

MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

**AVALIAÇÃO DA FAIXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO MODELO DE
AERONAVE E VOLUME DE CALDA APLICADO**

Botucatu

2021

MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

**AVALIAÇÃO DA FAIXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO MODELO DE
AERONAVE E VOLUME DE CALDA APLICADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Botucatu

2021

A467a Althman, Michael Patrick Ferreira
Avaliação da faixa de deposição em função do modelo de aeronave e volume de calda aplicado / Michael Patrick Ferreira Althman. -- Botucatu, 2021
63 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. Aplicação aérea. 2. Tecnologia de aplicação. 3. Inspeção da faixa de deposição. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

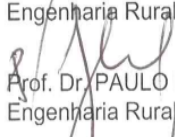
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DA FAIXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO MODELO DE AERONAVE E VOLUME DE CALDA APLICADO

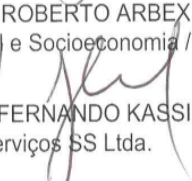
AUTOR: MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Pesquisador Dr. FERNANDO KASSIS CARVALHO (Participação Virtual)
./ AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Botucatu, 08 de setembro de 2021

À Deus;

Aos meus avós;

Aos meus pais;

Aos meus irmãos; e

À toda minha família e amigos.

Pelo amor, apoio e compreensão neste e em todos os momentos de minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por sempre estar ao lado. Aos meus avós e pais, por sempre me apoiarem nas minhas escolhas e serem exemplo de caráter e humildade.

Aos meus irmãos, por todos os incentivos e admiração.

Ao professor Dr. Ulisses Rocha Antuniassi pela orientação e apoio durante todo o período da minha pós-graduação, por todo ensinamento e pela confiança.

Aos membros da banca Prof. Dr. Paulo Arbex e Dr. Fernando K. Carvalho pelo comprometimento em participar da minha dissertação de mestrado e pelas sugestões apresentadas para a melhoria dessa pesquisa.

À equipe da AgroEfetiva (Dr. Alisson A. Mota, Dr. Fernando K. Carvalho, Dr. Rodolfo G. Chechetto) pela amizade, pelo exemplo profissional, ensinamentos diários e por todas as oportunidades de viagens e crescimento profissional.

À minha equipe de trabalho (Adevair, Vitor R., Márcio, Matheus, Dante, Alexandre, Gabriel, Willis, P. Bruno, Tiago, Laryssa, Ariane, Danielle, Gustavo P.) que estiveram comigo em toda essa jornada de aperfeiçoamento profissional e pessoal que contribuíram com este trabalho, e sempre estiveram dispostos a dar o melhor e ajudar.

Às pessoas incríveis e inesquecíveis, que foram presentes de Deus nessa fase de mestrado Gustavo R., Saulo G., Jéssica S., Andréia P., Vicente C., Vitor C., Luiz H., Flávio M.

Ao Programa de Pós-Graduação Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Rural e a todos os funcionários e colaboradores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Campus de Botucatu, por ter me acolhido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Com passar dos anos a modalidade de aplicação aérea está cada vez mais usual e necessária para aplicar os produtos fitossanitários no combate às pragas, doenças e plantas daninhas. Os aviões agrícolas podem ser dimensionados e equalizados de acordo com as características técnicas das aplicações, oferecendo uma excelente qualidade na aplicação e ao mesmo tempo um elevado rendimento operacional que garantem maior eficiência das aplicações aéreas. O objetivo da pesquisa foi avaliar a faixa de deposição de diferentes modelos de aeronaves agrícolas em função do volume de calda aplicado. Foram analisadas 133 configurações em 62 aeronaves agrícolas em 7 estados brasileiros em eventos denominados “Inspeções de Faixa de Deposição (IFD)”, o qual utiliza o método de espectrofotometria de fio baseada na norma ASAE S386.2 (ASAE, 2018). Para desenvolver uma análise exploratória dos dados, estes foram distribuídos por marca e modelos de aeronaves, dentro de cada modelo estudou-se o volume de aplicação, separando-o em classes de 0 a 10, 11 a 20, 21 a 30 L ha⁻¹ e a faixa deposição efetiva. Aplicou-se a análise de componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as correlações entre elas. Dos modelos de aeronaves avaliados, o AT-502 proporcionou maior faixa de deposição efetiva com 30 a 35 metros de largura, em seguida o modelo AT-402 obteve uma faixa de 25 a 30 m e modelo nacional o Ipanema 203 obteve uma faixa de deposição na escala de 20 a 25 m. Ipanema 202 e Cessna AG-188 faixa efetiva entre 15 e 20 m de largura. O aumento da faixa de deposição também está relacionado ao menor volume de aplicação, onde os volumes de aplicação menor (0 – 10 L ha⁻¹), proporciona-se maiores larguras de faixas e o oposto é inversamente proporcional, isso se replica para todos os modelos analisados.

Palavra-chave: aplicação aérea; inspeção da faixa de deposição; tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

Over the years, the aerial application modality has become more and more common and necessary to apply phytosanitary products to combat pests, diseases, and weeds. Agricultural aircraft can be dimensioned and equalized according to the technical characteristics of the applications, offering excellent quality in the application and at the same time a high operational efficiency that guarantee greater efficiency in aerial applications. The objective of the research was to evaluate the effective swath width of different models of agricultural aircraft as a function of the spray volume applied. A total of 133 configurations in 62 agricultural aircraft in 7 Brazilian States were analyzed in so-called "Effective swath width Inspection system (IFD)", which uses the string spectrophotometry method based on the ASAE S386.2 standard (ASAE, 2018). To develop an exploratory analysis of the data, these were distributed by manufacturer and models of aircraft, within each model studied the spray volume, split it into classes from 0 to 10, 11 to 20, 21 to 30 L ha⁻¹ and the effective swath width. A main component analysis was applied in order to quantify the importance of each variable in the data variability and the correlations between them. The AT-502 provided the largest effective swath width with 30 to 35 meters; the AT-402 model generated an effective swath width of 25 to 30 m; the Ipanema 203 generated an effective swath width from 20 to 25 m; and both the Ipanema 202 and the Cessna AG-188 generated an effective swath width between 15 and 20 m. The increase in the effective swath width is also related to lower values of spray volume. Lower spray volumes (0 - 10 L ha⁻¹) provides larger swath widths and the opposite is true.

Keywords: aerial application; application technology; inspection of the effective swath width.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Tecnologia de aplicação.....	17
2.2	Aeronaves agrícolas no Brasil.....	19
2.2.1	Aeronaves de fabricação nacional.....	20
2.2.2	Aeronaves de fabricação internacional.....	21
2.3	Faixa de deposição.....	25
2.3.1	Coeficiente de variação (%).....	27
2.4	Análise de faixa de deposição.....	30
2.4.1	Papel hidrossensível (PHS).....	30
2.4.2	Método quantitativo.....	31
2.4.2.1	<i>Lâmina de vidro</i>	31
2.4.2.2	<i>Deposição em fio</i>	32
2.5	Volume de aplicação.....	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1	Coleta de dados.....	35
3.2	Condução do ensaio.....	37
3.3	Análise estatística.....	42
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	44
5	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A cada ano tem-se uma preocupação em alcançar maior produtividade no campo, e uma das formas de garantir essa produtividade é a utilização de produtos fitossanitários no combate às pragas, doenças e plantas daninhas, as quais são prejudiciais para a formação e a produção das culturas. Da mesma forma, os produtores estão cada vez mais preocupados com o rendimento operacional dos pulverizadores, ou seja, obter maior área tratada em um curto espaço de tempo com o objetivo de controlar a rápida propagação das pragas, doenças e plantas daninhas. E uma das formas de alcançar esse rendimento é a utilização da aeronave agrícola como ferramenta de aplicação, a qual está se tornando cada vez mais importante no setor agrícola do país.

A aviação agrícola tem obtido destaque economicamente, em função disso, a segunda maior frota de avião agrícola do mundo é pertencente ao Brasil com 2352 aeronaves, ficando atrás dos EUA que ocupa a 1ª posição no ranking (SINDAG, 2020). Dessa maneira, torna-se mais evidente que no agronegócio o avião agrícola é uma importante ferramenta de aplicação no país, principalmente nos estados em que a área agrícola cresce gradativamente, necessitando utilizar melhores práticas agrícolas para a sustentabilidade, maior ergonomia de trabalho e praticidade na operação reduzindo assim, o tempo e os custos.

O avião agrícola é uma modalidade de aplicação de defensivos agrícolas, na qual está relacionado diretamente com a forma, qualidade e a uniformidade com que os produtos são aplicados. Nesse contexto, o uso correto da tecnologia de aplicação é essencial para otimizar o trabalho dessa modalidade de aplicação, assim, favorecerá o sucesso do controle fitossanitário e protegerá efetivamente o meio ambiente.

Um dos fatores para alcançar o sucesso no controle fitossanitário é a escolha adequada do volume de calda a ser empregado, tendo em vista que o volume de calda é um fator que pode influenciar na faixa de deposição. Há uma tendência em reduzir o volume de calda utilizado com objetivo aumentar rendimento operacional das aeronaves agrícolas.

Do mesmo modo, a largura da faixa e a velocidade de aplicação podem contribuir no rendimento operacional e econômico. Portanto, as aplicações aeroagrícolas, quando bem configuradas atingem o controle fitossanitário satisfatório como qualquer outra modalidade de aplicação.

Assim, um fator que deve ser sempre levado em consideração é o coeficiente de variação da faixa de deposição, e para isso, é preciso obter a faixa total de aplicação, também conhecida como perfil total de deposição. A faixa efetiva de deposição é considerada um perfil uniforme de distribuição dentro da faixa total, quando há sobreposição das faixas. Para se obter uma faixa de deposição satisfatória, deve-se, inter-relacionar-se os parâmetros operacionais do avião agrícola.

No entanto, existem poucas pesquisas com essa abordagem de aeronaves agrícolas no Brasil por se tratar da faixa de deposição e volume de calda utilizado. Com isso, objetivo deste trabalho foi avaliar a faixa de deposição em função do volume de calda aplicado, de diferentes modelos de aeronaves agrícolas, para identificar um padrão de operação para cada um dos modelos analisados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas está envolvida em todo o processo de produção agrícola. Existem fatores que quando interagem de maneira correta elevam a qualidade da aplicação e melhoram o controle satisfatório dos alvos. Dentre esses fatores, destacam-se os parâmetros do espectro de gotas, incluindo o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a amplitude relativa (AR) e o percentual volumétrico de gotas com diâmetro inferior a 100 μm (V100), assim como as condições meteorológicas. Estes fatores são essenciais para elevar a qualidade do processo (CUNHA, 2003; CUNHA e RUAS, 2006).

Os diferentes tamanhos de gotas gerados para uma mesma ponta hidráulica ou atomizador rotativo é denominado espectro de gotas (ZAIDAN, 2012; ZAMBIANCO, 2013). A determinação do espectro gerado através das pontas e atomizadores é imprescindível para o sucesso na aplicação de defensivos agrícolas, pois se trata de um fator que possui influência sobre a faixa de deposição, contribuindo diretamente na largura e uniformidade da mesma (ANTUNIASSI et al., 2009).

Com o objetivo de avaliar a quantidade mínima de produto a ser aplicado sobre o alvo existe um parâmetro que permite quantificar as gotas depositadas, esse fator é expresso pela densidade de gotas, ou seja, quantidade numérica de gotas que são depositadas no alvo (gotas/ cm^2). Além desses fatores, é importante relacionar o tamanho das gotas durante a aplicação, cada pulverização produz um espectro de gotas heterogêneo. O DMV é o parâmetro que determina o volume mediano volumétrico do espectro e classifica o tamanho entre classes de gotas finas, medias ou grossas dentro de cada configuração de aplicação, seja esta terrestre ou aérea (FREITAS et al., 2005; CUNHA et al., 2007; VIANA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011).

A partir do ajuste realizado na aeronave selecionando a técnica de aplicação para cada situação é o que irá diferenciar a qualidade da aplicação. Posteriormente à aplicação, a cobertura formada é importante de ser identificada, pois ela representa a porcentagem da área coberta pelo produto caracterizando a efetividade de determinada pulverização (CUNHA et al., 2007).

No decorrer dos anos a tecnologia de aplicação tem se tornado mais importante na agricultura e na aplicação de produtos fitossanitários, principalmente na aplicação por meio de aviões agrícolas. Com aumento de área agricultável e a demanda de produção de alimentos, aumentou-se a utilização da aplicação aérea para o controle fitossanitário (BERNA, 2017).

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários está relacionada diretamente com o processo de produção agrícola. A utilização incorreta desses produtos pode reduzir a eficiência da tecnologia em fatores químicos, mecânicos e ambientais. A tecnologia de aplicação é responsável por distribuir da maneira correta e mais uniforme o produto sobre o alvo, fornecendo menor perda possível para a preservação do meio ambiente e saúde do trabalhador, sempre visando as boas práticas agrícolas (ANTUNIASSI et al., 2017; ANTUNIASSI; CUNHA, 2019).

A aplicação de produtos fitossanitários é uma prática importante no campo, pois aumenta a sanidade e a qualidade da lavoura. Dessa forma, depara-se com uma tendência de utilizar tais produtos de maneira mais concentrada, a fim de aumentar a capacidade operacional das propriedades visando técnicas de baixo volume. E ainda, para se obter o sucesso da aplicação é necessário utilizar-se de aeronaves com alta eficiência na distribuição do produto e uniformidade das gotas depositadas sobre o alvo (CAMARGO, 2006; BUENO, 2011; ANTUNIASSI, 2007).

A tecnologia de aplicação depende da utilização de diversos fatores que são empregados no momento da aplicação, um desses é o conjunto de parâmetros operacionais adequado. Na aplicação aérea, um dos parâmetros operacionais é a avaliação da faixa de deposição, que é o padrão de distribuição na linha de voo e que fornece informações vitais durante as aplicações, como por exemplo, os ajustes do equipamento realizando a adição ou remoção de bicos à barra de pulverização para melhorar a uniformidade do depósito (PARKIN; WYATT, 1982).

Desse modo, a aplicação de produtos fitossanitários utilizando aeronave agrícola oferece diversos fatores ajustáveis à uma pulverização de qualidade. Por esse motivo, pode-se fazer o controle em áreas de grande extensão e, ou controle emergencial em um curto espaço de tempo possibilitando a aplicação de produtos fitossanitários por meio de aeronaves agrícolas especializadas e devidamente configurada com dispositivos capazes de aplicar estes produtos (MATTHEWS; BATERMAN; MILLER, 2014; ANTUNIASSI, 2007). De acordo com CUNHA et al. (2011), a tecnologia de aplicação pode influenciar diretamente na produtividade da cultura quando utilizada

corretamente. Além disso, a baixa qualidade da aplicação de defensivos tem como consequência a perda de produtividade (CUNHA, 2008).

O sucesso de uma aplicação está relacionado à eficácia da aplicação e é influenciada pela seleção do equipamento, incluindo tipos de aviões, instrumentos e sistemas montados, pontas de pulverização hidráulicas ou atomizadores rotativos, ajuste do volume de calda, parâmetros operacionais (faixa de deposição, altura de voo, velocidade de aplicação e tamanho da barra de pulverização), condições ambientais favoráveis e momento correto da aplicação, devendo sempre levar em consideração as recomendações das boas práticas agrícolas (CARVALHO; CUNHA, 2019; ANTUNIASSI et al., 2017).

2.2 Aeronaves agrícolas no Brasil

As aeronaves especializadas são classificadas em asa rotativa e asa fixa, que são helicópteros e aviões, respectivamente. Atualmente, existem os drones de pulverização que são classificados também como rotativos e asa fixa. Considerando somente aeronaves agrícolas (aviões), o primeiro voo agrícola realizado no Brasil ocorreu em 19 de agosto de 1947 com o intuito de combater um ataque de gafanhotos na região de Pelotas no Rio Grande do Sul, utilizando uma aeronave de fabricação nacional que foi adaptada para operação no setor agrícola. Atualmente, as aeronaves agrícolas são específicas para o uso agrícola e compostas por diversas tecnologias, tanto no operacional quanto nos equipamentos de aplicação de produtos fitossanitários (SINDAG, 2020; OZEKI, 2006; WYNN, 2019; BAIIO; ANTUNIASSI, 2019; CARVALHO; CUNHA, 2019).

Segundo a ANAC (2020), Agência Nacional de Aviação Civil, a aviação agrícola consiste em proteger ou fomentar o desenvolvimento da agricultura em quaisquer de seus aspectos, mediante o uso de fertilizantes, semeadura, controle de pragas e doenças, aplicação de defensivos, povoamento de águas e quaisquer outras aplicações técnicas e científicas aprovadas.

Devido à vasta utilização que uma aeronave agrícola pode oferecer, essas aeronaves desempenham um papel fundamental no setor agrícola. Dessa forma, de acordo com SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola) a frota brasileira cresceu 3,16% no ano de 2020, um acréscimo de 72 aeronaves,

correspondendo a 3,16% (2352 aeronaves) mostrando que o setor está evoluindo no mercado brasileiro, atendendo 17 culturas em todo o país. (SINDAG, 2021).

Existem diversas marcas e modelos de aeronaves agrícolas em atividade no Brasil, sendo que 55,61% equivalem 1.308 aviões são de aeronaves de produção nacional e 44,39% equivalente à 1.044 aviões de produção internacional. Dessa maneira, a frota brasileira possui 2.352 aeronaves agrícolas (ARAÚJO, 2021).

2.2.1 Aeronaves de fabricação nacional

Os aviões agrícolas nacionais, teve seu início no final dos anos 1960. O Ministério da Agricultura brasileiro firmou contrato com a Embraer a fim de produzir no país uma aeronave agrícola. Com o objetivo de modernizar o setor ao disponibilizar novas técnicas de produção, além de gerar recursos para recém-criada fabricante. A aeronave foi projetada por engenheiros do Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA e testado na Fazenda Ipanema, no município de Sorocaba. A aeronave realizou seu primeiro voo em 1970 e foi batizada como Ipanema, em homenagem a fazenda.

Certificada em 1971 pela ANAC o primeiro modelo EMB-200 teve início de linha de produção em 1972. A Embraer fabricou os modelos EMB-200, EMB-200A, EMB-201 e EMB-201A, todas com a mesma fuselagem básica, sofrendo alterações principalmente no sistema de propulsão, motorização e comandos de voo.

A partir de 1980 com a compra da Indústria Aeronáutica Neiva, o modelo EMB-201A passou ser fabricado pela subsidiária, onde desenvolveu-se mais dois modelos o EMB-202 em 1991 e o EMB-202A em 2005, este tornando-se a primeira e única aeronave no mundo certificada movida a etanol.

A partir de 2006 a Neiva tornou-se a unidade Embraer Botucatu e a aeronave atualmente comercializada é o EMB-203 (FIGURA 1) lançada em 2015. Trata-se um avião agrícola monomotor a pistão de 320 HP, movida a etanol, com capacidade máxima de carga no hopper de 1050 litros e uma envergadura de 13,3 metros. Todas essas características oferecem uma versatilidade muito ampla na aplicação aérea, e uma vantagem econômica por ser um produto nacional. Essa aeronave permanece em produção há 43 anos e soma mais de 1.312 unidades vendidas (EMBRAER, 2021).

Figura 1 - Modelo de aeronave nacional Embraer Ipanema 203



Foto: Márcio Silva - 2021.

2.2.2 Aeronaves de fabricação internacional

A principal aeronave agrícola internacional é Air Tractor Figura 2, que é de uma empresa norte americana, com sede em Olney no Texas – EUA, criada em 1974, e que se consolidou a maior fabricante de aeronaves agrícolas do mundo, com mais de 3.600 unidades vendidas no mundo e cerca de 452 aeronaves estão no Brasil, representando 19,22% da frota nacional (ARAÚJO, 2021). Essas aeronaves foram desenvolvidas para aplicações em maiores aéreas, em operações que é necessário da carga no hopper e, portanto, maior rendimento operacional.

Atualmente a Air Tractor produz uma ampla opção de modelos como AT-402A, AT-402B, AT-502B, AT-502XP, AT-602 e AT-802A que são equipadas com motor turboélice (à reação), alimentados por querosene. Suas características variam como a potência varia de 550 HP, 1.514 litros no hopper e 15,54 metros de envergadura, no modelo de entrada até 1.350 HP; 3.028 litros no hopper e 18,06 metros de envergadura em seu maior modelo. Portanto, observa-se que todas essas características permitem atingir uma parcela do mercado brasileiro, além do que tem mostrado os levantamentos desta empresa (AIR TRACTOR, 2020).

Figura 2 - Modelo de aeronave internacional Air Tractor AT-502B



Foto: Michael Althman - 2020.

Em seguida, a fabricante de aeronaves agrícolas Thrush Aircraft Inc (Figura 3) é uma empresa norte americana, sediada na Albany na Georgia - EUA, criada em 1970. Atualmente, a fabricante tem uma representatividade de 1,96% na frota brasileira, contabilizando 46 aeronaves (ARAÚJO, 2021).

Esta possui uma variedade de modelos como 510P, 510G, 550P e 710P que também são equipadas com motor turboélice (à reação), alimentados por querosene, e suas características variam como a potência varia de 750 HP, 1.930 litros no hopper e 14,48 metros de envergadura, no modelo de entrada até por volta 1.220 HP; 2.687 litros no hopper e 16,46 metros de envergadura no seu maior modelo disponível. No mercado brasileiro estão em menor número, porém são populares no meio agrícola e concorrem diretamente com outros modelos com motorização turboélice (à reação) (THRUSH, 2020).

Figura 3 - Modelo de aeronave internacional Thrush 510G



Fonte: THRUSH AIRCRAFT (2021).

A fabricante da aeronave agrícola Cessna Aircraft Company (Figura 4), é uma empresa norte americana, que teve sua produção entre os anos 1966 e 1983. A empresa possui diversos modelos do avião Cessna A188 que incluem o AGtruck, AGhusky, AGwagon e AGpickup. Esses modelos são equipados com motores a pistão (combustão interna), e sua potência pode variar de 230 HP a 310 HP, a capacidade de litros no hopper varia 760 a 1.060 e uma envergadura em média de 12,70 m. A empresa foi bastante difundida no Brasil, permitindo uma participação do mercado representa 11,99% e que equivale a 282 aeronaves agrícola na frota total (ARAÚJO, 2021). Mesmo que sua fabricação tenha sido suspensa, os aviões em território nacional continuam atuantes na aplicação aérea.

Figura 4 - Modelo de aeronave internacional Cessna AG-188B



A empresa de aeronaves agrícolas Piper Aircraft (Figura 5), que tem sua origem nos EUA, começou sua produção em 1959 com término em 1981. Como as demais

aeronaves agrícolas a Piper possui uma vasta diversidade de modelos como AG-3, PA-25-150 Pawnee, PA-25-235 Pawnee B, PA-25-235 e PA-25-260 Pawnee C, PA-25-235 e PA-25-260 Pawnee D, teve sua produção até no ano de 1981, com 1981 aeronaves produzidas e no Brasil sua frota é de 158 aviões, a qual representa cerca de 6,72% da frota nacional e ainda é utilizada em aplicação agrícola (ARAÚJO, 2021).

Figura 5 - Modelo de aeronave internacional Pawnee PA-25-235

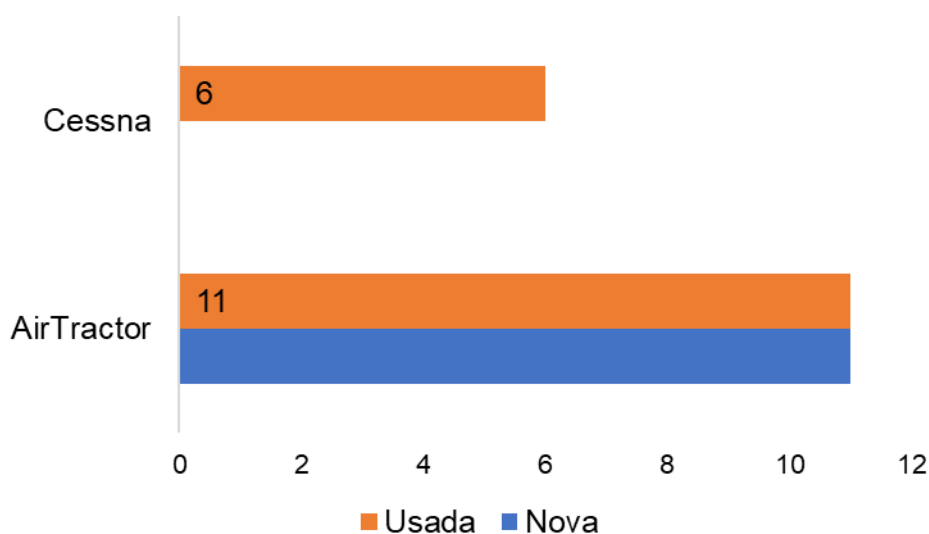


Fonte: EJ Escola aeronáutica civil (2021).

Os demais modelos internacionais como Bellanca, Hughes, Bell, Gippsland, Aircraft Parts, Ag-Cat Co, Chincul, Robinson, Laviasa, PZL e Ayres, todos esses fabricantes somados representam 4,5% da frota nacional equivalendo a 106 aeronaves (ARAÚJO, 2021). Existe um leque enorme quando se trata de aviões agrícolas, tanto na variedade de marcas, quanto na disponibilidade de modelos de aeronaves, por isso, se faz importante esta pesquisa sobre a aviação agrícola no Brasil.

De acordo com a (Figura 6) demonstra uma relação de aeronaves novas e usadas que são importadas do exterior, essas aeronaves importadas representam 45% número de aeronaves coletadas para essa pesquisa.

Figura 6 - Representação do número de aeronaves Internacionais que são importadas para Brasil.



2.3 Faixa de deposição

A faixa de deposição é um parâmetro básico do planejamento operacional eficiente da aplicação aérea, onde se depositam todas as gotas pulverizadas pela aeronave agrícola e é referida como faixa total e faixa efetiva de aplicação. Faixa de deposição total é a extensão, do sentido perpendicular ao deslocamento da aeronave, onde aconteceu a deposição da calda pulverizada, em apenas uma única passagem do avião (ROTH; WHITNEY; KUHLMAN, 1985).

A faixa efetiva é a largura de uma única passagem (aplicação) que inclui partes de sobreposições de outras passadas. Esta faixa efetiva deve ser dimensionada a partir das seguintes informações: tamanho da barra, volume de calda ($L\ ha^{-1}$), altura de voo, direção do vento, tamanho das gotas, direção da passagem de aplicação, velocidade do vento, condições meteorológicas, tipo de produto e velocidade da aeronave (ROTH; WHITNEY; KUHLMAN, 1985).

Dentre os aspectos mais importantes da aplicação aérea estão a correta uniformidade e a seleção da largura da faixa de deposição, a baixa uniformidade de distribuição da aplicação, a qual pode ocorrer a variação da dose durante a pulverização e a qualidade ser comprometida. Tendo resultados negativos, como o baixo controle fitossanitário resistência (CARVALHO; CUNHA, 2019).

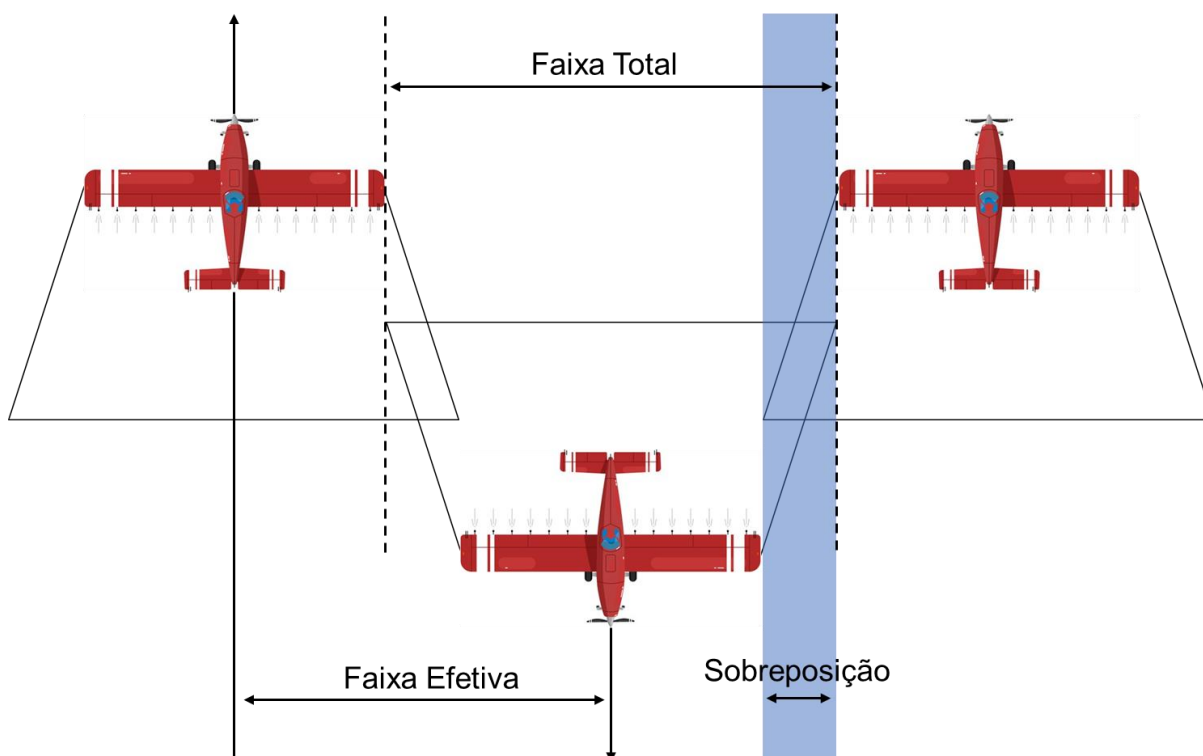
Por isso, preconiza a norma ASAE - American Society of Agricultural Engineers (ASAE S386.2, 2018) para teste padrão de deposição e calibração de equipamentos aéreos, que podem ser utilizados para os métodos de avaliação, são aqueles baseados na análise de deposição de gotas em lâminas de vidro e papel hidrossensível ou utilizando sistemas que medem a deposição em fios.

Conforme descrito anteriormente existem basicamente três métodos para determinar um padrão na faixa de deposição. Com isso, Fox et al. (2003) realizaram um ensaio, utilizando papéis hidrossensíveis (PHS), realizando a disposição dos PHS em uma linha de voo para medir o padrão da faixa de deposição e do mesmo modo, Bradley; Fritz e Martin (2020), realizaram um ensaio para determinar a faixa de deposição com veículos aéreos não tripulados (VANT), utilizando lâmina de plástico para coletar as gotas pulverizadas pela aeronave. Cada método apresenta vantagens e desvantagens, e a escolha de um deles deve ser realizada em função do custo, disponibilidade e facilidade de uso.

As extremidades da faixa total, no sentido da largura, apresentam menor deposição em relação ao centro da passada. Essa menor deposição nas extremidades não é suficiente para garantir a uniformidade da faixa aplicada e, portanto, deve-se determinar uma sobreposição, fazendo com que a deposição das passadas adjacentes sejam somadas, a fim de uniformizar a deposição final ao nível aproximado do centro da faixa deposição na faixa total aplicada e garantir a qualidade da aplicação. O afastamento entre duas faixas consecutivas, portanto, é menor que a largura da faixa deposição total, e é denominado faixa operacional efetiva (ABNT, 1988).

Segundo Carvalho e Cunha (2019), a faixa de deposição total é compreendida como a faixa onde os depósitos atingiram, independentemente da quantidade depositada, a faixa representa então a região máxima em que as gotas foram depositadas. A faixa de deposição efetiva encontra-se dentro da faixa total, onde os níveis de depósitos satisfazem as necessidades recomendadas. Esta faixa efetiva, na prática, confunde-se com a faixa de deposição total operacional que é obtida com as sobreposições decorrentes das diferentes passagens da aeronave. Dessa forma, é utilizado para determinar a largura da faixa de deposição o coeficiente de variação (CV), de acordo com os níveis de depósitos e sobreposição entre as passadas adjacentes é possível calcular o CV em % e determinar a largura da faixa efetiva. (Figura 7).

Figura 7 – Distância ao longo do padrão de depósito sobrepostos (separações da faixa total e efetiva) de aplicação de defensivos agrícolas



Fonte: Adaptado de Ozeki (2006).

2.3.1 Coeficiente de variação (%)

O Coeficiente de Variação – CV, é uma medida de valor estatístico, que na pulverização se aplica para determinar a uniformidade da distribuição dos depósitos pulverizados ao longo da faixa aplicada. Assim, uma das maneiras de otimizar as aplicações aeroagrícolas de defensivos, é analisar o CV, das faixas sobrepostos. O procedimento para determinar o CV são definidas tanto nas normas ASAE S341.1 e S386. Esses padrões usam o padrão de distribuição da linha central de uma faixa até a linha central do faixa adjacente, que quanto menor o valor expresso em porcentagem, mais homogênea é a distribuição da faixa de deposição da aeronave (PARKIN; WYATT, 1982; PRICE, 2018).

Equação 1 - O CV é o desvio padrão dos resultados dividido pela média. Expresso como uma porcentagem (ABNT, 2010).

$$CV = \frac{100(\sum(Xi - Xm)^2/(n - 1))^{1/2}}{Xm} \quad (1)$$

Onde:

CV = Coeficiente de Variação;

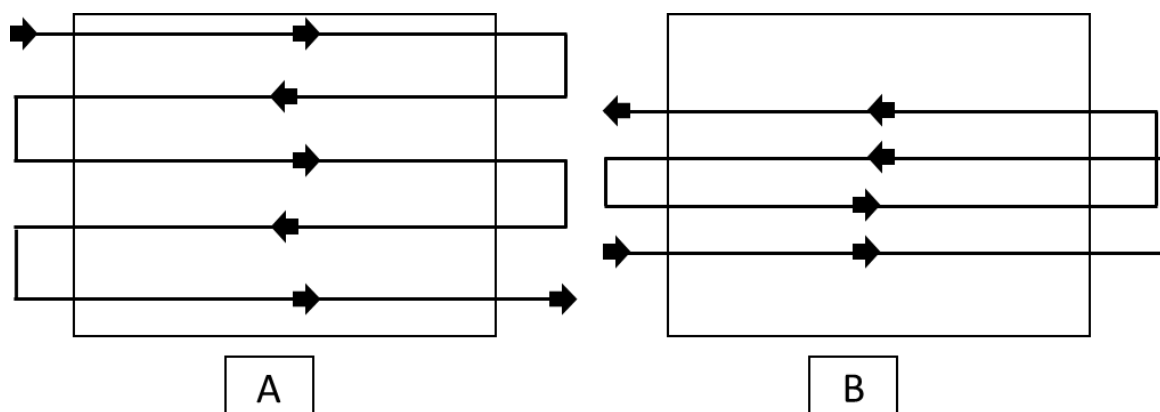
Xi= Depósito sobreposto;

Xm= média de depósitos sobrepostos; e

n = número de amostras no padrão de sobreposição.

Segundo os autores Yates (1962) e Reed e Wacker (1970), trabalharam com técnicas e procedimentos para mensurar e analisar padrões de distribuição. Do mesmo modo, os autores Glover e Baird (1973), Wolfe e Smith (1979), de Boer e Wiens (1983) e Broder (1983), usaram procedimentos para analisar equipamentos e seus padrões de distribuição. Glover e Baird (1973) ainda descreveram várias formas de padrão de distribuição da faixa (pirâmide, topo plano, oval, corcunda W ou M) e utilizou-se software para interpretar os depósitos e calcular o CV para diferentes larguras de faixa, assim, mostrar o efeito da largura de faixa na uniformidade de aplicação. Os padrões de distribuição da aplicação podem alterar o CV dependendo do sentido em que voo é realizado, conforme ilustrado na Figura 7. Isso acontece quando não tem um padrão homogêneo de destruição em ambos os lados da aeronave, ocasionando falha ou acúmulo quando os lados se sobrepõem. Na Figura 8, ilustra-se o método de aplicação de cada sentido de voo (ROTH; WHITNEY; KUHLMAN, 1985; RICE, 2018; O'CONNOR-MARER, 2017; WHITNEY, 2005).

Figura 8 - Formatos de manobras adotadas pelos pilotos durante a aplicação – A) Back and Forth- sentido de voo alternado; B) Racetrack- mesmo sentido de voo



Wolf e Smith (1979) e deBoer e Wiens (1983) sugeriram que um CV de 10 a 15% ou menos produz uma uniformidade satisfatória. No entanto, a base para a seleção desses números não foi discutida em seus trabalhos publicados. Neste sentido Roth (1982) e Whitney e Kuhlman (1983) desenvolveram uma série de ensaios e pesquisas com espectrofotometria de fio a campo para determinar padrões de distribuição de aeronaves. Com isso, quanto menor o CV mais uniforme é o perfil de distribuição, porém na prática quando obtido níveis abaixo de 20% de CV já é considerado um valor satisfatório na uniformidade da faixa de deposição. Na aplicação aérea é comum encontrar diversos tamanhos de faixa de deposição, sendo faixas muito largas ou estreitas, as quais podem ocasionar uma variação na deposição do produto aplicado e arruinar a qualidade da aplicação (ROTH,1982; WHITNEY; KUHLMAN, 1983; CARVALHO et al., 2020).

Segundo Corrêa et al. (2004), a aplicação aérea é um dos fatores que devem ser sempre analisado é o coeficiente de variação das faixas aplicadas sobrepostas. Para isso, é necessário obter a faixa total da aplicação, também conhecida como perfil básico da deposição. A faixa total de aplicação é considerada um parâmetro básico do planejamento operacional eficiente da aplicação aérea quando se procede à sobreposição das faixas.

O entendimento da quantidade de produto aplicado que permaneceu depositada no alvo é importante para quantificar o percentual da recuperação e indica eficiência da aplicação (ABNT, 1988). Com os depósitos da faixa total e uso de um software

específico para análises de faixa de deposição, pode-se obter o coeficiente de variação (CV) e fazer simulações das sobreposições da faixa e estimar a faixa de operação (CORRÊA, 1997).

2.4 Análise de faixa de deposição

2.4.1 Papel hidrossensível (PHS)

Papel sensível à água ou papel hidrossensível é um dos métodos da ASAE S386.2, 2018, utilizado para análise de faixa, é um cartão com base de papel, que tem uma superfície com revestimento especial, que muda de cor quando exposto à umidade, sem a necessidade de utilizar corante na aplicação. Atualmente, os cartões são fabricados pela indústria agrícola Syngenta Crop Protection, com sede na Basileia, Suíça e comercializadas pela Spraying System Co. TeeJet Technologies Wheaton, Illinois, E.U.A. São oferecidos pela indústria cartões nos tamanhos 76 X 26 mm (3 X 1 pol), 76 X 52 mm e 500 X 26 mm, os dois primeiros são recomendados para coleta em aplicações aéreas (PRADO, 2017).

A utilização do papel sensível (PHS) à água e ao óleo foi recomendada por Carvalho (1995), para avaliar as pulverizações aéreas e seus parâmetros como densidade de gotas, deposição, uniformidade e o diâmetro mediano volumétrico (DMV). Há algumas limitações sobre o uso do PHS, os valores oferecidos pelos softwares podem induzir erro de interpretação, já que o tamanho das gotas é superestimado. Outro fator, é a sobreposição de gotas, algumas análises podem interpretar a sobreposição como uma única gota distorcendo o tamanho real. Outra limitação é quando exposto à umidade relativa do ar acima de 80 % afetando a sensibilidade do papel (TURNER; HUNTINGTON, 1970). Segundo Schröder (1996), PHS têm sido utilizado por diversos pesquisadores a fim de avaliar a deposição da pulverização. Atualmente no mercado, existem equipamentos específicos para processamento computacionais ou aplicativos para análises dos PHS.

Após uma passagem da aeronave, todos os cartões são recolhidos na sequência em que foram dispostos para análise. A avaliação consiste em determinar a faixa de deposição após a passagem da aeronave, aplicando o líquido sobre os cartões hidrossensíveis geralmente (76 x 26 mm), posicionados e espaçados normalmente a 1 metro entre si e distribuídos ao longo da faixa transversal (entre 15 e 60 m), no

sentido de deslocamento do avião, sem obstáculos e voltados para cima. Na avaliação dos depósitos, aguarda-se a secagem para retirar o PHS dos suportes, mantendo a ordem sequencial para a leitura dos dados (BALAN, 2006).

A leitura era feita inicialmente através de lupa micrométrica ou um microscópio, com contagem manual das gotas para determinar a densidade de gotas (número total de gotas por centímetro quadrado e determinar o tamanho das gotas. Mas atualmente, existem scanners específicos para a leitura destes cartões e vários softwares para utilizar em conjunto com um scanner conectado a um computador que tenha o software instalado (BALAN et al., 2005; CUNHA et al., 2013).

Esse processo pode ser trabalhoso, demanda tempo e mão de obra, é necessário escanear todos os cartões em sequência e realizar as respectivas análises. Por fim, pode ser oneroso caso haja a necessidade de repetir os testes, já que os PHS são custosos (BOUSE et al., 1994).

2.4.2 Método quantitativo

2.4.2.1 Lâmina de vidro

O método quantitativo por meio de análise de deposição em lâmina de vidro, segue os mesmos critérios e padrão de coleta dos PHS, mudando apenas o processo de extração dos dados. Os autores Salvador (2011); Huitink et al.,(1990); Picot et al., (1993); Hewitt et al., (2002); Fritz et al., (2011); Thomson et al., (2013); e Chechetto (2015), utilizaram metodologias semelhantes para analisar o depósito das gotas, que após a pulverização as gotas eram depositadas em coletores de lâminas de vidro durante aplicações aéreas, esses coletores com dimensões de 10 x 20 cm, inseridas horizontalmente, posicionada 1 m de distância entre si, em um total entre 15 a 60 coletores.

Após término de cada aplicação, as amostras são acondicionadas em recipientes de plásticos, em seguida é realizado o processo de lavagem. Para espectrofotometria, o solvente é água deionizada para extração de um traçador corante azul brilhante das lâminas de vidro, conforme pré-determinação em testes de extração (CHECHETTO, 2015). Após a lavagem, é quantificado a concentração depositada em cada lâmina os dados são tabulados para produzir um padrão de distribuição (DA CUNHA, 2011; ALVES; CUNHA; PALLADINI, 2014).

Posteriormente, é realizado uma análise quantitativa rápida da coloração do corante extraído dos coletores de vidro, em uma absorvância em 630 nm (faixa de detecção do corante azul utilizado), com o uso de um analisador espectrofotômetro (PALLADINI et al. 2005).

2.4.2.2 Deposição em fio

Em comum a esses dois métodos citados anteriormente, consiste uma grande dificuldade tanto nas coletas quanto nas análises de cada um dos cartões, o que pode ser trabalhoso, demorado e oneroso e ainda pode superestimar ligeiramente a largura útil do padrão de depósito por pulverização. Por causa desses fatores, a detecção de corante fluorescente em fios de algodão é o a método com maior praticidade, que é utilizado atualmente e empregado para teste de avião de pulverização aérea (FOX et al., 1990; WHITNEY; RICHARD, 2005).

Considerando que é um método ágil e preciso por se tratar da deposição das gotas sobre um fio coletor este é bastante utilizado, pois oferece inúmeras vantagens em relação aos demais métodos. Diversos autores como Whitney e Roth (1985); Price (2018); Martin; Woldt; Latheef (2019), Fox (2013); Carvalho (2020) e Fritz; Gill; Bretthauer (2019), utilizaram esse método com base na norma ASAE S386.2, para fins de pesquisa científicas e de estudos de faixa de deposição em aeronaves agrícolas, com intuito de oferecer a faixa ideal de aplicação conforme a necessidade.

Este método deposição em fio, começou a ser desenvolvido por Kuhlman, Roth e Whitney a partir de iniciativa e parceria entre a Universidade Estadual de Oklahoma e National Aeronautics and Space Administration - NASA que foi quem financiou o projeto. O objetivo do trabalho foi “Desenvolver Métodos e Equipamentos de Avaliação Rápida de Padrões para Aeronaves de Pulverização”. Posteriormente, houve um interesse e apoio da NASA e outros, e seria criado então Operação S.A.F.E. (PRICE, 2018). O sistema de análise com a deposição em fios requer a utilização de um corante (rodamina WT). O sistema de espectrofotometria realiza a leitura da intensidade do corante depositado no fio e a partir desses dados, o padrão de aplicação pode construído e a largura de faixa de deposição e o coeficiente de variação podem ser determinados.

Ao avaliar o padrão de pulverização e determinar a faixa efetiva de uma aeronave, a altura de aplicação, velocidade da aeronave, pressão de pulverização e localização

dos bicos, todas essas variáveis podem alterar as condições de aplicação. Durante o teste, a aeronave voa diretamente contra o vento (vento de proa) para que a pulverização seja distribuída somente onde teve a passagem, visando facilitar a correlação entre a disposição dos elementos geradores de gotas na barra com a deposição real no solo. Caso ocorra vento cruzado com sentido o do voo durante o teste ocorre a perda de referência entre a montagem da barra e a deposição determinada (FRITZ et al., 2019)

2.5 Volume de aplicação

O volume de aplicação (que também é conhecido como taxa de aplicação) é o volume a ser aplicado por unidade de comprimento, área, peso e volume, é usual classificar o processo em função do volume de calda em litros por hectare ($L ha^{-1}$) (ASABE, 2007). O volume de aplicação é um dos parâmetros fundamentais para o sucesso da aplicação. A escolha do volume de calda depende do tipo e cobertura alvo a ser controlado, do modo de ação, da técnica utilizada para controle fitossanitário, dentre outros fatores. Com passar dos anos é notável que há uma tendência na redução do volume de calda a ser aplicado, com o objetivo de aumentar a capacidade operacional das aplicações (área tratada por hora) (CONTIERO et al., 2018).

Courshee (1967) determinou uma equação que é possível calcular a cobertura da área vegetal, com alguns fatores (Equação 2), por exemplo, para garantir maior cobertura do alvo, pode se trabalhar no volume de aplicação ou no diâmetro das gotas para manter o nível de cobertura desejado.

Equação 2 – Cobertura da área vegetal (COURSHEE, 1967).

$$C = \frac{15 V R K^2}{A D} \quad (2)$$

Onde:

C = Cobertura;

V = Volume de aplicação ($L ha^{-1}$);

R = Taxa de recuperação;

K = Fator de espalhamento das gotas;

A = Área vegetal; e

D = Diâmetro das gotas (μm).

Segundo Matthews, (1992) os volumes de aplicação utilizados em aeronaves agrícolas, a partir de resultados de pesquisa conduzidos pela SDTF (Spray Drift Task Force) e da National Agricultural Aviation Association (NAAA), tem-se que o volume $\leq 5 \text{ L ha}^{-1}$ corresponde à ultrabaixo volume, $>5-10 \text{ ha}^{-1}$ à baixo volume, e $>10 \text{ ha}^{-1}$ à alto volume. Os mesmos autores ainda completam que para a escolha correta do volume de aplicação, deve-se observar fatores da especificidade do produto fitossanitário e das condições meteorológicas ideais para a aplicação. Assim sendo, o conhecimento da tecnologia de aplicação é fundamental para a eficácia da pulverização.

De acordo com Antuniassi (2015), grande parte das aplicações aéreas estão utilizando volume de calda de 10 a 30 L ha^{-1} , com classe de gota muito fina a média. Para aplicações menores que 20 L ha^{-1} geralmente utiliza-se atomizadores rotativos, enquanto aplicações com maior volume, acima de 20 L ha^{-1} são realizadas principalmente com bicos hidráulicos de jato plano ou cônico. Do mesmo modo, com relação ao volume de calda existem poucas informações sobre qual o volume ideal para as aplicações, sabendo que, são dependentes de diversos fatores para escolha correta do volume a ser utilizado. Em geral, nas aplicações aéreas, utilizam-se volumes entre 3 e 40 L ha^{-1} , contudo, essa variação de volume é ampla e há necessidade de ser bem analisada (CUNHA, 2011).

A redução do volume de aplicação usada nas aplicações aéreas de defensivos agrícolas, de certa forma, é viável na questão técnica, econômica e ambiental. Porém a importância do conhecimento técnico em tecnologia de aplicação, e quando não há o emprego dessa técnica pode ocorrer a perda do produto para o ambiente (JESUS, 2019). Dessa forma, quando a aplicação possui um espectro de gotas finas ela está mais suscetível a ação do vento e, poderá sofrer maior potencial ao risco da deriva e acarretar grandes perdas (BAYER et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta de dados

Foram avaliadas 133 configurações em 62 aeronaves agrícolas em 7 estados brasileiros, durante o período de junho de 2020 até março de 2021, em eventos denominados “Inspeções de Faixa de Deposição (IFD)”. Estes eventos foram realizados pela empresa AGROEFETIVA INDUSTRIA E SERVIÇOS LTDA, por meio de solicitação de empresas do agronegócio e prestadores de serviços aeroagrícolas, tanto especializado (Empresas Aeroagrícolas – Serviço Aeroagrícola Especializado) quanto privado (Operadores Privados - Serviço Aeroagrícola Privado). As aeronaves foram selecionadas pelos contratantes para que houvesse uma avaliação da uniformidade e a largura da faixa de deposição, assim como para melhorar a qualidade da aplicação através de eventuais ajustes na montagem das barras dessas aeronaves. Cada aeronave pode ter sido avaliada com mais de uma configuração do sistema de pulverização (denominado como configurações das barras, podendo utilizar pontas hidráulicas e atomizadores rotativos), o que resultou no maior número de análises comparado ao número de aviões, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das aeronaves agrícolas avaliadas em diferentes estados brasileiros em 2020

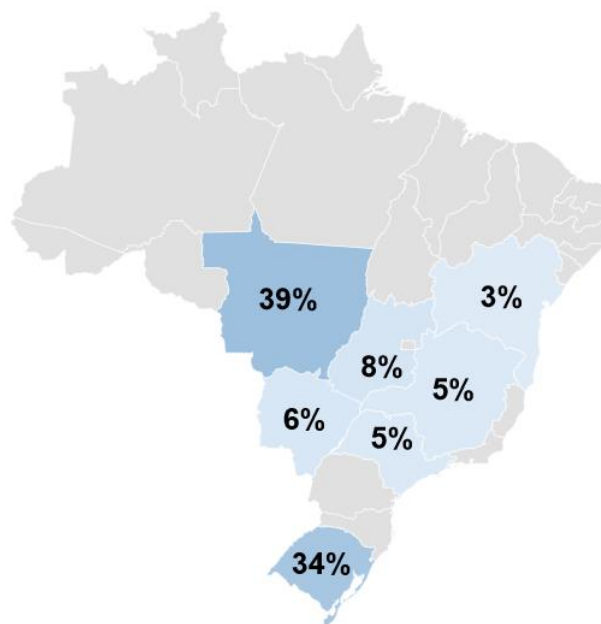
Estados	Número de aviões	Número de análises
Bahia	2	11
Minas Gerais	3	6
São Paulo	3	5
Mato Grosso do Sul	4	7
Goiás	5	8
Rio Grande do Sul	21	50
Mato Grosso	24	46
Total	62	133

Marcas	Número de aviões	Número de análises
Cessna	6	22
Air Tractor	22	49
Ipanema	34	62
Total	62	133

Na Figura 9, é possível observar a distribuição percentual do número de aviões em cada um dos estados analisados. A região Centro-Oeste e Sul do país que obteve o

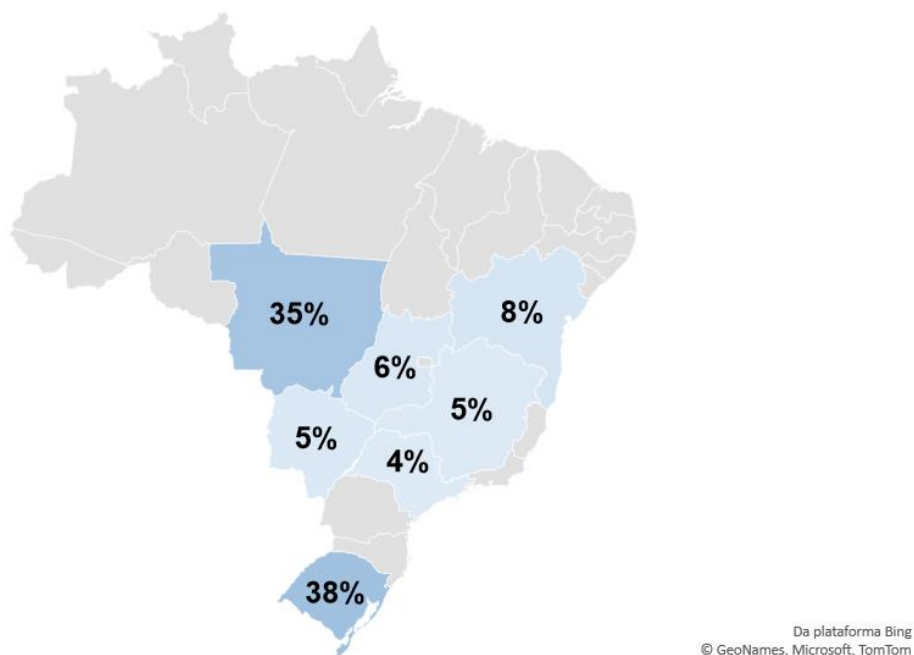
maior número amostra, com 39 e 34% dos aviões agrícolas, respectivamente. Esse valor em porcentagem é com base número total de 62 aeronaves inspecionadas em todo brasil. Nota-se que as concentrações destes aviões agrícolas estão no Mato Grosso, regiões onde se concentram grandes áreas de produção de grãos e Rio Grande do Sul, onde há uma demanda desta modalidade de aplicação devido à cultura do arroz alagado e da soja.

Figura 9 - Distribuição percentual das aeronaves por estado



Da plataforma Bing
© GeoNames, Microsoft, TomTom

Na Figura 10, representa a distribuição percentual do número de análise por modelo de aeronave em cada estado.

Figura 10 - Distribuição percentual das análises por estado

3.2 Condução do ensaio

As coletas de dados foram realizadas por meio do método de espectrofotometria de fio, o qual foi introduzido no Brasil em 2017 pela AgroEfetiva® e denominado de IFD – Inspeção da Faixa de Deposição®. A metodologia utiliza na norma ASAE S386.2, 2018. Para a coleta de dados, a aeronave sobrevoa um fio de poliéster de 1 mm de diâmetro e 46 m de comprimento, aplicando água e corante (Rodamina), o fio absorve as gotas pulverizadas a cada voo com vento de proa, conforme indicação da norma citada (Figura 11).

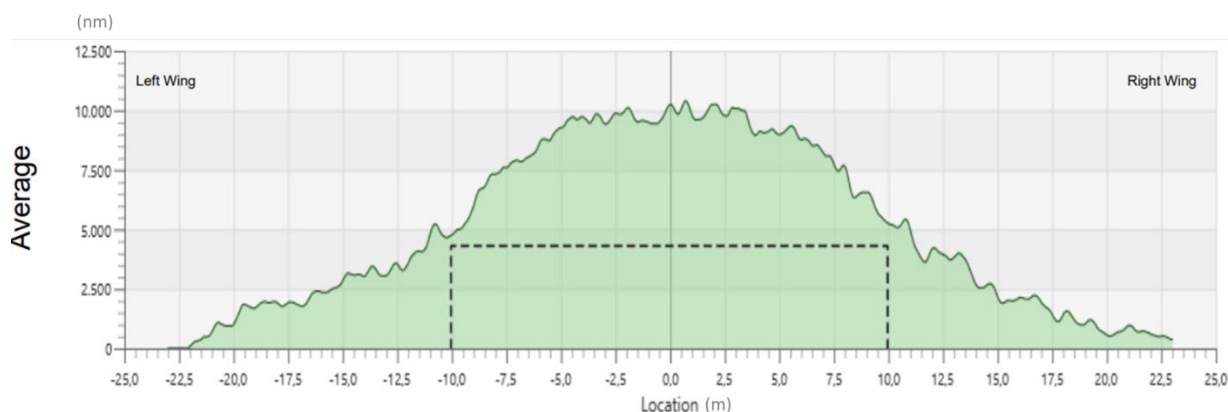
Figura 11 - Esquema gráfico para a apresentação do método espectrofotometria de fio. Voo com aeronave aplicando água e corante atóxico (Rodamina) sobre um fio coletor para avaliação da faixa da faixa de deposição



Fonte: AgroEfetiva (2019).

Em seguida o fio é recolhido em uma polia para leitura em um espectrofotômetro de fio seguindo o mesmo método previsto na Operação S.A.F.E. nos EUA (PRICE, 2018). Ao final da avaliação o sistema exibe em uma representação gráfica o perfil de distribuição da pulverização, de cada uma das passadas, conforme ilustrado na Figura 12. Por meio desses gráficos pode ser construído e a largura de faixa e o coeficiente de variação podem ser determinados. Com isso é possível determinar a largura da faixa efetiva daquela configuração analisada, respeitando o limite máximo de 20% de CV (ROTH, 1982; WHITNEY; KUHLMAN, 1983).

Figura 12 - Perfil de deposição representando a aeronave vista por trás. A área verde indica a faixa de deposição total e a linha pontilhada a faixa de deposição efetiva. O eixo horizontal (x) informa as distâncias em metros e o eixo vertical (y) a recuperação do corante em cada ponto do fio (Fonte: AgroEfetiva)



Fonte: AgroEfetiva (2020).

Em paralelo a cada voo foram avaliadas a altura da aeronave (utilizando uma régua graduada e uma mira holográfica), a velocidade da aeronave (utilizando um radar) e a direção do vento e da aeronave, além das condições meteorológicas (utilizando uma estação meteorológica portátil). Ao todo, foram realizados pelo menos três voos sobre o centro do fio em cada análise da aeronave. Essas análises denominadas podem variar de acordo com equipamento (ponta ou atomizador rotativo), volume de aplicação ($L\ ha^{-1}$), altura de voo entre outros. Essas análises podem sofrer inúmeras alterações, como por exemplo alterar espectro das gotas, altura de voo, largura da faixa e volume de aplicação, até que sejam ajustadas de acordo com o desejado para aquela situação (condições meteorológicas) ou objetivo (alvo). A partir dos dados coletados o sistema calcula o Coeficiente de Variação (CV, em %) e exibe o CV de acordo com cada largura de faixa de deposição (Tabela 2).

Tabela 2 - Largura da faixa efetiva de deposição - Swath (m) e coeficiente de variação (CV) para os sentidos de voo carrossel (RT) e back-to-back (BF). As setas pretas indicam a faixa efetiva esperada nesse exemplo (Fonte: AgroEfetiva)

Swath (m)	CV (RT)	CV (BF)
15,5	4 %	4 %
16,0	4 %	4 %
16,5	4 %	4 %
17,0	3 %	4 %
17,5	3 %	3 %
18,0	4 %	4 %
18,5	4 %	5 %
19,0	4 %	5 %
19,5	5 %	5 %
20,0	5 %	6 %
20,5	6 %	6 %
21,0	7 %	6 %
21,5	7 %	7 %
22,0	8 %	8 %
22,5	8 %	9 %
23,0	9 %	9 %
23,5	10 %	10 %
24,0	11 %	11 %
24,5	11 %	11 %

Fonte: AgroEfetiva (2020).

O sistema permite realizar a melhor indicação da largura da FD em função da uniformidade indicada pelo CV tanto para o sentido de voo vai e vem (back-to-back) quanto para o sentido carrossel (race track). As faixas são consideradas satisfatórias quando há uma homogeneidade na distribuição e sem apresentar falhas ou acúmulo de depósito na FD. Além das coletas de FD, foram coletadas algumas informações conforme descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Coletas de informações das aeronaves agrícolas

Nº	Variáveis
1	Taxa de aplicação
2	Faixa de aplicação utilizada
3	Pressão de trabalho
4	Marca do avião
5	Modelo do avião
6	Modelo bico/atomizador
7	Quantidade de bico/atomizador
8	Espaçamento de bico/atomizador
9	Tamanho da barra
10	Envergadura do avião

Todos os resultados de faixa de deposição foram coletados através do sistema IFD, as faixas selecionadas para a pesquisa, foram as que o CV permaneceu dentro do limite aceitável de 20%. Para desenvolver uma análise exploratória dos dados, foram distribuídos por marca e modelos de aeronaves, dentro de cada modelo estudou-se o volume de aplicação, separando-o em classes de 0 a 10, 11 a 20, 21 a 30 L ha⁻¹, e as faixas de deposição das aeronaves que se enquadrassem dentro das respectivas classes. Utilizou-se o tamanho da faixa efetiva (m) das aeronaves, para calcular a média que representasse cada classe de volume de aplicação (L ha⁻¹), conforme descrito na (Tabela 4).

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos utilizados na pesquisa

Marca da Aeronave	Modelo da Aeronave	Volume (L. ha ⁻¹)	Nº de Aviões	Faixa (m)
Ipanema	202	0 - 10	14	
		10 - 20	30	
		20 - 30	5	
	203	0 - 10	11	
		10 - 20	-	
		20 - 30	2	
AirTractor	402	0 - 10	3	
		10 - 20	4	
		20 - 30	4	
	502	0 - 10	25	
		10 - 20	13	
		20 - 30	-	
Cessna	188	0 - 10	3	
		10 - 20	16	
		20 - 30	3	

Uma segunda avaliação com diferentes variáveis analisadas dentro da pesquisa, na tabela 5. Para esse tipo de pesquisa foi utilizado a análise multivariada que leva em consideração todas as variáveis para que seja possível expressar algum fenômeno ou comportamento a ser explorado.

Tabela 5 - Descrição das variáveis analisada nessa pesquisa

Variáveis	
Volume de aplicação	V.A
Faixa de deposição	F.D
Pressão	P
Envergadura da aeronave	E.A
Envergadura da barra	E.B
Velocidade de voo	Vel
Altura de voo	Alt

3.3 Análise estatística

Foi realizado uma análise descritiva dos dados, que se refere aos gráficos de médias dos parâmetros avaliados da largura da faixa de deposição em diferentes classes do volume de aplicação com Intervalo de Confiança de 95%. Para a visualização da interação do volume de aplicação em função da faixa de deposição, por meio de diferentes aeronaves que se separou em grupos de volume de aplicação, correlacionando outras cinco variáveis, sendo que o critério foi a relação que existente

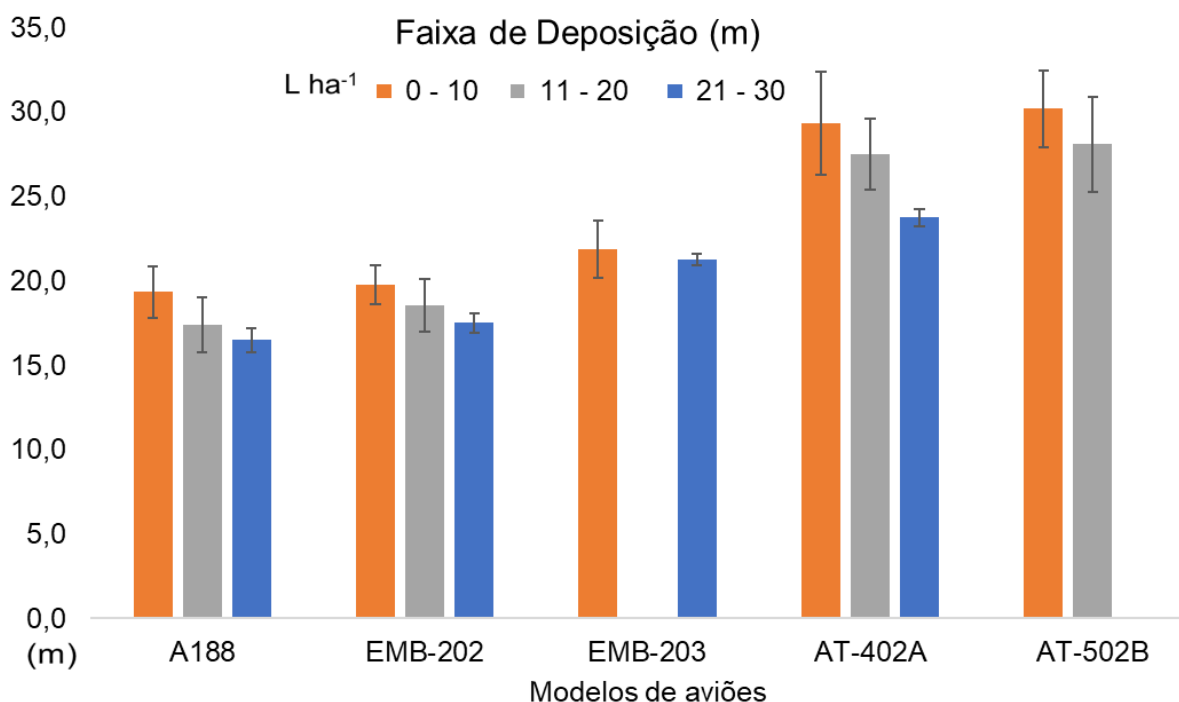
entre elas. Aplicou-se a análise de componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade total dos dados e interação entre as mesmas. Sucessivas correlações de Pearson ($p < 0,05$), foram realizadas para elucidar o grau de associação entre as variáveis. A análise de componentes principais, correlações e construções dos gráficos referentes às mesmas foram feitas pelo *software* R com o auxílio dos pacotes “FactoMineR”, “factoextra” e “corrplot”. (R CORE TEAM, 2021).

No processo de análise faz-se a junção de todas as variáveis com objetivo de verificar a similaridade entre elas e reunir dos componentes principais, que representam melhor aquelas variáveis. Então para cada um conjunto variável vai ter um componente principal (CP), explica o percentual de variação que tem dentro das variáveis. As variáveis que se expressam em maiores valores, terão maior impacto dentro da CP. E dessa forma, é possível expressar a variação entre as variáveis em um gráfico bidimensional, conforme os critérios de Hair et al. (2009).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na análise de média dentro das respectivas classes do volume de aplicação é possível observar uma diferença significativa da largura da faixa de deposição (F.D) quando o volume de aplicação é alterado dentro de cada modelo de aeronave. Observa-se, que a largura F.D aumentou à medida que o volume de aplicação diminuiu, independente do modelo de aeronave analisado. Dentre os modelos de aeronaves avaliados na classe de volume de aplicação 0 a 10 L ha⁻¹ o AT-502B foi o que proporcionou maior faixa de deposição 30,2 metros, em sequência estão AT-402A; EMB-203; EMB-202; AG-188; com 29,3; 21,9; 19,8; 19,3 metros, respectivamente (Figura 13).

Figura 13 - Representação gráfica da Largura da faixa de deposição (m) em diferentes classes do volume de aplicação em (0 – 10; 11 – 20; 21 – 30 L ha⁻¹) e o desvio padrão de cada volume de aplicação.



Na Tabela 6, é representado o ganho de faixa de deposição (F.D) em relação as diferentes classes de volume de aplicação do mesmo modelo de aeronave. Os valores usados para calcular a diferença entre as larguras da F.D são as médias de cada classe dentro de cada aeronave, ou seja, é a diferença entre os volumes de aplicação (classes) de (0-10) – (11-20) em seguida (11-20) – (21-30),

respectivamente. Isso irá representar o quanto que se obteve de ganho da F.D em metros ao alterar o volume de aplicação. E por último, a comparação entre os extremos de classes analisadas (0-10) – (21-30), esses valores em específico de ganho de F.D está expresso em (%), em alguns modelos, essa alteração do volume de aplicação pode atingir um acréscimo de 20,96% ou 5,58 metros de F.D.

Tabela 6 - Representação do tamanho médio da faixa de deposição(m) entre as diferenças de classe (0-10) – (11-20); (11-20) – (21-30) e (0-10) – (21-30) de acordo com os modelos de aeronaves e o ganho da faixa de deposição em (%).

	A188	EMB-202	EMB-203	AT-402A	AT-502B
(0-10) - (11-20) (m)	1,9	1,2	-	1,8	2,1
(11-20) - (21-30) (m)	0,9	1,1	-	3,8	-
(0-10) - (20-30) (m)	1,74	2,25	0,61	5,58	-
Ganho em F.D (%)	9,91%	11,98%	2,81%	20,96%	7,17%

A Tabela 7 contém as variâncias percentuais e a variância acumulada para cada uma das componentes principais. As duas primeiras componentes respondem pela maior parte da variância total (61,28%), este é um valor representativo considerando que as duas explicam mais da metade da variação total. No entanto quanto mais CP for considerada no processo de análise maior será o percentual cumulativo, conseqüentemente, mais complexo será a interpretação dos dados. Por tanto, pode se utilizar a CP1 e CP2 como base para análises comparativas entre os modelos de aeronave.

Tabela 7 - Resultados dos componentes principais e quanto cada componente representa em (%) dentro dos dados amostrado

Componente principal	Variância percentual	Variância percentual acumulada
CP 1	46,99	46,99
CP 2	14,29	61,28
CP 3	12,76	74,03
CP 4	12,10	86,13
CP 5	9,53	95,66
CP 6	2,41	98,07
CP 7	1,93	100,00

As contribuições de cada variável em estudo para a formação de cada componente principal estão apresentadas na Tabela 8. As variáveis envergadura da aeronave, faixa de deposição e velocidade de voo são, respectivamente, as que possuem maior importância na formação da CP1. Já as variáveis pressão, altura de voo e envergadura de barra são, respectivamente, àquelas com maior contribuição na formação da CP2.

Tabela 8 - Descrição da contribuição de cada variável em cada componente principal (%) variáveis analisadas (Volume de aplicação – V.A; Faixa de deposição – F.D; Pressão – P; Envergadura da aeronave – E.A; Envergadura da barra – E.B; Velocidade – Vel; Altura – Alt)

Variáveis	Contribuição de cada variável em cada componente principal (%)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Volume de aplicação (V.A)	7,010	3,760	51,800	23,830	9,090
Faixa de deposição (F.D)	24,960	0,570	5,120	2,230	1,380
Pressão (P)	5,090	48,570	9,770	8,810	27,680
Envergadura da aeronave (E.A)	25,380	0,950	0,260	3,370	5,310
Envergadura da barra (E.B)	5,220	21,670	28,210	40,100	2,430
velocidade de vôo (Vel)	24,210	1,100	0,260	0,780	12,310
Altura de Voo (Alt)	8,130	23,380	4,580	20,880	41,810

Na Figura 15a está apresentada a análise de componentes principais das variáveis, mostrando a correlação entre as variáveis, suas relações e contribuições nos dois componentes (CP1 e CP2), e as correlações entre si foi resumida em dois fatores que explicam 61,28% da variabilidade total dos dados. No CP1 a faixa de deposição ($r=0,85$), envergadura da aeronave ($r=0,84$) e velocidade do voo ($r=0,80$) correlacionou as maiores contribuições e no CP2 a envergadura da barra ($r=0,69$).

No lado do eixo positivo estão correlacionadas positivamente entre si e que quanto mais próximas as retas, maiores são suas correlações, e no lado esquerdo estão as variáveis que são correlacionadas negativamente entre si. Observa-se interações mais próximas e positivas entre a faixa de deposição e velocidade de voo, envergadura da aeronave e pressão e relação mais afastada para a altura de voo.

A velocidade de aplicação tem interação positiva com faixa de deposição por estar relacionada ao modelo de aeronave, pois não dá para isolar a velocidade dos modelos porque as maiores faixas são devidas as maiores aeronaves e conseqüentemente esta tem maior velocidade de deslocamento. Mas quando no mesmo modelo de aeronave altera-se a velocidade, não significa que vai alterar a largura da faixa de deposição, ou seja, não significa causa e efeito, não é porque tem menor velocidade de voo que terá menor largura da faixa, respectivamente.

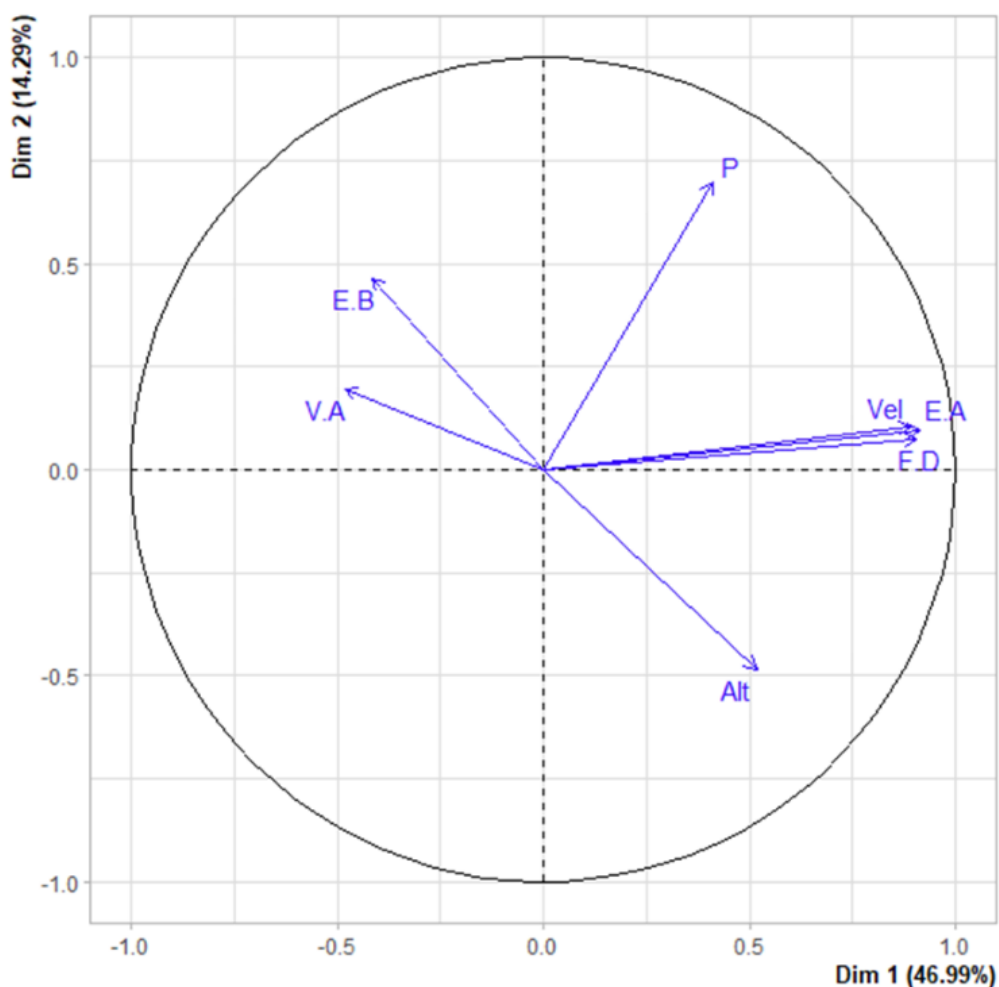
Do mesmo modo, que quanto maior a velocidade da aeronave mais aumenta a proporção de pequenas gotas, fragmentadas pelo impacto do vento exercida sobre elas, na qual pode alterar o efeito dos vórtices na ponta da asa e aumentar potencial do risco de deriva devido gotas menores (WOMAC et al., 1993).

Sabendo que a velocidade é constante para o mesmo modelo, mas diferente entre os modelos de aeronaves, nesse sentido também se inclui a envergadura de asa, relação de envergadura com barra e outras variáveis. Por isso, a velocidade assim como qualquer outra variável não pode ser isolada, ao utilizar análise de componentes principais ela não tem a mesma necessidade da estatística descritiva que é isolar uma variável e comparar outras duas. Análise de componentes principais leva em consideração todas as variações envolvidas no processo, e estuda todas elas conjunto.

A envergadura da barra e volume de aplicação apresentaram interações negativas, porém, com magnitudes diferentes mostram uma relação inversa com as demais variáveis. Fritz et al. (2019), relata que quanto maior a envergadura da barra de pulverização em relação a aeronave, mais larga poderá ser a faixa de deposição efetiva, e quanto mais próxima a barra do final da asa, mais facilmente as gotas pulverizadas são arrastadas nos vórtices da ponta da asa. Ainda nessa pesquisa o autor relata que utilizando 65% da barra em relação a envergadura se obteve a melhor uniformidade da largura da faixa efetiva para o modelo AirTractor 502B. Do mesmo modo, Teske et al. (1998), concluíram que o comprimento da barra deve ser inferior a 75% em relação a envergadura da asa.

Segundo Zhang et al. (2015), a largura da faixa de deposição é significativamente influenciada pela altura de voo, e de acordo Monteiro (2006), altura certa que é de 25 a 50 % do valor da envergadura, portanto, pode-se concluir que a altura de voo leva à diferença na largura de faixa de deposição.

Figura 15a – Representação gráfica bidimensional dos componentes principais 1 e 2 descrevendo as relações entre as amostras e das variáveis analisadas (Volume de aplicação – V.A; Faixa de deposição – F.D; Pressão – P; Envergadura da aeronave – E.A; Envergadura da barra – E.B; Velocidade – Vel; Altura – Alt)

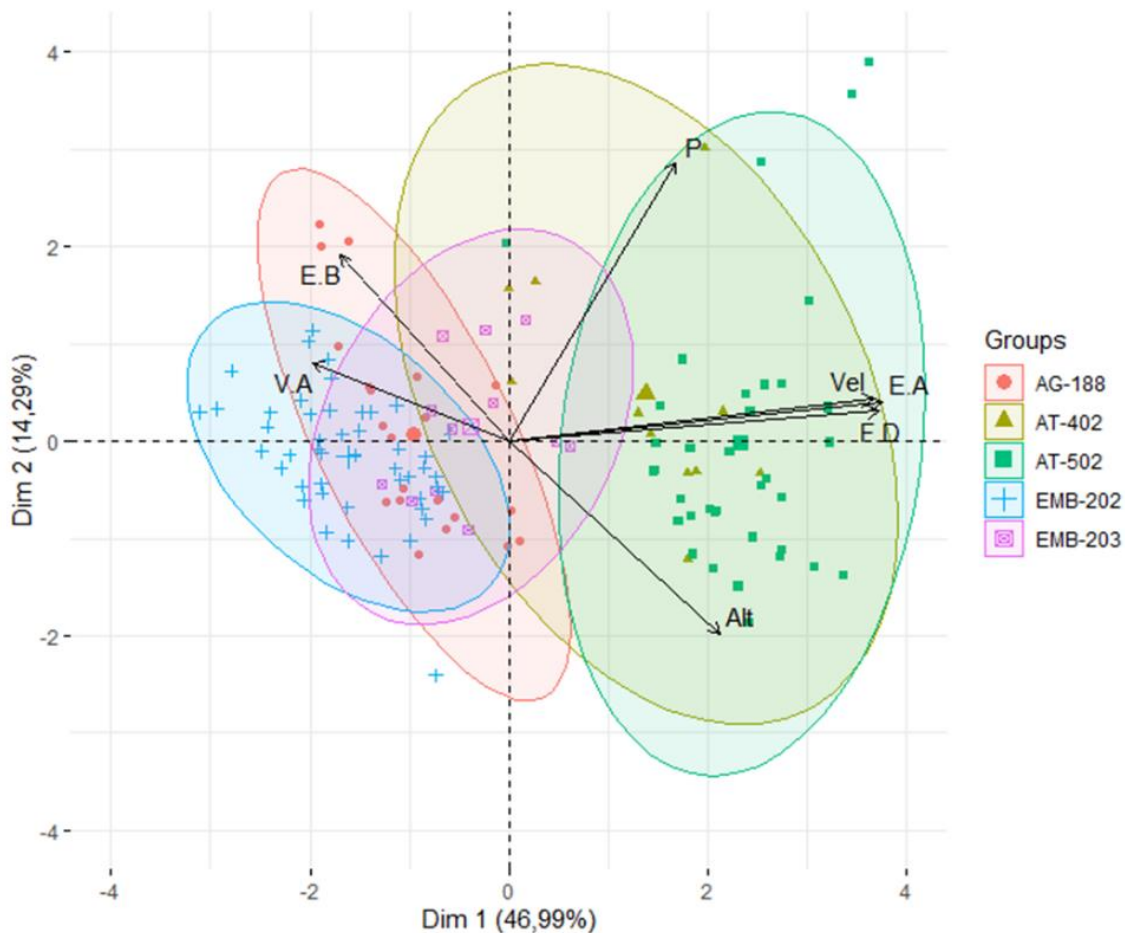


Segundo os resultados obtidos, o aumento da faixa de deposição também está relacionado ao menor volume de aplicação, isso porque quanto menor o volume de aplicação menor será o tamanho de gotas, teoricamente com o objetivo de garantir uma cobertura satisfatória do alvo. As relações e interações das variáveis com os

tratamentos é apresentada pela análise de componentes principais (CP1 e CP2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos grupos de aeronaves avaliados (Figura 15b). Observa-se que com a junção dos gráficos de linhas e de pontos é possível verificar o sentido das setas em relação aos grupos de aeronaves. Portanto, nota-se que AT-502 e AT-402, tiveram maiores correlações (proximidade das retas), maiores velocidades de voo, envergadura, faixa de deposição, pressão de trabalho e a seta no mesmo sentido, porém, mais afastado a altura de voo. Já no sentido oposto com maior volume de aplicação, ficaram com uma interação inversa com os demais grupos das aeronaves EMB-202 e AG-188 em seguida EMB-203 e o mesmo com maior envergadura de barra em relação aos demais.

Em relação elipse de confiança, que são os círculos que circulam um determinado grupo de amostra ou pontos, ela representa 95% de chance de repetir a amostras e o avião se encontre em algum desses pontos e estar dentro do mesmo círculo novamente. Portanto, quanto menor a elipse de confiança menor será a dispersão dos dados da aeronave.

Figura 15b - Análise de componentes principais das variáveis velocidade de voo (vel.), volume de aplicação (V.A), Pressão (P), altura de voo (Alt), faixa de deposição (F.D), envergadura da aeronave (E.A) e envergadura da barra (E.B) com representação das elipses de confiança de 95% dos pontos que representam as coordenadas do centro de cada modelo de aeronave estudado.

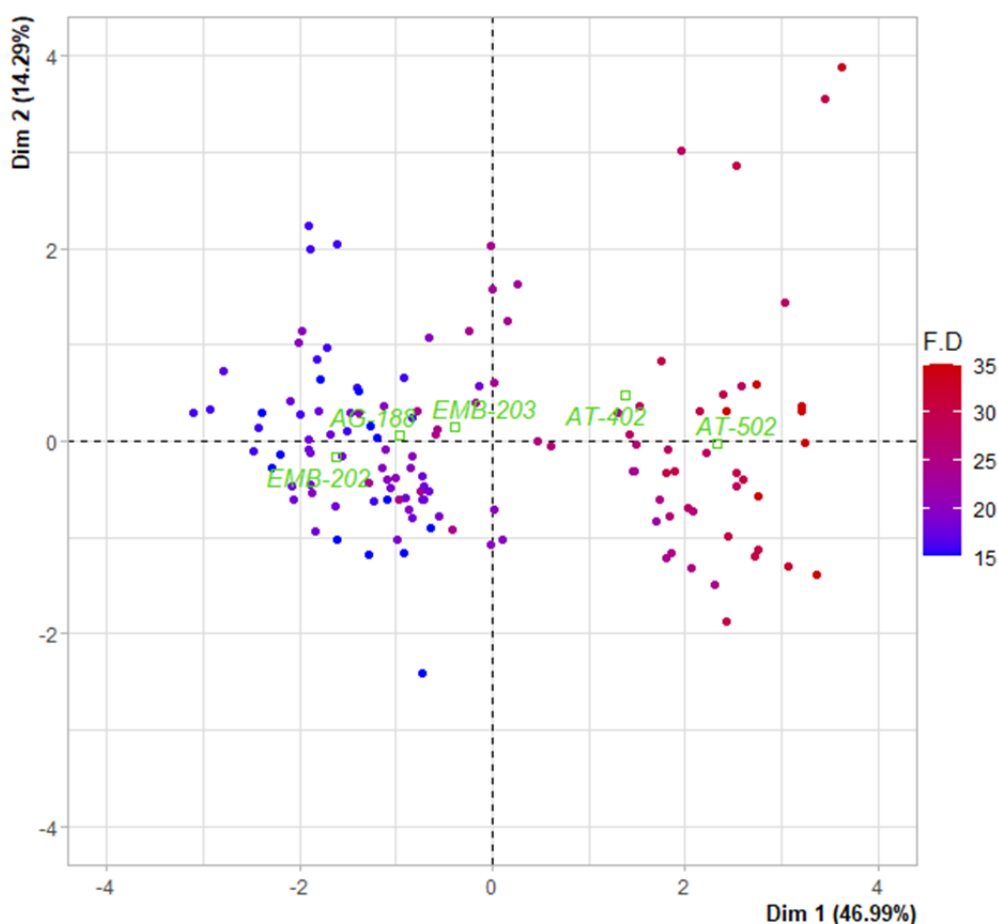


A partir da análise de componentes principais pode se notar que CP1 somando as variáveis de faixa de deposição, envergadura da aeronave e a velocidade de voo que é o que mais influência no primeiro componente, essas variáveis representam 46,99% explica a variabilidade dos dados, enquanto a segunda explica 14,29%, representada pela envergadura da barra e altura de voo. Portanto, o percentual está adequado para avaliar cada um dos grupos.

Do mesmo modo, que toda a variabilidade das variáveis em função de suas correlações foi resumida em dois fatores CP1 e CP2, estas duas em conjunto somam 61,28% de variabilidade total dos dados. Isso significa que as CP citadas acima são as que mais impactam dentro da análise.

As interações das variáveis com os tratamentos estão apresentadas na Figura 16 e os resultados da largura da faixa de deposição das aeronaves amostradas. Nesse caso a largura da faixa de deposição está ligada ao tamanho do avião, ou seja, sua envergadura. Teoricamente, quanto maior é a envergadura da aeronave maior poderá ser a faixa de deposição, isso no primeiro momento e essa abertura pode ser equalizado em segundo momento conforme a configuração nela ajustada (CARVALHO et. al, 2020; MONTEIRO, 2006).

Figura 16 - Representação gráfica da faixa de deposição (F.D) através das análises de componentes principais (Dim 1 e Dim 2) entre modelos de aeronaves e as variáveis

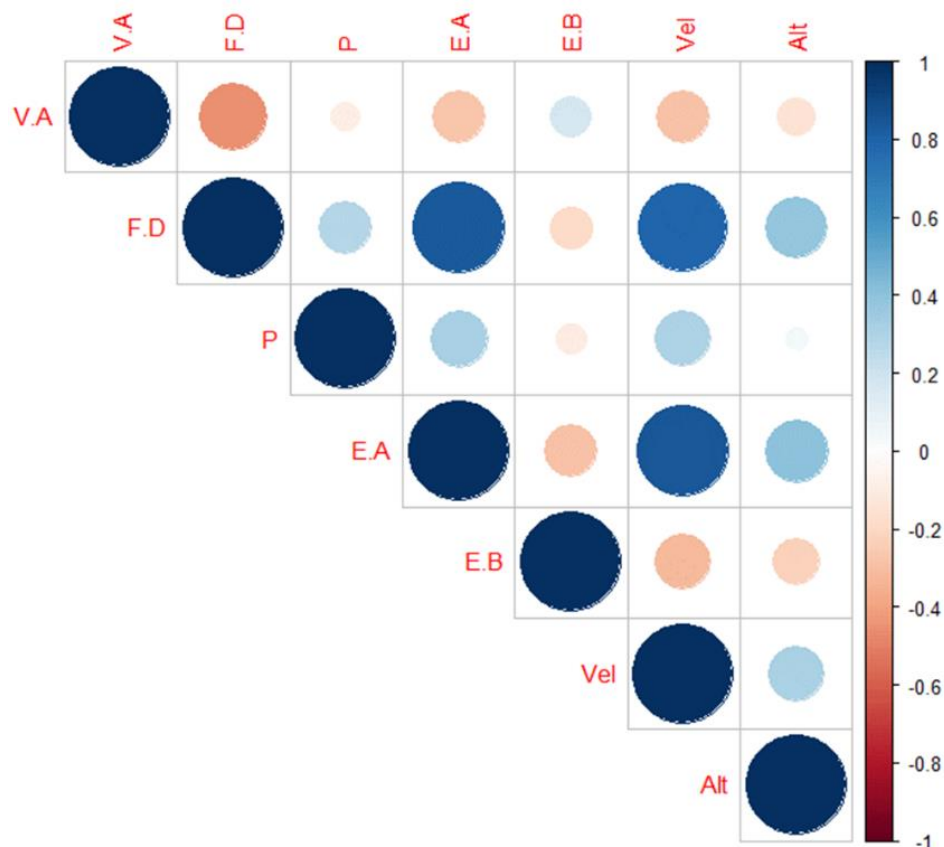


O “heat map” mapa de calor é uma representação gráfica bidimensional dos dados, na qual substitui os valores pela intensidade de cores, com objetivo de facilitar a interpretação de difícil compreensão (ROUSE, 2011).

Por meio da representação gráfica da relação entre as variáveis são demonstradas na Figura 17, é possível observar no gráfico a interação entre todas as variáveis se correlacionando e identificar a correlação pela escala de cores conforme demonstrado, as correlações negativas estão em vermelho e as correlações positivas em azul e o tamanho do “círculo” vai informar se a interação é forte ou fraca, ou seja, maior círculo significa interação forte, menor círculo interação fraca, respectivamente. Verifica-se que a altura de voo está interagindo forte e positivamente com a faixa de deposição e envergadura da barra, aeronaves com maior envergadura e faixa de deposição tende a voar mais alto e quanto menor a volume de aplicação maior a faixa de deposição, no gráfico ilustra uma correlação forte e negativa.

Outra interação forte e positiva é da pressão com a velocidade de deslocamento da aeronave, ou seja, quanto maior a velocidade maior será a pressão, para que se mantenha a vazão dos dispositivos geradores de gotas e não alterar o volume de aplicação em $L\ ha^{-1}$.

Figura 17 - Representação gráfica do mapa de calor “Heat Map” das correlações entre as variáveis (Volume de aplicação – V.A; Faixa de deposição – F.D; Pressão – P; Envergadura da aeronave – E.A; Envergadura da barra – E.B; Velocidade – Vel; Altura – Alt)



5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que maiores envergaduras de asa proporcionam maiores faixas de deposição (FD). Quando se trabalha com volumes de aplicação menores, os valores de FD são maiores, e vice-versa. O tamanho médio da faixa de deposição para os modelos AT-502B é de 29,5 metros; AT-402A é 26,6 metros; EMB-203 é de 21,9 metros; EMB-202 é de 18,8 metros e A188 é 17,6 metros. Variáveis como a altura de voo, a velocidade de voo e pressão são fatores secundários que podem contribuir para o aumento da FD.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 3534-1: Estatística- vocabulário e símbolos. Parte 1: **Termos estatísticos gerais e termos usados em probabilidade**. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TB-344: Aplicação de defensivos agrícolas** - Terminologia. Rio de Janeiro, 1988.
- ALBOUKADEL KASSAMBARA and FABIAN MUNDT (2020). factextra: **Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factextra>.
- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R.; PALLADINI, L. A. Seleção de traçadores para estudos de eficiência das aplicações de produtos fitossanitários. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 861-870, 2014.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília – DF: **Anac – A atividade de aero agrícola**. 2020. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/operacoes-aereas/operador-agricola>. Acessado em: 23 de jun de 2020.
- 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. Tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja Fundação Mato Grosso**, Rondonópolis, v. 11, p. 199-216, 2007.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, 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, 2008. p. 174-175.
- ANTUNIASSI, U. R.; CUNHA, J. P. A. R. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**: Boas práticas na tecnologia de aplicação dos defensivos agrícolas. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 355-366.
- ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação de fungicidas**. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. p. 221-229.
- ANTUNIASSI, ULISSES 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, 2017.
- ANTUNIASSI, U. R. **Evolution of agricultural aviation in Brazil**. Outlooks on Pest Management, 2015, v. 26, p.12-18. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/resinf/opm/2015/00000026/00000001/art00004>. Acessado em: 08 de jun de 2020.

ASABE - Sociedade americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos. **Teste de calibração e distribuição de equipamentos de aplicação aérea agrícola**. ASAE S386.2 FEB1988 (R2018). 2018.

ASABE- American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, 1999. (ASABE S, 572).

ASAE S386.2 FEB1988 (R2018). **Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI, 2018. 10p.

BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O.J.G.; FONSECA, I.C.B.; SILVA, C.G.; SASAKI, E.H. Pulverização em alvos artificiais: avaliação com o uso do software conta-gotas. **Ciência Rural**, v. 35(4): 916- 919, 2005.

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

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, Campina grande, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011.

BERNA, R. **Espectro de gotas por pontas de jato plano de impacto para aplicação aérea na presença de adjuvantes em caldas de pulverização**. 2017. Dissertação (Mestrado). - Curso de Agronomia, Agricultura, "Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.

BOUSE, L.F.; CARLTON, J.B.; KIRK, I.W.; HIRSCH Jr., T.J. Nozzle selection for optimizing deposition and minimizing spray drift for the Air tractor. **Transactions of the ASAE**, V.37, n.6, p. 1725-1731, 1994.

BRODER, Michael F. Performance testing of fertilizer application equipment. **Paper-American Society of Agricultural Engineers (USA)**. Microfiche collection. no. **fiche 83-1503**., 1983.

BUENO, M. R. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata**. 2011, 72f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, 2011.

CAMARGO, T. V. Airbone and tractorized fungicide spraying for soybean asian rust control. In: JULIATTI, F. C. **Soybean Asian rust: etyology, epidemiology and management**. Uberlândia: UDFU, 2006, p.263-274.

CARVALHO, F. K. **Influência de adjuvantes de calda no depósito e deriva em aplicações aéreas e terrestres**. 2013. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2013.

CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. **Características do Sistema de Pulverização e Faixa de Deposição de Aeronaves Agrícolas no Brasil.** IX SINTAG. 2019.

CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais:** Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 213-222.

CARVALHO, F. K; et al. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020.

CARVALHO, W. P. A. **A aviação agrícola – parâmetros técnicos de aplicação aérea.** I Simpósio Internacional de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Jaboticabal. 1997. 140p.

CARVALHO, W. P. A.; CUNHA, J. P. A. R. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais:** introdução à tecnologia de aplicação por via aérea. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 169-180.

CHECHETTO, R. G. **Métodos de coleta de deposição para ensaios de deriva em aplicações aéreas.** 2015. Tese (Doutorado). - Curso de Agronomia, Agricultura, “Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.

CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação.** In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.

CORRÊA, H.G. **Otimização da aplicação aérea de defensivos na cultura da banana, com a utilização da espectrofotometria de absorção atômica.** 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – FCA-UNESP, Botucatu, 1997.

CORRÊA, H.G., BENEZ, S. H., BERTON, R. S., SÁES., L. A. **Depósitos de calda obtidos com a aplicação aérea de defensivos na cultura da banana.** *Bragantia*, Campinas, v. 63, n. 1, p. 121-128, 2004.

COSTA, D. I. **Eficiência e Qualidade das Aplicações de Fungicidas, por Via Terrestre e Aérea, no Controle de Doenças Foliares e no Rendimento de Grãos de Soja e Milho.** 2009. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Área de Concentração em Fitopatologia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

COURSHEE, J.H. **Application and use of foliar fungicides.** In: TORGESON, D.C. ed. *Fungicide – An advanced treatise*, New York, Academic Press, p. 239-86, 1967.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta daninha**, v. 21, p. 325-332, 2003.

- CUNHA, J. P. A. R. Pesticide drift simulation under different application methods. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 04, p. 487-493, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.343-351, 2011.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.10-15, Jan. 2007.
- CUNHA, J.P.A.R.; FARNESE, A.C.; OLIVET, J.J. Computer programs for analysis of droplets sprayed on water sensitive papers. **Planta Daninha**, v. 31(3): 715-720, 2013.
- CUNHA, J.P.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, p.61-66, 2006.
- DA CUNHA, João PAR et al. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.
- DE CERQUEIRA, D. T., RAETANO, C. G., HENRIQUE, M. d., PRADO, E. P., CHRISTOVAM, R. S., SERRA, M. E., ALMEIDA COSTA, S. I. **Agricultural spray deposit quantification methods**. *Appl. Eng. Agric.*, 28(6), p. 825-831. 2012.
- DEBOER, L. J. and E. H. WIENS. 1983. **Test procedures for granular applicator performance testing**. ASAE Paper No. 83-1504, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- DI OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. Efeito de diferentes equipamentos, volumes de calda e uso de adjuvante no espectro de gotas e na cobertura da cultura da soja. **Anales del IV Sintag-Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos-Ribeirão Preto/SP-Brasil**, 2008.
- DRESCHER, M. Manual do piloto agrícola. 2 edições. São Paulo: **Editora Bianch**, 2017.
- EJ ESCOLA AERONÁUTICA CIVIL. **Aeronave agrícola leve**. 2021. Disponível em: <https://www.ej.com.br/show-informativo/525/a-ej-tem-tradio-na-formao-de-pilotos-agrcolas-paga>. Acessado em: 20 de fev de 2020.
- FOX, R. D. et al. Downwind residue from air spraying of a dwarf apple orchard. **Transactions of the ASAE**, v. 33, n. 4, p. 1104-1108, 1990.
- FOX, R. D.; DERKSEN, R.C.; ZHU, H.; DOWNER, R.A.; BRAZEE, E.R.D. **Eficiência da coleta de spray aéreo da tela de nylon**. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (2), 147-152. 2004.

FOX, R. D.; HALL, F.R.; REICHARD, D.L.; BRAZEE, R. D.; KRUEGER, H. R. **Traçadores de pesticidas para medir a deriva de pulverização de pomar.** Appl. Eng. Agric., 9 (6), p.501-505. 1993.

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. **Revista Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.

FRITZ, B. K.; GIL, M. P.; BRETTHAUER, S. **Examining Aerial Application Swath Pattern Evaluations under In-Wind and Cross-Wind Conditions,"** in **Pesticide Formulation and Delivery Systems: 39th Volume, Innovative Formulation, Application and Adjuvant Technologies for Agriculture**, ed. D. Linscott (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019), 24-38. 2019.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN W. C.; BAGLEY, W. E.; HEWITT, A. Field Scale Evaluation of Spray Drift Reduction Technologies from Ground and Aerial Application Systems. **Journal of ASTM International**, West Conshohocken, v. 8, n. 5. 2011.

FRITZ, B; GILL, M; BRETTHAUER, S. Examining Aerial Application Swath Pattern Evaluations under In-Wind and Cross-Wind Conditions. In: **Pesticide Formulation and Delivery Systems: 39th Volume, Innovative Formulation, Application and Adjuvant Technologies for Agriculture.** ASTM International, 2019.

GLOVER, J. W., and J. V. BAIRD. 1973. Performance of spinnertype fertilizer spreaders. **TRANSACTIONS of the ASAE** 16(1):48-51.

HAIR, J. F., BLACK, C. W., BABIN, B.J., ROLPH, E. A., RONALD, L. T. Análise multivariada de dados. **Bookman editora**, 2009.

HEWITT, A. J.; JOHNSON, D. R.; FISH, J. D.; HERMANSKY, C. G.; VALCORE, D. L. Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 21, n. 3, p. 648–658, 2002.

HUANG, Y., CLAUDINE, M., OUELLET-PLAMONDON, C., THOMSON, S. J., REDDY, K. N. **Characterizing downwind drift deposition of aerially applied glyphosate using RbCL as tracer.** *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 10(3), p. 31-36. O'Connor-Marer, P. J. (2017).

HUITINK, G.; WALKER, J. T.; LAVY, T. L. Downwind deposition of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide (2,4-D) in invert emulsion. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 33, n. 4, p. 1051-1056, 1990.

JESUS, M. G. **Análises físico-químicas das caldas e espectro de gotas com diferentes formulações de inseticidas em simulação de aplicação aérea.** 2019. Tese (Doutorado). - Curso de Agronomia, Agricultura, "Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2019.

MARTIN, D. E.; FRITZ, B. K. **Measurement and Analysis Methods for Determination of Effective Swath Width from Unmanned Aerial Vehicles.**

Pesticide Formulation and Delivery. Systems: 40th Volume, Formulation, Application, and Adjuvant Innovation, ed. C. M. Elsik (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020), pp 62–85, 2020.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. **Efeito da altura de aplicação e velocidade do solo no padrão de pulverização e espectros de gotículas de sistemas de aplicação aérea pilotados remotamente.** Drones 2019, 3, 83.

MATTEWS, G.A. **Pesticide application methods.** 2.ed. London: Longman, 1992. 405p.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Aerial Application.** John Wiley & Sons, Oxford-UK, 2014. p. 299-335. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Pesticide+Application+Methods%2C+4th+Edition-p-9781118351307>. Acessado em: 07 de julh de 2021.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Pesticide Application Methods. In. MATUO. T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas.** Jaboticabal: Funep, 1990. 139 p.

MONTEIRO, M. V. de M. **Compêndio de aviação agrícola.** Gráfica e Editora Cidade: Sorocaba-SP, 2006. 298p.

O'CONNOR-MARER, P. J. (2017). **Aerial applicator's manual: A national pesticide applicator certification study guide.** Arlington, VA: National Association of State Departments of Agriculture Research Foundation.

OLIVEIRA, V. A. B.; OLIVEIRA, G. M.; GIGLIOTTI, E. A.; IGARASHI, W. T.; SAAB, O. J. G. A. Desempenho de bicos rotativos e hidráulicos na aplicação aérea de fungicidas em canade-açúcar. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 3, p.111-122, 2011.

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea.** São Paulo: STA, 2006. 101 p.

PALLADINI, L. A., RAETANO, C. G., VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

PARKIN, C. S.; WYATT, J. C. **The determination of flight-lane separations for the aerial application of herbicides.** Crop Protection, v. 1, n. 3, p. 309-321, 1982.

PAULINE VAISSIE, ASTRID MONGE and FRANCOIS HUSSON (2021). R package version 2.4. **Factoshiny: Perform Factorial Analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application.**

PICOT, J. J. C. et al. Measurements of folial and ground deposits in forestry aerial spraying. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph v. 36, n. 4, p. 1013-1024, 1993.

PRADO, F. R. W. **Avaliação de deposição e deriva do espectro de gotas de produtos químicos aplicados por aeronaves na agricultura.** Dissertação

(Mestrado) – Curso de Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração, Centro Universitário La Salle-Unilasalle, Canoas, 2017. 36 p.

PRICE, R. R. A low-cost spot laser and camera system for fluorescent dye detection of agricultural aircraft pattern collection strings. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 187, 2018.

QUEIROZ, M. F. P. **Espectro de gotas e características físicas de caldas com adjuvantes tensoativos e os herbicidas glyphosate e 2, 4-D, isolados e em mistura**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2018.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REED, W. B.; WACKER, E. Determining distribution pattern of dry-fertilizer applicators. **Transactions of the ASAE**, v. 13, n. 1, p. 85-0089, 1970.

RENCHER, A. C., & CHRISTENSEN, W. F. (2002). **Methods of Multivariate Analysis**. John Wiley & Sons, Inc.: Toronto, ON, Canada. <https://doi.org/10.1002/0471271357>.

ROTH, L. O. 1982. Aerial application of pesticides: principles and practices for improved performance. **Proceedings of the Belt-Wide Cotton Production Conference**. Las Vegas, NV. Jan, 1982.

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

SALVADOR, J. F. **Análise da deposição em aplicações aéreas de defensivos em função de diferentes alturas de voo e volumes de calda**. 2011. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2011.

SCHRÖDER, E. P. **Avaliação de deriva e deposição de pulverizações aeroagrícolas na região sul do Rio Grande do Sul**. 1996. Dissertação de mestrado em Agronomia. Pelotas: UFPel, 1996.

SEBASTIEN LE, JULIE JOSSE, FRANCOIS HUSSON (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, 25(1), 1-18. [10.18637/jss.v025.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01).

SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola). **Dados sobre a aviação agrícola**. 2021. Disponível em: <https://sindag.org.br/dados-sobre-a-aviacao-agricola/>. Acessado em: 05 de Jan de 2021.

SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola). **História da aviação agrícola**, 2020. Disponível em: <https://sindag.org.br/historia/>. Acessado em: 10 de Jan de 2021.

TESKE, M. E. et al. A simulation of boom length effects for drift minimization. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 3, p. 545, 1998.

THOMSON, S. J.; WOMAC, A. R.; MULROONEY, J. E. Reducing pesticide drift by considering propeller rotation effects from aerial application near buffer zones. **Sustainable Agriculture Research**, v. 2, n. 3, p. 41-51. 2013.

THRUSH AIRCRAFT. **From the best laid plans come the best made planes**. 2021. Disponível em: <https://www.thrushaircraft.com/en/aircraft.html>. Acessado em: 12 de Fev de 2021.

VELINI, E. D.; ANTUNIASSI, U. R.; CARBONARI, C. A.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; CARVALHO, W. P. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, M. A. P. Avaliação da Deriva de Aplicações Aéreas em Cana-de-açúcar. In: V SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos, 2011, Cuiabá-MT. **Resumos...** Cuiabá-MT, 2011. v. 1.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M.C.; TEIXEIRA, M.M.; ROSELL, J. R.; MACHADO, A.F.L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Revista Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.

WHITNEY, R. W., & ROTH, L. O. (1985). **String collectors for spray pattern analysis**. *Trans. (American Society of Agricultural Engineers)*, *ASAE* 28(6), 1749-1753. <https://doi.org/10.13031/2013.32512>.

WHITNEY, R. W., and D. K. KUHLMAN. 1983. Pattern analysis of agricultural aircraft. SAE Technical Paper Series No. 830765. SAE, 400 **Commonwealth Drive**, Warrendale, PA 15096.

WOLF, D. D., and E. S. SMITH. 1979. Uniformity of seed and fertilizer distribution with a hand-operated spinning spreader. **TRANSACTIONS of the ASAE** 22(4):761-762, 770.

WOMAC, A. R.; MULROONEY, J. E.; BOUSE, L. F. Spray drift from high-velocity aircraft. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 2, p. 341-347, 1993.

WYNN, Christopher Ross. **Drone Technology: Is It Worth the Investment in Agriculture**. 2019. Tese de Doutorado. The University of Nebraska-Lincoln.

YATES, W. E. 1962. Spray pattern analysis and evaluation of deposits from agricultural aircraft. **TRANSACTIONS of the ASAE** 5(1):49-53.

YATES, W. E.; AKESSON, N. B. **Marcadores fluorescentes para análise quantitativa de micro resíduos**. *Trans. ASAE*, 6 (2), p.104-107. 1963.

ZAIDAN, S. E. **Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (*Glycine max*)**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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.

ZHANG, D. et al. Evaluating effective swath width and droplet distribution of aerial spraying systems on M-18B and Thrush 510G airplanes. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 2, p. 21-30, 2015.