Uma vez que as velocidades de vento abaixo de 2 km h⁻¹, conhecidas como calmaria total, podem ter um impacto negativo na eficácia da aplicação, uma vez que podem provocar inversões térmicas. Isso pode levar a uma longa suspensão das gotas mais finas, o que prejudica a sua deposição no alvo desejado. Além disso, a calmaria total pode causar contaminação em lavouras vizinhas e no meio ambiente (FERNANDES, 2006). Wang et al. (2018) indica que em condições de vento acima de 10 km h⁻¹, a eficácia da aplicação com RPA pode ser reduzida devido ao aumento da deriva das gotas.

Na Figura 2.14 está apresentada a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as alturas de voo e as variáveis de resposta na condição 2. A soma das componentes chegou a 87,8%, indicando alta precisão na interpretação do biplot construído.

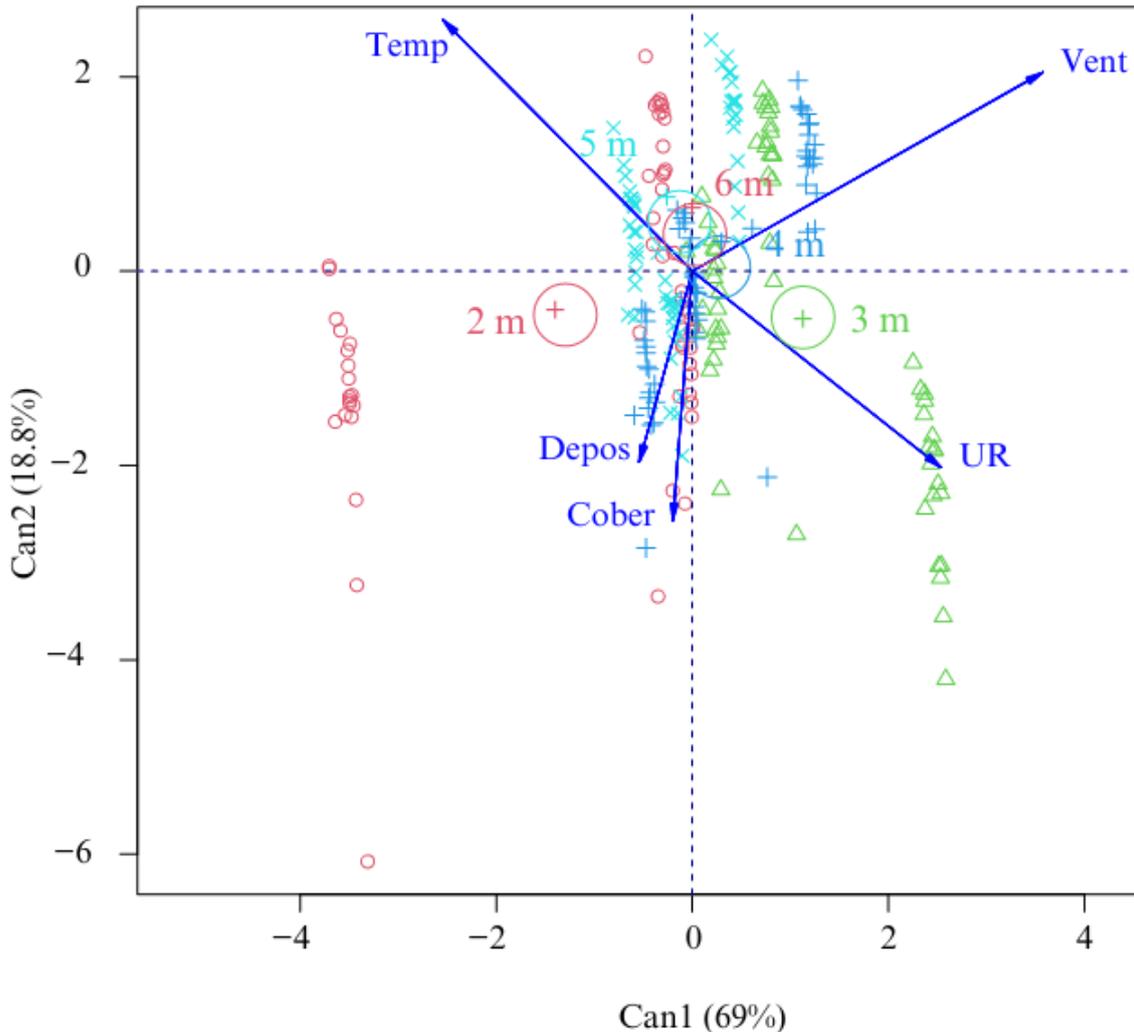


Figura 2.14. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (2, 3, 4, 5 e 6 metros), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura) na condição 2.

Segundo Lou et al. (2018) em seu estudo quando o RPA a altura maior de voo resulta em uma porcentagem de deriva foi significativamente maior, cerca de 15 a 18% maior do que alturas mais baixas. Esse resultado pode ser atribuído ao enfraquecimento do campo de vento vertical acima do alvo e a evaporação das gotas que podem ser intensificadas pelas condições meteorológicas presente no momento da aplicação (SHENGDE, 2017).

Os tratamentos compostos pela as alturas de 3, 4, 5 e 6 m foram mais semelhantes entre si do que quando comparado à altura de 2 m. A altura de 2 m teve mais efeitos na variabilidade da cobertura e o depósito do que os demais tratamentos que tiveram que foram afetados mais pelas condições meteorológicas. Silva (2022a), avaliou a influência da altura de voo e das condições meteorológicas na pulverização com RPA. Os autores destacam que a altura de voo pode afetar a deposição de produtos fitossanitários na cultura, visto que a distribuição das gotas varia conforme a altura e o ângulo de pulverização. Hussain et al. (2019) descobriram que com o aumento da altitude operacional do RPA, o número de depósitos por centímetro quadrado de pulverização diminuiu.

O depósito e a cobertura tiveram uma correlação positiva em relação a condição meteorológica tiveram uma correlação positiva com a umidade relativa do ar e ambos tiveram correlação negativa com velocidade de vento e temperatura do ar, ou seja, o aumento da temperatura do ar e velocidade de vento presente nesta condição do trabalho fez com que o depósito e a cobertura diminuíssem. De acordo com o efeito da altitude de voo, os ventos laterais têm a tendência de diminuir a intensidade do campo de vento gerado pelo rotor vertical descendente, o que pode resultar no arraste destas gotas ao longo do lado do vento. Isso pode reduzir a quantidade de depósito na área desejada e aumentar a proporção de deriva, como afirmado por Wang et al. (2018).

A Figura 2.15 apresenta a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as velocidades de aplicação e as variáveis de resposta na condição 1. A soma dos componentes canônicos resulta em 99,3% indicando alta precisão na interpretação do biplot construído.

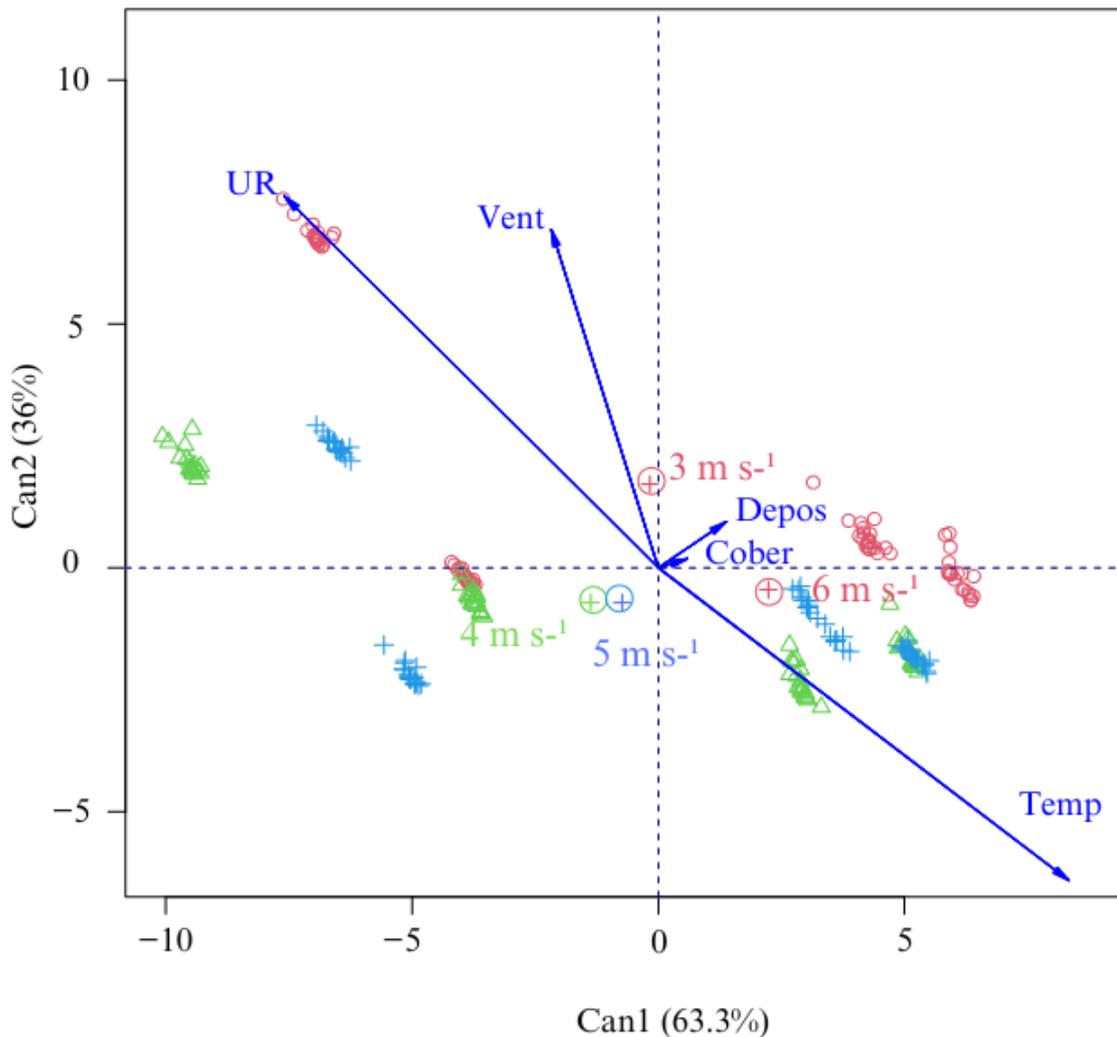


Figura 2.15. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (3, 4, 5 e 6 m s⁻¹), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura) na condição 1.

Em relação as velocidades de aplicação observamos que houve uma semelhança maior na variabilidade dos dados entre as velocidades de 4 e 5 m s⁻¹ do que quando comparados com outras velocidades, indicando que as duas velocidades não têm diferenças estatísticas entre si.

A velocidade de 3 m s^{-1} sofreu efeitos da umidade relativa do ar e do vento, a velocidade de 6 m s^{-1} sofreu mais com efeito da temperatura do ar e as velocidades de 4 e 5 m s^{-1} não sofreram efeitos das condições meteorológicas.

As velocidades de 3 e 6 m s^{-1} foram os tratamentos que tiveram correlação com o depósito por sua proximidade aos vetores. Meng et al. (2020), descrevem em suas pesquisas que a velocidade de voo causa efeitos significativos na aplicação com RPA, Li et al. (2022) analisou os efeitos da velocidade em relação ao tamanho de gotas e observou que esse efeito é significativo sobre o tamanho das gotas depositadas. Quando a velocidade de voo é maior, observa-se um aumento no tamanho das gotas no alvo, que é atribuído ao fluxo de ar descendente gerado pela asa do rotor do RPA. Isso ocorre porque o aumento na velocidade de voo contribui para a formação de estruturas de fluxo de ar, como vórtices nas pontas das asas. Essas estruturas de vórtice levam as gotas finas a se dispersarem com o fluxo de ar, o que resulta na deposição de gotas maiores no alvo.

O depósito e a cobertura tiveram uma correlação positiva entre si e negativa em relação aos fatores das condições meteorológica, mas pelo tamanho dos vetores da cobertura e depósito, eles sofrem baixa influência dos efeitos dos tratamentos e condições meteorológicas. Hanif et al. (2022); ressalta a importância de se avaliar as condições meteorológicas durante a aplicação com RPA, especialmente a velocidade e a direção do vento, que podem afetar significativamente a distribuição das gotas no alvo. A temperatura e a umidade são as variáveis que causam maior variabilidade nos dados pelo tamanho da seta presente no biplot.

A Figura 2.16 apresenta a análise canônica, que permite conhecer a inter-relação entre as velocidades de aplicação e as variáveis de resposta na condição 2. A soma dos componentes resultara em 94,9%, indicando alta precisão nos dados dentro dos tratamentos.

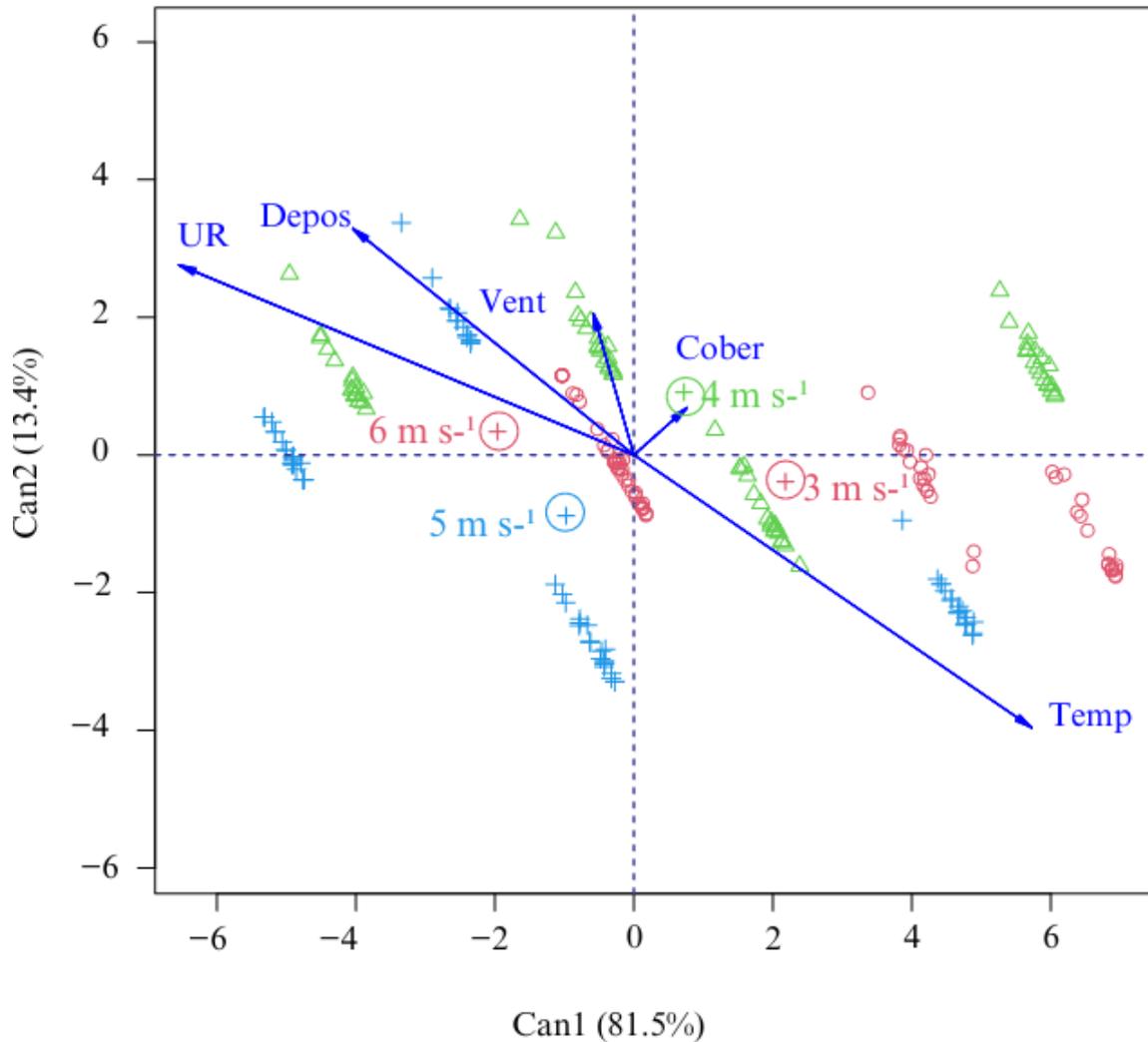


Figura 2.16. Variáveis canônicas relacionadas aos tratamentos (3, 4, 5 e 6 m s⁻¹), as condições meteorológicas (Vent= Velocidade de vento, UR= Umidade relativa do ar, Temp= Temperatura do ar) e as variáveis de resposta (Depos= Depósito, Cober= Cobertura) na condição 2.

Os resultados na condição 2, observou-se que as velocidades de 3 e 4 m s⁻¹, bem como as velocidades de 5 e 6 m s⁻¹, apresentaram maior semelhança entre si. No entanto, a velocidade de aplicação de 6 m s⁻¹ mostrou-se mais próxima do vetor do depósito, o que indica que foi a velocidade que mais contribuiu para a variabilidade nos dados. Essa velocidade de aplicação de 6 m s⁻¹ também se aproximou dos vetores da velocidade do vento e da umidade relativa do ar, o que indica que esses vetores exerceram uma forte influência na aplicação a 6 m s⁻¹.

Por outro lado, a velocidade de 4 m s^{-1} foi a que mais causou variabilidade na cobertura da aplicação e sofreu maior influência do vento durante a aplicação. Já no estudo de Li et al. (2022), a velocidade teve diferenças significativas na cobertura da pulverização com RPA, Zhang et al. (2012) relataram que a quantidade de depósito se correlacionou negativamente com a velocidade de voo do arroz pulverizado com um helicóptero não tripulado, afetando significativamente a uniformidade da deposição. Portanto, um aumento na velocidade de voo é prejudicial para a deposição uniforme.

No que se refere às velocidades de aplicação, foi observado que a velocidade de 3 m s^{-1} sofreu influência da temperatura do ar, enquanto que a velocidade de 5 m s^{-1} teve baixa influência das condições meteorológicas.

Já em relação às variáveis de resposta, verificou-se que o depósito apresentou correlações positivas com a umidade relativa do ar e com o vento, enquanto que a correlação foi negativa em relação à temperatura do ar e à cobertura. No estudo de Li et al. (2022), foi constatado que a velocidade de voo possui um impacto significativo na uniformidade da deposição, de modo que um aumento na velocidade pode prejudicar a uniformidade. A cobertura da aplicação teve uma correlação negativa com a umidade relativa do ar, depósito.

4.5. CONCLUSÃO

Alturas de voo mais baixas têm um impacto positivo na cobertura e no depósito da aplicação, sendo menos afetadas pelas condições meteorológicas.

Velocidade de vento mais alta proporciona aumento na variabilidade da cobertura e do depósito.

O efeito da velocidade da aplicação com RPA é dependente da condição meteorológica presente no momento da aplicação.

4.6. REFERÊNCIAS

- BHERING, L.L.. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.
- CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 303, 2020a.
- 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.
- FAIÇAL, B.S.; FREITAS, H.; GOMES, P.H.; MANO, L.Y.; PESSIN, G.; de Carvalho, A.C.P.L.F.; Krishnamachari, B.; Ueyama, J. An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. **Comput. Electron. Agric.** 2017, 138, 210–223.
- FERGUSON, J. Connor et al. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v. 81, p. 14-19, 2016.
- FERNANDES, S.J.M.. “Princípios Básicos Da Aplicação De Agrotóxicos.” **Esalq, Visão Agrícola**, Dec. 2006, <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va06-fitossanidade08.pdf>.
- FERREIRA, M. C., LEITE, G. J. & LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, 29, 1539-1548. (2013).
- GAO, J., LIAO, W., NUYTTENS, D., LOOTENS, P., VANGHEYTE, J., PIZURICA, A., HE, Y. & PIETERS, J. Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 67, 43-53 (2018).
- GILES, D.K.; AKESSON, N.B.; YATES, W.E. Pesticide Application Technology: Research and Development and the Growth of the Industry. **Trans. ASABE** 2008, 51, 397–403.
- HASSLER, S.C.; Baysal-Gurel, F. Unmanned Aircraft System (UAS) Technology and Applications in Agriculture. **Agronomy**, 2019, 9, 618.
- HUSSAIN, S. et al. Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agro-chemical applications. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, n. 4, 2019.
- ISO/CD 23117-1; **Agricultural and Forestry Machinery—Unmanned Aerial Spraying Systems—Part 1: Environmental Requirements**. ISO: Geneva, Switzerland, 2021; pp. 1–12.

LAN, YUBIN; SHENGDE, Chen; FRITZ, Bradley K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 1-17, 2017.

LI, LONGLONG et al. Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

LIU, X.; ZHOU, H.; ZHENG, J. **Research advances of the technologies for spray drift control of pesticide application**. Trans. CSAE 2005, 21, 186–190.

LOU Z, XIN F, HAN X, LAN Y, DUAN T, FU W. Efeito da Altura de Vôo de Veículo Aéreo Não Tripulado na Distribuição de Gotas, Deriva e Controle de Pulgões do Algodão e Ácaros. **Agronomia**. 2018; 8(9):187.

LUCHETTI, A. **Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro**. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) -Universidade do Sul de Santa Catarina (2019).

MARTIN, D.E.; CARLTON, J.B. Airspeed and orifice size affect spray droplet spectrum from an aerial electrostatic nozzle for fixed-wing applications. **Appl. Eng. Agric.** 2013, 29, 5–10.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019.

MENG, Y.; SU, J.; CANÇÃO, J.; CHEN, W.; LAN, Y. Avaliação experimental da pulverização de UAV para pessegueiros de diferentes formas: Efeitos de parâmetros operacionais na distribuição de gotas. **Computar. Elétron. Agrícola**. 170, 2020.

QIN, WEI-CAI et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79-88, 2016.

QIN, W. et al. Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, n. 2, p. 27-32, 2018.

RASMUSSEN, J. et al. Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 983-999, 2019.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020.

ROBERT, E.; WOLF, R. Drift-reducing strategies and practices for ground application. **J. Pestic. Saf. Educ.** 2013, 15, 62–69.

RUKTANONCHAI, D.J. et al. Effect of aerial insecticide spraying on West Nile virus disease—North-Central Texas, 2012. **Am. J. Trop. Med. Hyg**, v. 91, n. 2, p. 240-245, 2014.

SHENGDE, C. H. E. N. et al. Effect of wind field below rotor on distribution of aerial spraying droplet deposition by using multi-rotor UAV. **Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 48, n. 8, 2017.

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. Research, **Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021.

SILVA, M. R. A. **Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja**. 2. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Proteção de Plantas) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022a.

SILVA, A. S.; THEODORO, J. G. C.; CAMPOS, J. V.; TANAKA, R. K.; CARBONARO, H. M.; FERREIRA, P. G. R. O.; LEMES, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Espectro de gotas e deriva na pulverização com bico rotativo de aeronave remotamente pilotável. In: X SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de aplicação, 2022b, Porto Alegre-RS. Anais SINTAG 2022.

SONGCHAO, ZHANG et al. Downwash distribution of single-rotor unmanned agricultural helicopter on hovering state. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 5, p. 14-24, 2017.

TANG, Y.; HOU, C.J.; LUO, S.M.; LIN, J.T.; YANG, L.Z.; HUANG, W.F. Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture** 148:1-7. 2018.

TESKE, M.E.; THISTLE, H.W.; MICKLE, R.E. Modelagem de deriva e deposição de pulverização aérea de gotas mais finas, **Appl Eng Agric**, 16 (4), pp . 351-357. 2020.

VERGER, A., VIGNEAU, N., CHÉRON, C., GILLIOT, J, COMAR, A., BARET, F. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops. **Remote Sensing of Environment**, 152, 654-664. (2014).

WANG, L.; LAN, Y.; HOFFMANN, W.; BRADLEY, K.; CHEN, D.; WANG, S. Design of variable spraying system and influencing factors on droplets deposition of small UAV. **Trans. CSAM** 2016, 47, 15–22.

WANG, XIAONAN et al. Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, n. 5, p. 54-58, 2018.

WANG, G.; HAN, Y.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; HOFFMANN, W.C.; HAN, X.; CHEN, S.; LAN, Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of The Total Environment** 737:139793. 2020.

WANG, J.; LAN, Y.; WEN, S.; HEWITT, A.J.; YAO, W.; CHEN, P. Meteorological and flight altitude effects on deposition, penetration, and drift in pineapple aerial spraying. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering** 15:2382. 2020d.

WANG, S.; LI, X.; ZENG, A.; SONG, J.; XU, T.; LV, X.; HE, X. Effects of Adjuvants on Spraying Characteristics and Control Efficacy in Unmanned Aerial Application. **Agriculture** 2022, 12, 138.

XUE, X.; LAN, Y.; SUN, Z.; CHANG, C.; HOFFMANN, W.C. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. **Comput. Electron. Agric.** 2016, 128, 58–66.

ZHANG, J., HE, XK, SONG, JL, ZENG, AJ, LIU, YJ E LI, XF. Influência dos parâmetros de pulverização de aeronaves não tripuladas na deposição de gotas. Trans. Queixo. **Sociedade Agrícola** Mach. 43, 94–96. (2012).

ZHANG, Y.; LI, Y.; HE, Y.; LIU, F.; CEN, H.; FANG, H. Near ground platform development to simulate UAV aerial spraying and its spraying test under different conditions. **Comput. Electron. Agric.** 2018, 148, 8–18.