



JORGE OLINDO SILVA NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)
PARA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICO**

BAMBUÍ - MG

2021

JORGE OLINDO SILVA NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA AERONONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)
PARA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Robson Shigueaki Sasaki

BAMBUÍ - MG

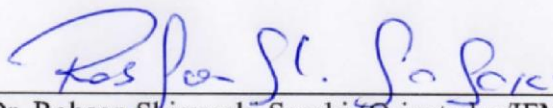
2021

JORGE OLINDO SILVA NETO

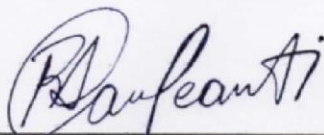
**DESENVOLVIMENTO DE UMA AERONONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)
PARA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em 05/05/2021.



Prof. Dr. Robson Shigueaki Sasaki (Orientador/IFMG - *campus* Bambuí)



Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti (IFMG – *campus* Bambuí)



Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvaranga (UFU – *campus* Monte Carmelo)

BAMBUÍ – MG

2021

S586d
2021

Silva Neto, Jorge Olindo.
Desenvolvimento de uma Aeronave Remotamente
Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico. / Jorge
Olindo Silva Neto. – Bambuí, 2021.
38 f. : il.; color.

Orientador: Robson Shigueaki Sasaki.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais. *Campus* Bambuí.

1. RPA - agrotóxico. 2. Pulverização. I. Sasaki, Robson
Shigueaki (orientador). II. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí.
III. Título.

CDD: 630.2

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a São Jorge, que intercede por mim em todos os momentos de minha vida, me dando força, proteção e discernimento para me manter firme em busca dos meus objetivos.

Também a minha família; em especial, a minha mãe Beatriz, meu pai Olindo, minha irmã Jéssika e minha avó Fia, por não medirem esforços para me ajudar na busca de mais um sonho.

A minha namorada, Ana Luiza, pelo companheirismo, por estar sempre apoiando e me dando forças para realizar meus sonhos.

Meu professor orientador, Robson, pela confiança, dedicação, companheirismo e paciência em orientar este trabalho e auxiliar na sua conclusão.

Ao IFMG - *Campus* Bambuí e meus facilitadores do conhecimento e trabalho, de maneira geral, e, em especial, aos funcionários Reginaldo e Felipe.

Aos componentes da banca de avaliação, por se disporem a participar da conclusão de mais esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS a vida, a capacidade e a oportunidade de estar realizando este trabalho e curso. À Nossa Senhora Aparecida, pela intercessão a DEUS e todos os seus sinais durante o decorrer desta jornada; agradeço imensamente ao nosso PAI.

Agradeço à minha mãe Beatriz e ao meu pai Olindo a luta para me manter firme em busca deste sonho e os seus exemplos. A toda a minha família, pelo apoio, incentivo e por acreditar em min.

Agradeço ao meu professor orientador, Robson Sasaki, a oportunidade de trabalho, todo o conhecimento compartilhado, que levarei para toda a vida, os seus exemplos, conselhos, amizade e profissionalismo.

Agradeço ao IFMG-BambuÍ, a todos os Professores, Técnicos e Funcionários terceirizados, os quais contribuíram de maneira muito expressiva para minha formação.

Aos meus amigos, pela grande ajuda na realização deste trabalho.

Quero agradecer a todos os avaliadores, colaboradores e aos que dedicaram um pouco de seu tempo para prestigiar este trabalho.

“O que temos de aprender a fazer, aprendemos fazendo.”

- Aristóteles (384-322 a.C.)

RESUMO

Visto que a demanda por pulverizações de agrotóxicos de forma total ou localizada está crescendo em todo o planeta devido à agricultura estar em grande ascensão, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma aeronave remotamente pilotada (RPA) para a aplicação de agrotóxicos. Foi construída com poliestireno extrudado de 5 mm e isopor t7. Após a construção da RPA, foi instalado um sistema de pulverização hidráulica. O sistema foi dotado com bomba da marca CFACIL, modelo Robótica; tanque com capacidade de 350 mL e pontas Jacto®, cone vazio, modelo JD12 P. Em seguida, realizaram-se testes de eficiência de aplicação, principalmente para averiguar a faixa útil de aplicação. Montou-se um experimento, em condições de laboratório, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3X7), três alturas de voos (1,0; 2,0 e 3,0 m) e sete posições de etiquetas hidrossensíveis no solo (-1,5; -1,0; -0,5; 0,0; +0,5; +1,0 +1,5m). O pulverizador foi previamente aferido quanto à vazão de líquido de 160 mL min⁻¹ por ponta e velocidade do voo de 20 km h⁻¹, e as pulverizações foram realizadas nas referidas alturas, na posição 0,0, sendo verificada a deposição nos demais pontos. A referência com sinal negativo trata-se da deposição à esquerda do sentido de deslocamento e sinais positivos da deposição à direita do sentido de deslocamento. Após as pulverizações, as etiquetas foram digitalizadas e submetidas a análise no software ImageTool 3.0, avaliando-se os resultados. A RPA apresentou uma faixa útil de aplicação de 1 m de largura na pulverização com altura de 1 m. Apresentou, também, um custo de produção de R\$ 3568,59, sendo que, com devidos testes no final, constatou-se que o sistema desenvolvido é ideal para aplicações localizadas, ou pequenos produtores, uma vez que a capacidade do tanque é limitada. Outro aspecto importante é que o sistema possibilita aplicação em áreas localizadas, principalmente em plantas perenes, em que existe dificuldade na aplicação de agrotóxicos.

Palavras-chaves: RPA, Pulverização, Etiquetas hidrossensíveis.

ABSTRACT

Since the demand for pesticide spraying in a total or localized manner is growing across the planet due to agriculture being on the rise, the present work aimed to develop a remotely piloted aircraft (RPA) for the application of pesticides. It was built with 5 mm extruded polystyrene and t7 styrofoam. After the construction of the RPA, a hydraulic spraying system was installed. The system was equipped with a CFACIL brand pump, Robotic model; tank with 350 mL capacity and Jacto® tips, empty cone, model JD12 P. Then, application efficiency tests were carried out, mainly to ascertain the useful range of application. An experiment was set up, under laboratory conditions, in a completely randomized design, in a factorial scheme (3X7), three flight heights (1.0; 2.0 and 3.0 m) and seven positions of hydrosensitive labels on the ground (-1.5; -1.0; -0.5; 0.0; +0.5; +1.0 + 1.5m). The sprayer was previously checked for liquid flow of 160 mL min⁻¹ per tip and flight speed of 20 km h⁻¹, and the spraying was carried out at the said heights, in position 0.0, with deposition being verified in the others. points. The reference with a negative sign refers to the deposition to the left of the direction of travel and positive signs to the deposition to the right of the direction of travel. After spraying, the labels were digitized and submitted for analysis in the ImageTool 3.0 software, evaluating the results. The RPA presented a useful application range of 1 m wide when spraying with a height of 1 m. It also presented a production cost of R \$ 3568.59, and, with due tests at the end, it was found that the developed system is ideal for localized applications, or small producers, since the tank capacity is limited . Another important aspect is that the system allows application in localized areas, mainly in perennial plants, in which there is difficulty in the application of pesticides.

Keywords: RPA, Spraying, hydrosensitive labels.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Pulverização	12
2.2 Agrotóxicos.....	12
2.3 Pulverização aérea	13
2.4 RPA.....	13
2.5 Pulverização com sistema RPA.....	14
2.6 Parâmetros de avaliação das pulverizações	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Planejamento	16
3.2 Construção	16
3.3 Sistema eletrônico para controle da RPA	20
3.4 Sistema de pulverização	22
3.5 Avaliação da faixa útil e qualidade da pulverização	23
3.6 Análise das etiquetas hidrossensíveis.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Análise das etiquetas pulverizadas	26
4.2 Viabilidade Econômica	32
4.3 Altura de pulverização e faixa útil.....	33
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Para o controle de pragas, doenças ou plantas daninhas, muitas vezes, utilizam-se os agrotóxicos. Bohmont (1981) apresenta um resumo histórico do aparecimento dos agrotóxicos e, segundo o autor, antigamente os romanos já usavam a fumaça proveniente da queima de enxofre para controlar pulgões que atacavam as plantações de trigo. Também é conhecido que usavam sal para controlar ervas daninhas.

Daí em diante, as buscas por novas moléculas de agrotóxicos para a pulverização aumentaram, realizando-se estudos, testes e pesquisas. Nos dias de hoje, a tecnologia de aplicação de agrotóxicos é de suma importância para a produção agrícola.

Pulverizar significa dividir o líquido em várias partículas; já a aplicação é realizar a distribuição destas de forma homogênea, levando-se em consideração aspectos ambientais, segurança alimentar e do operador.

A pulverização vem sendo utilizada na agricultura há várias décadas, sendo que, para promover a formação de gotas, era usado um tubo com um pequeno orifício que, ao ser pressurizado e entrar em contato com o ar, as formava (CHAIM, 1999). A partir de então, a pulverização foi evoluindo e foram aparecendo pontas com diversas formas de espalhamento de gotas.

Existem diversos meios para se realizar a aplicação de agrotóxicos, desde equipamentos costais manuais até equipamentos aéreos. Essa variação pode ocorrer devido a características da cultura e do alvo a ser atingido.

As máquinas agrícolas, de maneira geral, estão em constante evolução, e, atualmente, as transformações digitais e a tecnologia aparecem no setor agrícola de várias formas. Entre as ferramentas e tecnologias, encontram-se as Aeronaves Não Tripuladas (RPAs), que podem trazer inúmeros benefícios aos produtores, e um deles é o uso para a pulverização de agrotóxicos.

A aplicação das RPAs na pulverização apresenta ótimos resultados, pois o equipamento, além de conseguir trabalhar em áreas que seriam de difícil utilização de veículos terrestres, proporciona uma boa qualidade na aplicação. Tudo isso devido às suas características, principalmente, quanto à possibilidade de aplicações remotas e alta precisão.

Giraldeli (2019) cita que um dos grandes benefícios do uso de drone para pulverização de agrotóxicos é a substituição de trabalhadores. Isso elimina risco de exposição, uma vez que também não há piloto embarcado. Relata também vantagens como aplicações complementares, rapidez, precisão, qualidade e aplicações localizadas.

Embora haja diversos trabalhos e estudos demonstrando as vantagens da aplicação via RPAs, observa-se ainda que carece de estudos em relação ao tema. Sendo assim, este trabalho teve a finalidade de desenvolver uma RPA para a aplicação de agrotóxicos, podendo ser utilizado em diversas culturas agrícolas, otimizando a pulverização com boa cobertura e redução do custo de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pulverização

A pulverização é o fenômeno físico que aumenta a “área” do “ingrediente ativo” para que ele possa ser espalhado em uma grande área das folhas das culturas (CHAIM, 1999).

O objetivo da tecnologia de aplicação de agrotóxicos é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando o mínimo possível o ambiente (MATTHEWS, 2002).

Existem dois modos de pulverização - a pulverização terrestre e a aérea. De forma terrestre, Teixeira (1997) afirma existirem diferentes técnicas de aplicação de produtos fitossanitários, sendo mais usuais aquelas baseadas na pulverização hidráulica, devido ao seu amplo espectro de possibilidades de trabalho. Os pulverizadores hidráulicos vão desde simples pulverizadores costais até os modernos pulverizadores de barra (autopropelidos).

A deriva de agrotóxicos continua sendo um dos maiores problemas da agricultura moderna (SUMNER & SUMNER, 1999; TSAI *et al.*, 2005). Essa deriva pode estar relacionada a vários fatores. Cunha *et al.* (2006) citam que, muitas vezes, parte do produto aplicado perde-se no ambiente, principalmente pela má qualidade da aplicação, seja ela terrestre ou aérea.

Segundo Christofolletti (1999), no processo de produção agrícola, a aplicação de defensivos é uma das mais exigentes, pois atende não somente ao tratamento da área cultivada, mas também aos cuidados com a preservação do meio ambiente.

2.2 Agrotóxicos

Agrotóxicos, defensivos agrícolas, pesticidas, praguicidas, remédios de planta ou veneno: são inúmeras as denominações relacionadas a um grupo de substâncias químicas utilizadas no controle de pragas e doenças de plantas (PERES & MOREIRA, 2003).

O termo agrotóxico inclui inseticidas (controle de insetos), fungicidas (controle de fungos), herbicidas (combate às plantas invasoras), fumigantes (combate às bactérias do solo), algicida (combate a algas), avicidas (combate a aves), nematicidas (combate aos nematoides), moluscicidas (combate aos moluscos), acaricidas (combate aos ácaros), além de reguladores de crescimento, desfoliantes (combate às folhas indesejadas) e dissecantes (BAIRD, 2006; SILVA & FAY, 2004).

Os agrotóxicos têm contribuído para a prática agrícola, reduzindo o uso de mão de obra, os custos de produção e melhorando a qualidade dos alimentos (CUNHA *et al.*, 2003).

Os agrotóxicos são essenciais para qualquer sistema de produção agrícola e, por serem substâncias de alto risco, devem ser empregados de forma criteriosa. Trabalhar com esses produtos implica obediência a um conjunto de leis, de normas e de técnicas que garantam a segurança do trabalhador, a saúde do consumidor e o equilíbrio do meio ambiente, relata Gonçalves (1999).

2.3 Pulverização aérea

A aplicação aérea tem sido de extrema importância no aumento do ganho de produtividade, por meio de sua natureza rápida e eficaz na cobertura dos alvos. Este tipo de aplicação funciona como ferramenta de bastante valor na agricultura, porém, quando realizada dentro de critérios bem definidos e acompanhada por um profissional técnico responsável (MINGUELA & CUNHA, 2013).

Uma das vantagens da atividade aeroagrícola é o alto rendimento operacional, permitindo soluções rápidas, em maiores extensões de área, tornando possível alcançar resultados positivos com custos econômicos acessíveis, desde que sejam adotados todos os procedimentos técnicos adequados (BAYER *et al.*, 2011).

De acordo com Rasi (2008), as atividades de pulverização aérea são perigosas e necessitam de grande habilidade por parte do piloto, ao mesmo tempo que os obstáculos terrestres, tais como fios da rede elétrica, postes, torres, árvores e cercas de arame representam risco de colisão, pois, voando junto ao solo, com velocidades próximas à velocidade de estol, pode ocorrer perda de sustentação durante as curvas de retorno, ocasionando possíveis acidentes.

2.4 RPA

De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), aeronave remotamente pilotada é aquela em que o piloto não está a bordo, mas controla a aeronave remotamente por meio de uma interface (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto etc.).

As RPAs podem realizar voos com frequência, onde e quando necessário, o que permite a observação de padrões espaciais mais definidos, em virtude da sua escala ser menor, possibilitando coletar imagens multitemporais, para o monitoramento de culturas agrícolas, e também de áreas naturais. As vantagens de seu relativo baixo custo financeiro e alta

flexibilidade tornam as RPAs populares para estudos de campo (VERGER *et al.*, 2014; GAO *et al.*, 2018).

O significado da palavra drone, em inglês, quer dizer "zangão", devido ao som do equipamento em operação comparado ao zumbido sonoro de uma abelha, na tradução literal para a língua portuguesa. Popularmente, este termo é conhecido por designar todo e qualquer tipo de aeronave que não seja tripulada, embora comandada à distância por um operador (SILVA *et al.*, 2018).

O uso de drones é regulamentado, seguindo os mesmos princípios de segurança impostos a aeronaves tripuladas, bem como probabilidade mínima de falhas, responsabilidade de danos a terceiros e demais regras aplicáveis (MARINHO, 2015).

O Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG, 2017) relata que os drones serão substitutos de boa parte dos aparelhos de pulverização, trazendo precisão e segurança na operação, ao mesmo tempo que coletam imagem em um raio maior do que seria possível com acompanhamento da mão de obra na lavoura.

2.5 Pulverização com sistema RPA

Segundo Passos *et al.* (2014), a pulverização com drones é semelhante ao uso de pulverizadores autopropelidos ou de arrasto, mas pode ser feita com ou sem o auxílio de um controlador. Primeiramente, é feita a avaliação do alvo e do estágio da cultura, depois, define-se qual ponta será utilizada, com a forma do jato e a vazão adequada.

A utilização dos drones apresenta diversas vantagens, como: aplicação em áreas de difícil acesso, em áreas muito íngremes ou com obstáculos onde os demais pulverizadores não conseguem operar - talvez, esta seja a maior vantagem da utilização de um drone pulverizador. Este fato prejudica a pulverização com tratores ou aviões; o acesso com drones, então, em alguns casos, é a única alternativa. O drone também permite fazer aplicações em taxa variável ou localizado somente na área de interesse, havendo, conseqüentemente, uma economia de produto (LUCHETTI, 2019).

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) classifica as aeronaves remotamente pilotadas (RPA) em três classes, de acordo com o peso máximo de decolagem, devendo ser considerados os pesos da bateria ou combustível do equipamento e de carga eventualmente transportada. A classificação é aplicável apenas para as RPAs, e não para os aeromodelos. A RPA desenvolvida no presente trabalho enquadra-se na classe 3, com peso máximo de decolagem de 25 kg.

2.6 Parâmetros de avaliação das pulverizações

Para avaliar a qualidade da aplicação de agrotóxicos, utilizam-se alguns parâmetros técnicos. Os principais são: DMN, DMV, CH, DV01, DV09, Índice Span, % de cobertura do alvo e densidade de gotas.

O diâmetro da mediana numérica (DMN), em uma amostra de gotas, ordenadas em ordem crescente, indica o diâmetro de gota em relação ao qual metade do número das gotas produzidas é constituída de gotas de diâmetro maior que ele, sendo a outra metade de gotas de diâmetro menor (BAESSO *et al.*, 2014).

O diâmetro da mediana volumétrica (DMV), em uma amostra de gotas, ordenadas em ordem crescente, representa o diâmetro em que a metade do líquido aplicado é constituída de gotas de diâmetro superior a ele, sendo a outra metade formada por gotas com diâmetro inferior a ele, ou seja, é o diâmetro em que divide em duas partes de volumes iguais à amostra. Esse valor fica próximo das classes superiores das gotas amostradas, em razão de poucas gotas grandes terem maior influência no total do volume coletado (BAESSO *et al.*, 2014).

O Coeficiente de Homogeneidade (CH) é o valor com o qual se pode analisar a variação do tamanho das gotas, ou seja, quanto mais próximo de 1 estiver o valor de CH, mais homogênea é a população de gotas. O coeficiente de homogeneidade é determinado pela equação: $CH = DMV/DMN$ (BAESSO *et al.*, 2014).

Em seguida, tem-se DV01 = diâmetro da gota, para o qual 10% do volume pulverizado apresentam gotas de diâmetro inferior a ele (BAESSO *et al.*, 2014).

Já DV09 = diâmetro da gota, para o qual 90% do volume pulverizado apresentam gotas de diâmetro inferior a ele (BAESSO *et al.*, 2014).

A amplitude relativa ao diâmetro de gotas do jato aplicado denomina-se SPAN, que, como o CH, analisa a variação do tamanho das gotas (BAESSO *et al.*, 2014).

A cobertura de gotas pode ser definida como a percentagem do alvo que foi coberta pela calda; em outras palavras, é a área ocupada pelas gotas após uma aplicação (BAESSO *et al.*, 2014).

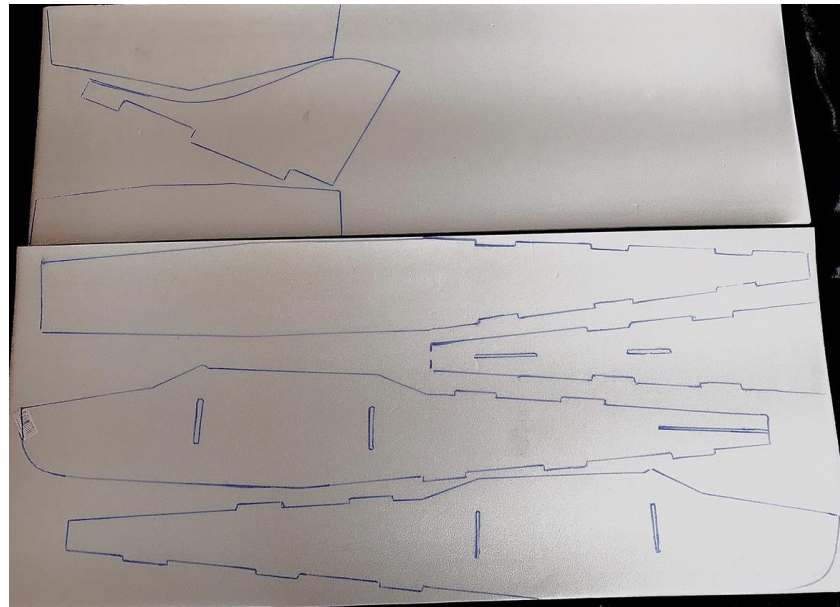
O parâmetro de densidade de gotas representa o número de gotas pela área (gotas cm²).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Planejamento

Para dar início ao desenvolvimento da RPA, projetou-se um aeromodelo que tinha como características voar a baixas altitudes, baixa velocidade e com boa capacidade para transportar carga. Foi projetado um aeromodelo asa alta, com envergadura de 1.200 mm, comprimento de 900mm e fuselagem com 75% do tamanho da envergadura (Figura 1).

Figura 1- Projetando a RPA



3.2 Construção

A fuselagem da RPA foi construída em uma chapa de poliestireno extrudada, com espessura de 5mm, mais conhecido como depron. Após a planta da RPA ser transferida para a chapa, foram efetuados os cortes com uma lâmina de estilete (Figura 2).

Figura 2- Cortes em poliestireno extrudado para confecção da fuselagem da RPA



Os estabilizadores vertical e horizontal, juntamente com o leme e o profundor, também foram construídos em poliestireno extrudado. Após serem riscadas todas as partes, elas foram cortadas com lâminas de estilete e lixadas.

Para montar a fuselagem central do avião, utilizou-se adesivo termoplástico para união das peças. Após coladas, todas as bordas foram lixadas para se ter um melhor acabamento e também a fim de se evitar arrasto durante os voos. Varetas de fibra de vidro foram colocadas para servirem de apoio para a fixação da asa (Figura 3).

Figura 3- Fuselagem central da RPA



A construção da asa da RPA foi realizada utilizando-se como material principal isopor T7, um material com alta densidade e baixo peso ($D = 32,5 \text{ kg m}^{-3}$). Para aumentar a resistência da asa, foram instaladas duas varetas de fibra de vidro na parte superior e duas na parte inferior (Figura 4). Essas varetas foram instaladas paralelamente umas às outras, evitando a torção e a flambagem da asa.

Figura 4 - Asa da RPA

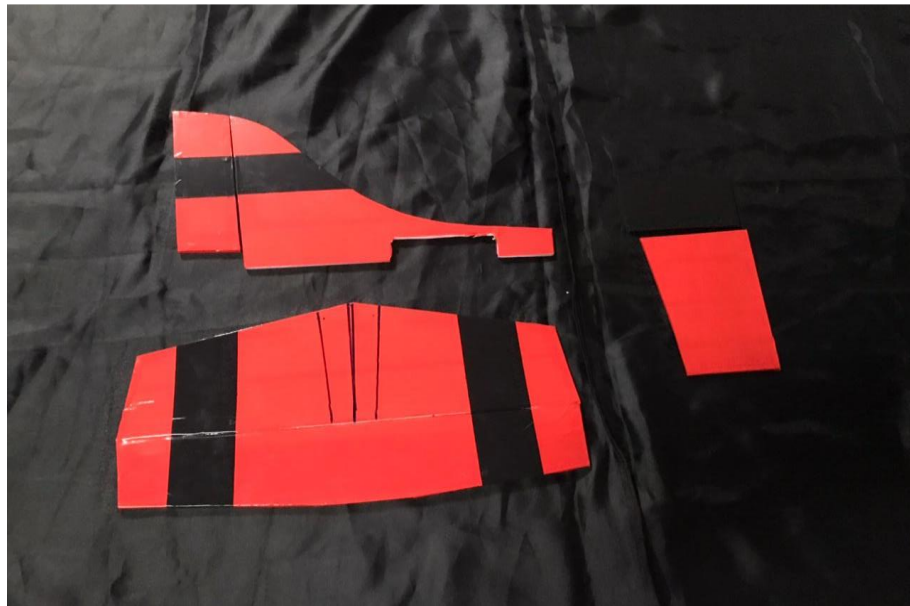


Para maior proteção e acabamento estético, entelou-se, ou seja, revestiu-se totalmente a RPA com fita adesiva na cor vermelha (Figuras 5 e 6), aumentando a visibilidade, facilitando o controle visual durante os voos e também a fim de evitar arrasto.

Figura 5 - Fuselagem central entelada



Figura 6 - Estabilizadores entelados



Após a entelagem, todas as partes foram unidas e coladas com adesivo termoplástico. Por fim, fizeram-se a instalação do trem de pouso e a fixação da asa na RPA, com elásticos, passando nas bases fixadoras e por cima da asa (Figura 7).

Figura 7- RPA pronta para receber o sistema eletrônico e o sistema de pulverização



3.3 Sistema eletrônico para controle da RPA

Para o controle da RPA, foi empregado um sistema de radiocontrole. Utilizou-se um radiotransmissor da marca Turnigy®, modelo 9x, com frequência de 2.4GHz (Figura 8). No interior da aeronave, foi instalado um receptor compatível com o transmissor, o qual recebe o sinal e transmite para as diversas partes eletrônicas da RPA. O sistema de controle remoto instalado possui um alcance de 1500 m, e, além de controlar e operar a RPA, pode acionar remotamente todo o sistema de pulverização. Também foi instalado um GPS da marca Bryton, modelo 530, para medir a velocidade média de deslocamento.

Figura 8 - Radiocontrole e receptor

Para a movimentação da RPA, foi instalado um sistema eletromecânico. Utilizaram-se quatro servomotores, sendo que dois deles foram instalados na asa, movimentando os ailerons, e os outros dois, nos estabilizadores vertical e horizontal, um servomotor ligado ao profundor, e outro, ao leme.

O sistema propulsor instalado foi um motor *Brushless*, da marca Turnigy, modelo 3536, de 1450 kV (Figura 9), sendo que, para variar a aceleração, foi diretamente ligado ao motor um controlador eletrônico de velocidade de 60 A. No motor, foi instalada uma hélice com especificação técnica de 10x6, que apresenta 10 polegadas de comprimento e 6 mm de passo.

Figura 9 - Motor e hélice

3.4 Sistema de pulverização

Para o sistema de pulverização, foi instalado um tanque com capacidade de 350 mL (Figura 10), e, para pressurizar o líquido, utilizou-se uma bomba da marca CFACIL, modelo Robótica, com vazão de 120 L h^{-1} , 12V. A barra de pulverização utilizada na RPA foi da marca Jacto®, com 500 mm de comprimento, dotada de duas pontas de pulverização hidráulica, marca Jacto®, modelo JD 12P (Figura 11), uma ponta em cada extremidade da barra. O acionamento do sistema de pulverização foi realizado pelo radiocontrole.

Figura 10- Tanque de pulverização da RPA



Figura 11- Sistema de pulverização

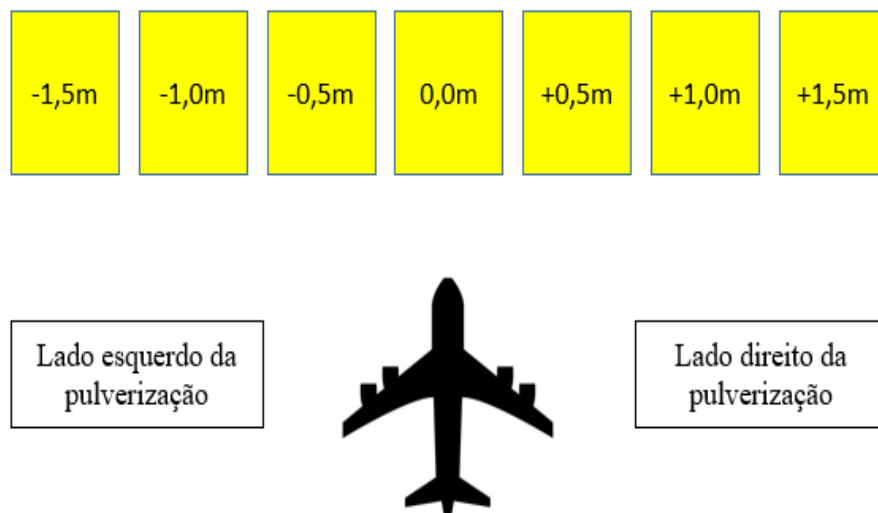


3.5 Avaliação da faixa útil e qualidade da pulverização

Para avaliar a faixa útil e a qualidade da pulverização da RPA, montou-se um experimento, em condições de laboratório, realizando-se aplicações de água em alvos artificiais, ou seja, etiquetas hidrossensíveis.

Na avaliação da faixa útil de aplicação, montou-se um experimento em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x7, três alturas de voo (1,0; 2,0 e 3,0 m) e 7 etiquetas distribuídas horizontalmente à direção do voo, espaçadas entre si 0,50 m (-1,5; 1,0; -0,5; 0,0; +0,5; +1,0 +1,5 m), totalizando uma faixa de avaliação de 3 m (Figura 12). Todo o procedimento foi repetido quatro vezes, totalizando 84 unidades amostrais.

Figura 12 – Avaliação da qualidade da aplicação



As pulverizações foram realizadas tomando-se como referência a posição central da faixa de avaliação (0,0). Padronizou-se o sinal negativo e o positivo às etiquetas posicionadas ao lado esquerdo e direito, respectivamente, do sentido do voo (Figura 13).

Figura 13 - Etiquetas alinhadas em barra para a pulverização de água



A velocidade média de deslocamento do RPA durante as avaliações foi de 20 km h^{-1} .

As pontas de pulverização utilizadas da marca Jacto®, modelo JD 12P, apresentaram vazão média de líquido de $0,160 \text{ L min}^{-1}$.

A temperatura do ar no momento da pulverização foi de 25° C , umidade relativa de 45% e velocidade do vento de 12 km h^{-1} .

Como a RPA é controlada remotamente, de forma manual, para se ter uma aplicação na altura correta, foi colocada uma baliza ao lado das etiquetas (Figura 14).

Figura 14- Baliza para referência na altura de voo da pulverização



Após o alinhamento das etiquetas e a colocação da baliza como referência, foram realizadas as pulverizações (Figura 15) e (Figura 16).

Figura 15 - Etiqueta hidrossensível após pulverização



Figura 16 - RPA alinhando com a etiqueta central para realizar a pulverização



3.6 Análise das etiquetas hidrossensíveis

Após as pulverizações, as etiquetas foram devidamente identificadas quanto à posição da etiqueta, à altura da pulverização e à repetição da pulverização.

As etiquetas foram fotografadas e analisadas com o auxílio do Software para análise de imagens ImageTool 3.0®. Determinaram-se os parâmetros técnicos da pulverização (DMN, DMV, CH, Densidade de gotas, SPAN e % de cobertura do alvo). Após as análises das etiquetas, calculou-se a faixa útil de aplicação de acordo com as diferentes alturas de voo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise das etiquetas pulverizadas

O parâmetro DMN teve variações conforme altura de voo e posições das etiquetas. Observou-se que, na altura de 1 m, a etiqueta (+1,50 m) apresentou menor diâmetro, e a etiqueta (+0,50 m), maior diâmetro. As demais não apresentaram diferenças significativas quanto aos seus resultados. Nas alturas de voo de 2 e 3 m, também não houve diferenças significativas quanto aos seus valores (Tabela 1).

Tabela 1 – Diâmetro da mediana numérica (DMN) das gotas de pulverização através de uma RPA em diferentes alturas de voo

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	70,4 Aab	91,2 Aab	125,8 Aab	198,9 Aab	233,8 Ab	89,8 Aab	53,1 Aa
2	170 Aa	171,7 Aa	85,38 Aa	202,7 Aa	137,7 ABa	62,7 Aa	46,1 Aa
3	130,1 Aa	129,8 Aa	176,7 Aa	48,8 Ba	60,3 Ba	42,8 Aa	45,4 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que, no presente ensaio, o parâmetro DMN variou entre 42,8 e 202,7 μm . Diversos aspectos durante a aplicação de agrotóxicos podem influenciar o valor desse parâmetro, sendo que, no presente estudo, observaram-se variações principalmente pela posição da etiqueta e altura do voo. Na avaliação dos parâmetros técnicos da pulverização, o parâmetro DMN deve ser analisado em conjunto com os demais parâmetros, corroborando Chechetto *et al.* (2012), que citam que o DMN associado ao DMV é um bom parâmetro para se analisar a homogeneidade do tamanho de gotas.

Com relação ao parâmetro DMV, na altura de 1 m, os seus valores foram menores nas etiquetas (-1,50 m, -1,00 m, e +1,50 m). As etiquetas (0,0 m e +0,50) apresentaram maiores diâmetros, e as etiquetas (+1,00 m e -0,50 m), diâmetros intermediários em relação às demais. Na altura de 2 metros, obtiveram-se menores diâmetros nas etiquetas do lado direito (+1,00 m e +1,50 m); as etiquetas (-1,50 m, 0,0 m e +0,50 m) evidenciaram um DMV maior que as anteriores, mas menor que as etiquetas (-0,50 m e -1,00 m). A altura de 3 m foi a que revelou maior variação conforme a posição das etiquetas, tendo menores diâmetros nas etiquetas do

lado direito (+1,00 m e +1,50 m), e esse diâmetro passou a aumentar da direita para a esquerda até a etiqueta (-1,00 m), sendo que, na etiqueta (-1,50 m), na borda esquerda, o valor diminuiu, porém foi maior que nas etiquetas da outra borda (Tabela 2).

Tabela 2 - Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) das gotas de pulverização através de uma RPA em diferentes alturas de voo.

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	77,3 Aa	104,1 Aa	156,8 Aab	328,2 Ab	302,3 Ab	167,6 Aab	56,9 Aa
2	227,1 Bab	272,8 Bb	304,4 ABb	231,2 Aab	204,1 ABab	53,3 Aa	56,8 Aa
3	252,1 Bbc	353,5 Bc	363,2 Bc	248,7 Aabc	64 Bab	59,7 Aa	69,4 Aab

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Conforme a classificação das pulverizações, de acordo com o tamanho de gotas (Tabela 3), relatado por (CHAIM, 2009), observaram-se gotas classificadas desde aerossol até uma pulverização média.

Tabela 3 - Classificações das nuvens de gotas segundo DMV

Diâmetro μm	Classificação
<50	Aerossol
50-100	Neblina
100-200	Pulverização Fina
200-400	Pulverização Média
>400	Pulverização Grossa
>500	Garoa

Fonte: (CHAIM, 2009)

O tamanho de gotas na pulverização de agrotóxicos é um dos parâmetros mais importantes a ser avaliado, uma vez que determina o potencial risco de deriva, potencial risco de perdas por escorrimento, % de cobertura do alvo e densidade de gotas. Na avaliação realizada, constatou-se que houve tendência de gotas com maior DMV serem depositadas nas etiquetas centrais, reduzindo-se o valor deste parâmetro nas extremidades da faixa avaliada. Essas variações podem ter sido ocasionadas pelo vento lateral presente no momento da pulverização, ocasionando o arraste das gotas menores para as extremidades. Além disso, em relação às gotas maiores, existe menor influência meteorológica no momento da deposição da gota.

Costa *et al.* (2007) relatam que gotas muito finas propiciam maior cobertura do alvo, mas tendem a ser levadas facilmente pelo vento (deriva).

Quanto ao coeficiente de homogeneidade, na altura de 1 m, não houve variação em relação a esse parâmetro, tendo estatisticamente gotas do mesmo padrão. Já na altura de 2 m, esse coeficiente aumentou na etiqueta (-0,50 m), com diminuição na etiqueta (+1,00 m). As demais etiquetas não diferiram estatisticamente seus valores. Na altura de 3 m, as etiquetas variaram entre si, mas não apresentaram diferenças estatisticamente (Tabela 4).

Tabela 4 – Coeficiente de homogeneidade (CH)

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	1,2 Aa	1,1 Aa	1,3 Aa	1,7 Aa	1,3 Aa	3,1 Aa	1,1 Aa
2	1,41 Aab	4,3 Aab	9,3 Bb	1,3 Aab	4,4 Aab	0,8 Aa	1,3 Aab
3	4,9 Aa	7,8 Aa	5,7 Aba	6,9 Aa	1,1 Aa	1,5 Aa	2 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Com esses dados do coeficiente de homogeneidade, temos uma referência sobre a variação no tamanho das gotas. Resultados mais próximos de 1 são mais homogêneos quanto ao seu espectro. Podemos observar que a altura de 1 m foi a que menos apresentou variações em relação ao coeficiente.

A maioria dos dispositivos usados para pulverização não consegue produzir gotas de um único tamanho. Há, portanto, numa pulverização convencional, uma variação do tamanho das gotas referida como "espectro de gotas", sendo importante compreendê-lo em sua relação com recuperação pelo alvo (CHAIM, 2009). Portanto, para a avaliação da qualidade da pulverização, além do tamanho de gotas, deve-se analisar a homogeneidade do espectro.

O coeficiente de homogeneidade também pode variar de acordo com as pontas de pulverização. Massola *et al.* (2018), em seu trabalho, compararam pontas, mostrando que algumas apresentam melhores resultados sobre as outras em relação ao coeficiente.

Com relação à % de cobertura do alvo, observou-se que, na altura de 1 m, a porcentagem de cobertura foi maior nas etiquetas (0,0 m e +0,5 m), em relação a outras na faixa avaliada. A RPA teve como referência de pulverização a etiqueta (0,0 m), e, como nessa altura a pulverização está mais próxima das etiquetas, houve a tendência da deposição de gotas ocorrer mais próxima da posição 0,0. Na altura de 2 m, a porcentagem se manteve sem muitas variações, não havendo deposição na etiqueta da borda direita (+1,50 m), e uma porcentagem maior na etiqueta (-0,50 m). As demais etiquetas apresentaram valores de porcentagem sem variação estatística entre elas. Já na altura de 3 m, constatou-se que não houve deposição nas 3 etiquetas da borda direita (+0,50 m, +1,00 m, e +1,50 m). Na etiqueta (0,0 m) até a posição (-

1,0 m), houve aumento na densidade de gotas, diminuindo-se a porcentagem na etiqueta da borda esquerda (-1,50 m) (Tabela 5).

Tabela 5 – Porcentagem de cobertura de gotas pulverizadas pela RPA em diversas alturas de voo

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	0,0 Aa	0,2 Aa	0,8 Aa	3,6 Ab	2,7 Ab	0,1 Aa	0,0 Aa
2	0,9 ABab	1,3 Aab	1,8 Ab	0,7 Bab	0,2 Bab	0,5 Aab	0,0 Aa
3	1,6 Babc	2,7 Bc	1,8 Abc	0,3 Bab	0,0 Ba	0,0 Aa	0,0 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

A porcentagem de cobertura das gotas pulverizadas é um parâmetro muito importante para se saber a deposição das gotas e avaliar a qualidade da aplicação. Ahmad *et al.* (2020), em um experimento empregando um veículo aéreo não tripulado, relataram porcentagens de cobertura de 36,19%; porém, foi empregado um maior volume de calda, o que influenciou diretamente na porcentagem de cobertura.

Shan *et al.* (2021), em aplicações com um Veículo Aéreo não Tripulado, também observaram que a porcentagem de cobertura aumentou com o aumento do volume de calda. Com um volume de calda de 7,5 L ha⁻¹, em uma velocidade de 10,8 km h⁻¹, identificou-se uma porcentagem de cobertura de 2,7%; já com uma vazão de 15 L ha⁻¹, a porcentagem de cobertura chegou a 4,6 %.

Quanto à densidade das gotas pulverizadas, também variou em relação à altura de pulverização. Na altura de 1 m, houve uma maior deposição na etiqueta central (0,0 m), diminuindo para as extremidades. Na altura de 2 m, essa variação mudou, com menores densidades nas etiquetas do lado direito (+0,50 m, +1,00 m e +1,50 m), aumentando para o lado esquerdo, com uma maior densidade na etiqueta (-0,50 m).

A densidade de gotas ideal ocorre com variações em relação ao produto e ao alvo a ser atingido.

Tabela 6 – Densidade de gotas pulverizadas pela RPA em diversas alturas de voo

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	1,9 Aa	5,5 Aab	14,1 Aabc	18,5 Ac	15,1 Abc	2,3 Aab	1,3 Aa
2	8,5 Aab	8,5 ABab	16,7 Ab	5,7 Bab	3,2 Ba	0,8 Aa	2,1 Aa
3	20,9 Bb	18,5 Bb	8,1 Aab	2,4 Ba	0,9 Ba	1,6 Aa	2,1 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Na densidade de gotas ideal, ocorrem variações em relação ao produto e ao alvo a ser atingido. Por exemplo, produtos como herbicidas sistêmicos direcionados ao solo ou às folhas permitem a utilização de gotas maiores, pois reduzem a deriva e não demandam alta cobertura. Por outro lado, para produtos de contato e para aqueles cuja sistemicidade é limitada, como alguns fungicidas e inseticidas, o uso de gotas menores e/ou maior volume de calda é necessário para que haja cobertura e penetração nos alvos (ANTUNIASSI, 2005).

Para alterar a densidade de gotas, deve-se ajustar o espectro de gotas e/ou volume de pulverização. Para um determinado volume de pulverização, quanto menor o diâmetro das gotas, maior a tendência de aumentar a densidade de gotas no alvo. Nas condições avaliadas, observou-se que a densidade de gotas variou entre 1,3 e 20,9 gotas cm⁻². Houve variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo; entretanto, tal variação ocorreu de forma aleatória. Andrade *et al.* (2018) avaliaram a aplicação de agrotóxicos por meio de RPA e também constataram variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo e o tipo de ponta hidráulica.

Wen *et al.* (2018) relatam, em seu trabalho, variações na densidade de gotas pulverizadas, o que pode ter sido causado pela velocidade do vento natural durante o experimento.

Na análise do parâmetro DV09, na altura de 1 m, observaram-se valores menores nas etiquetas das bordas e maiores nas etiquetas (0,0 m e +0,5m). Na altura de 2 m, constatou-se uma variação maior que nas demais, com diferenças em etiquetas mais próximas nas extremidades e nas etiquetas (-1,00 m, -0,50 m e 0,0 m).

Na altura de 3 m, o parâmetro foi menor no lado direito da pulverização, da etiqueta (+0,50 m) até a (+1,50 m), e maior para o lado esquerdo da pulverização, da etiqueta (0,0 m) até a (-1,50 m) - variação que também pode ter ocorrido em função do vento lateral presente no momento da pulverização.

Tabela 7 – Diâmetro volumétrico 90% (DV 09) das gotas pulverizadas em diversas alturas de voo

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	90,1 Aa	128,9 Aa	189,6 Aa	473,2 Ab	434,3 Ab	188,7 Aa	83,7 Aa
2	298,7 Bbc	337,1 Bc	392,6 Bc	349,6 Ac	247,1 Babc	116,8 Aab	77,8 Aa
3	339,4 Bb	451,8 Bb	448,7 Bb	328,6 Ab	85,8 Ca	107,7 Aa	94,2 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Wang *et al.* (2020) constataram variações referentes aos parâmetros DV09 e DV01 em relação ao aumento da pressão de trabalho. Conforme a pressão do sistema de pulverização diminuía, houve a tendência de se pulverizar gotas maiores, aumentando os diâmetros do parâmetro DV09 e também do DV01.

Martin *et al.* (2019) relatam outro fator que pode causar variação nos parâmetros de DV09 e DV01, que é a velocidade da pulverização, visto que, quanto maior a velocidade de pulverização da RPA, menor é a deposição sobre as etiquetas.

Em relação ao parâmetro DV01, com os dados das etiquetas representados na Tabela 8, observaram-se variações em relação à altura de pulverização e à posição das etiquetas. Na altura de 1 m, o DV01 foi menor nas etiquetas das bordas (-1,50 m e +1,50 m), aumentando para o centro, tendo um maior DV01 na etiqueta (+0,50 m). Na altura de 2 m, foi diferente - o DV01 foi menor ao lado direito, nas etiquetas (+1,00 m e +1,50 m), elevando-se o valor desse parâmetro para o lado direito da pulverização, com um maior DV01 na etiqueta (-1,00 m).

Já na altura de 3 m, o parâmetro DV01 não apresentou variação estatística entre as etiquetas.

Tabela 8 – Diâmetro volumétrico 10% (DV 01) das gotas pulverizadas em diversas alturas de voo

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	28,6 Aa	81,4 Aab	100,1 Aab	192,1 Aab	219 Ab	69,9 Aab	28,2 Aa
2	168,6 Bab	219 Bb	196,7 Aab	68,7 ABab	121,6 ABab	28,6 Aa	31,2 Aa
3	175,8 Ba	133,7 ABa	149,3 Aa	26,9 Ba	29,5 Ba	40,9 Aa	48,1 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Wall *et al.* (2020) também observaram variações de DV09 e DV01 em seu trabalho, concluindo que essa variação pode ser devido ao fluxo de ar decorrente do motor e também pelo fluxo de vento natural, que poderia estar cruzado.

No parâmetro SPAN, representado na Tabela 8, obtiveram-se resultados que mantiveram o coeficiente sem variação estatística.

Tabela 9 – Índice SPAN

Altura (m)	Posição da etiqueta (m)						
	-1,50	-1,00	-0,50	0,0	+0,50	+1,00	+1,50
1	0,78 Aa	0,6 Aa	0,59 Aa	0,87 Aa	0,69 Aa	0,91 Aa	0,94 Aa
2	0,56 Aa	0,42 Aa	0,66 Aa	1,71 Aa	0,83 Aa	1,62 Aa	0,8 Aa
3	0,65 Aa	0,76 Aa	0,83 Aa	2,35 Aa	0,85 Aa	1,25 Aa	0,55 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Com os resultados desse parâmetro, conseguimos uma referência sobre as variações nos tamanhos de gota, para auxiliar nas tomadas de decisões a respeito de quais produtos aplicar.

Ahmad *et al.* (2020) obtiveram resultados semelhantes no mesmo parâmetro, pois, comparando as altura de voo, ambos tiveram pequenas variações. No trabalho de Martin *et al.* (2019), os dados do parâmetros de SPAN variaram em relação ao modelo de pontas hidráulicas utilizado.

4.2 Viabilidade Econômica

O custo de produção total da Aeronave Remotamente Pilotada desenvolvida foi de R\$ 3.568,50 (Tabela 8).

Tabela 08 – Custo de produção

Custo de Produção				
Material	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
Chapa poliestireno 5 mm	1	Chapa	R\$ 35,00	R\$ 35,00
Isopor t7	1	Chapa	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Adesivo termoplástico	8	Bastões	R\$ 2,00	R\$ 16,00
Fita adesiva	4	Rolos	R\$ 12,00	R\$ 36,00
Trem de pouso	1	Unidade	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Vareta de fibra de vidro	5	Unidades	R\$ 2,50	R\$ 12,50
Elástico de fixação	4	Metros	R\$ 4,00	R\$ 8,00
Servomotores	4	Unidades	R\$ 40,00	R\$ 120,00
Motor turnigy 3536	1	Unidade	R\$ 230,00	R\$ 230,00
Controlador de velocidade 60A	1	Unidade	R\$ 220,00	R\$ 220,00
Bateria	4	Unidades	R\$ 200,00	R\$ 800,00
Radiocontrole Turnigy 9X	1	Unidade	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Carregador de baterias Turnigy	1	Unidade	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Bomba CFACIL robótica	1	Unidade	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Barra de Pulverização Jacto 500	1	Unidade	R\$ 65,00	R\$ 65,00
Mangueiras	2	Metros	R\$ 8,00	R\$ 16,00
Mao de Obra	5	Dias	R\$ 150,00	R\$750,00
TOTAL				R\$3568,50

O equipamento desenvolvido foi utilizado exclusivamente para a aplicação de agrotóxicos. Entretanto, outras adaptações podem ser realizadas para sua utilização na agricultura, como para acoplar um sistema de aquisição de imagens para futuras análises e/ou monitoramento de lavouras empregando-se os sistemas remotos. Embora deva ser realizado o investimento inicial para aquisição ou construção de uma ARP, diversas atividades e benefícios podem ser obtidos com o equipamento. Assaiante *et al.* (2020) relatam que, além da pulverização, podem-se realizar o mapeamento de pontos de irrigação, estimativa de áreas com erosão do solo, focos de incêndio, exploração de áreas de difícil acesso, áreas para abertura de estradas.

4.3 Altura de pulverização e faixa útil

Com as diversas informações, chegou-se a um resultado de que a melhor altura de pulverização é de 1 m, levando-se em consideração uma faixa útil de pulverização de 1 m de largura. Dentro dessas condições, a RPA não apresentou grandes variações nas pulverizações comparando-se as demais alturas.

5 CONCLUSÃO

A Aeronave Remotamente Pilotada desenvolvida apresentou resultados satisfatórios, com grande potencial para utilização.

De acordo com os resultados obtidos, a altura de pulverização mais eficiente foi de 1 m, haja vista que constatou melhor uniformidade na distribuição de gotas sob o alvo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, Fiaz; QIU, Baijing; DONG, Xiaoya; MA, Jing; HUANG, Xin; AHMED, Shibir; CHANDIO, Farman Ali. 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**. Zhenjiang, v 172, article 105350, 2020.

ANAC, 2017, **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 94**. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. Emenda 00, Brasília, 03 mai, 2017.

ANDRADE, Joissy Mayara de Almeida; PRETTO, Denis; CARVALHO, Eglairto; BOLONHEZI, Denizart; SCARPELLINE, José Roberto; VIEIRA, Bruna Cardoso. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Revista Ingeniería y Región**. Neiva, v 20, p 73-78, 2018.

ANTUNIASSI, Ulisses Rocha. **Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos**. 2005. Trabalho apresentado no V Congresso Brasileiro de Algodão, FCA/UNESP, Botucatu/SP, 2005.

ASSAIANTE, Bianca Adriana Souza; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v 17, n. 1, p. 444 – 455, 2020.

BAESSO, Murilo Mesquita; TEIXEIRA, Mauri Martins; RUAS, Renato Adriane Alves; BAESSO, Raquel Couto Evangelista. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014.

BAIRD, Colin. **Chemistry in your life**. 2. ed. New York: W. H. Free- man, 2006.

BAYER, Tania; COSTA, Ivan; LENZ, Giuvan; ZEMOLIN, Carla; MARQUES, Leandro; STEFANELO, Mauricio. Equipamentos de Pulverização Aérea e Taxas de Aplicação de Fungicida na Cultura do Arroz Irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v 15, n. 2, p.192-198, 2011.

BOHMONT, Bert. **The new pesticide user's guide**. 1. ed. Fort Collins: B. & K. Enterprises, 1981. 402 p.

CHECHETTO, Rodolfo Glauber; ANTUNIASSI, Ulisses Rocha. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v 27, n. 3, p.130-142, 2012.

CHRISTOFOLETTI, José Carlos. 1999. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo, Boletim Técnico n.5, jun, 1999.

CHAIM, Aldemir. **Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

CHAIM, Aldemir. **História da pulverização**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999.

COSTA, Augusto Guerreiro Fontoura; VELINE, Edivaldo Domingues; NEGRISOLI, Eduardo; CARBONARI, Caio Antônio; ROSSI, Caio Vitagliano Santi; SILCA, Ferdinando Marcos Lima. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25. n.1, p. 203-210, 2007.

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues; REIS, Elton dos; SANTOS, Roberto de Oliveira. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1360-1366, 2006.

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues; TEIXEIRA, Mauri Martins; COURY, José Renato; FERREIRA, Lino Roberto. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

GAO, Junfeng; LIAO, Wenzhie; NUYTENS, David; LOOTENS, Peter; VANGEYTE, Jürgen; PIZURICA, Aleksandra; HE, Yong; PIETERS, Jan. Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Filadelfia, v.67, p. 43-53, 2018.

GIRALDELI, Ana Ligia. Drones na agricultura: Como eles te ajudam a lucrar mais. **Blog Aegro**. São Paulo, 5 abril. 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/drones-na-agricultura/> Acesso: 15 abril, 2021.

GONÇALVES, Patrícia Carla Teixeira. **Manual Zeneca de manuseio e aplicação para agrotóxicos**. 1. ed. São Paulo: Zeneca Agrícola, 1999.

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

MARINHO Daniel. Autorizações Para Voos de Vant. **Departamento de controle do espaço aéreo**, Força Aérea Brasileira, 12 fev. 2015 Disponível em: https://www.decea.gov.br/?i=midia-einformacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor.

MARTIN, Daniel; WOLDT, Wayne; LATHEEF, Mohamed. Effect of Application Height and Ground Speed on Spray Pattern and Droplet Spectra from Remotely Piloted Aerial Application Systems. **Drones**. Basileia, v 83, n. 4, 21 p., 2019.

MATTHEWS, Gillian. **The application of chemicals for plant disease control**. In: WALLER, Jim; LENNÉ, Jillian; WALLER, Sarah. Plant pathologist's pocketbook. London: CAB, P.345-53, 2002.

MASSOLA, Mateus Prolo; HOLTZ, Vandoir; MARTINS, Marcos Paulo de Oliveira; UMBELINO, Anderson da Silva; REIS, Elton Fialho. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.22, n.11, p.804-809, 2018.

MILLER, Paul; BUTLER ELLIS, M. Clare. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Bedford, v. 19, p. 609-615, 2000.

NEWCOME, Laurence. **Unmanned aviation: A brief history of unmanned aerial vehicles**. ed. 1. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.

PASSOS, Adriano Gonçalves; CAVALCANTI, Lucas Biazon; OLIVEIRA, Rafael Sato. **Projeto de veículo aéreo não tripulado (VANT) agrícola**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.

PERES, Frederico; MOREIRA, Josino Costa. **É veneno ou remédio - agrotóxicos, saúde e ambiente**. v. 21. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2003.

RASI, José Roberto. (2008). **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. 2008. Monografia em especialização - Faculdade de Engenharia Eliseu Maciel Departamento de Engenharia Rural. Pelotas, 2008.

SHAN, Changfeng; WANG, Guobin; WANG, Haihong; XIE, Yingjie; WANG, Huizheng; WANG, Shilong; CHEN, Shengde; LAN, Yubin. Effect of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. Pequin, v. 14, n .1, pag 74-81, 2021.

SILVA, Célia Maia Maganhoto; FAY, Elisabeth Franciscone. **Agrotóxicos e ambiente**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SILVA, José Roselito Carmelo; DE ARAÚJO, Charles Silva; REBOUÇAS, Darler Junior Pereira. O uso de aeronave remotamente pilotada nas aulas práticas de estudo do relevo e de impactos ambientais. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, Manaus, v. 4, n. 08, 2018.

SIMÕES, Margareth; SOLER, Luciana; PY, Hesley. **Tecnologias a serviço da sustentabilidade e da agricultura**. Boletim informativo da SBCS. Mai-ago, 2017.

SINDAG, 2017. **Relatório de Atividades – Brasil 2016**. Disponível em: <http://sindag.org.br/wp-content/uploads/2016/12/SINDAG-Relatorio-de-Atividades-Abril2016.pdf>. Acesso em: 02/04/2021.

SUMNER, Paul; SUMNER, Steven. **Comparison of new drift reduction nozzles**. 1. ed. Saint Joseph: ASAE, 1999.

TEIXEIRA, Mauri Martins. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica**. 1997. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrônomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 1997.

TSAI, Ming-Yi; ELGETHUN, Kai; RAMAPRASAD, Jaya; YOST, Michael G.; FELSOT, Allan S.; HEBERT, Vincent R.; FENSKE, Richard A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 6194-6203, 2005.

VERGER, Aleixandre; VIGNEAU, Nathalie; CHÉRON, Corentin; GILLIOT, Jean-Marc; COMAR, Alexis; BARET, Frédérick. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops. **Remote Sensing of Environment**, Barcelona, v. 152, p. 654-664, 2014.

WANG, Guobin; HAN, Yuxin; LI, Xuan; ANDALORO, John, CHEN, Pengchao; HOFFMANN, W. Clint; HAN Xiaoqiang; CHEN Shengde; LAN Yubin. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of the Total Environment**, Riverside, v. 737, 13 pg., 2020.

WEN, Sheng; ZHANG, Quanyong; DENG, Jizhong; LAN, Yubin; YIN, Xuanchun; SHAN, Jian. Design and Experiment of a Variable Spray System for Unmanned Aerial Vehicles Based on PID and PWM Control. **Applied Sciences**. Basel, v. 8, 22 p. 2018.

WOMAC, Alvin; GOODWIN, Jill; HART, Willian. **Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles**. 1. ed. Saint Joseph: ASAE, 1997.