



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

# DERIVA E FAIXA DE SEGURANÇA

## NA PULVERIZAÇÃO AEROAGRÍCOLA



BRASÍLIA - DF  
2024

Universidade de Brasília  
Núcleo de Estudos em Atividades Aeroagrícolas

**Deriva e Faixa de Segurança na Pulverização Aeroagrícola**

BRASÍLIA - DF  
2024

**Elaboração e informações:**

**Equipe do Núcleo de Estudos em Atividades Aeroagrícolas - NEAAGRI**

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte –  
Brasília/DF, Brasil

CEP: 70.910-970

E-mail: maisajoaquim@unb.br

**Equipe do Núcleo de Estudos em Atividades Aeroagrícolas - NEAAGRI:**

Dr. Álvaro Nogueira de Souza, Doutor em Engenharia Florestal (UnB)

Dr<sup>a</sup>. Máisa Santos Joaquim, Doutora em Ciências Florestais (UnB)

Eng<sup>a</sup>. Agr. Beatriz Alves Fernandes da Cruz, Mestranda em Agronomia (UnB)

GRH Bárbara Martins Passos, Graduanda em Agronomia (UnB)

Daniel Alves da Guarda, Graduando em Agronomia (UnB)

Isa Maria Mendonça Miranda, Graduanda em Agronomia (UnB)

**Organização:** Núcleo de Estudos em Atividades Aeroagrícolas - NEAAGRI.



## APRESENTAÇÃO

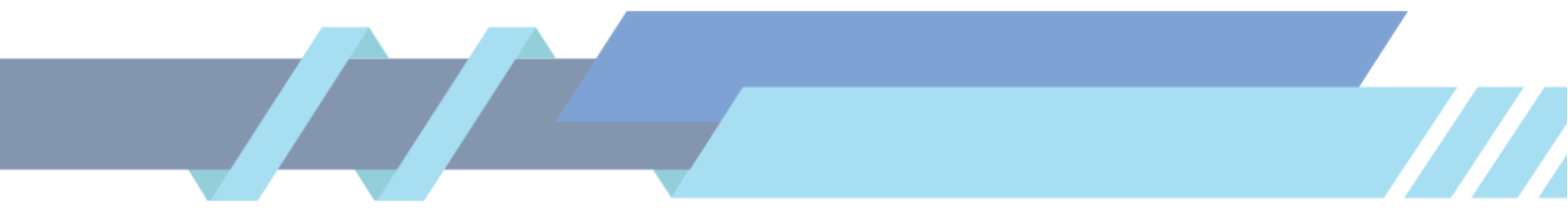
O Núcleo de Estudos de Atividades Aeroagrícolas - NEAAGRI - foi idealizado pela professora Dr<sup>a</sup>.Maísa Santos Joaquim, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília, e sua implementação só foi possível com a dedicação e empenho de um grupo de discentes. É um centro de excelência dedicado ao desenvolvimento de pesquisas na área aeroagrícola, com o objetivo principal de promover a inovação e a sustentabilidade no uso de tecnologias aeroagrícolas no Brasil.

É o primeiro Grupo de Pesquisa do Brasil cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - e conta com oito (8) Pesquisadores e trinta e um (31) discentes, entre graduação e pós-graduação.

A criação do NEAAGRI foi necessária para que a demanda sobre informações geradas por pesquisas científicas relacionadas às atividades aeroagrícolas, demonstrada pelo público do 1º Fórum Nacional de Aviação Agrícola no Planalto Central - FONAVAGRI - fosse suprida. Com o FONAVAGRI foi possível perceber o quão necessário é a difusão de informações técnicas para desmistificar a atividade aeroagrícola para a sociedade científica e civil.

Temos o objetivo de desenvolver pesquisas voltadas à área aeroagrícola, abordando temas sobre tecnologia, recursos humanos, comunicação, gestão, sustentabilidade, legislação e regulamentação e, viabilidade econômica. Temos um grupo seletivo de parceiros que nos proporcionam aulas de campo com atividades práticas, cursos, acesso a eventos do setor e demais experiências. O Núcleo tem como foco a formação de profissionais altamente qualificados, capazes de atuar de maneira crítica e inovadora na resolução de desafios relacionados à agricultura de precisão e ao uso sustentável das tecnologias aeroagrícolas, com isso, buscamos contribuir para o avanço do setor agrícola brasileiro, promovendo a segurança alimentar, a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico.

Além de suas atividades de pesquisa, o NEAAGRI-UnB atua na disseminação do conhecimento por meio de eventos acadêmicos, seminários, workshops e publicações científicas, trabalhando em parceria com instituições de pesquisa, empresas do setor agrícola e órgãos governamentais para garantir que suas pesquisas tenham impacto real e positivo no campo.



## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- ADI** - Ação Direta de Inconstitucionalidade
- ANA** - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ANAC** - Agência Nacional de Aviação Civil
- ARPs** - Aeronaves Remotamente Pilotadas
- ATSB** - Agência Australiana de Segurança no Transporte (Australian Transport Safety Bureau)
- AVAG** - Revista de Aviação Agrícola
- ASAE** - Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas (American Society of Agricultural Engineers)
- BCE/UnB** - Biblioteca Central da Universidade de Brasília
- CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CAS** - Certificação Aeroagrícola Sustentável
- CAVAG** - Curso de Aviação Agrícola
- CEAA** - Curso de Executor de Aviação Agrícola
- CFR** - Código de Regulamentações Federais (Code of Federal Regulations)
- CGAA** - Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins
- CONAB** - Companhia Nacional de Abastecimento
- CV** - Coeficiente de Variação
- DISAG** - Divisão de Fiscalização de Serviços Agropecuários
- DGPS** - Sistema Diferencial de Posicionamento Global (Differential Global Positioning System)
- DRT** - Tecnologia de Redução de Deriva (Drift Reduction Technology)
- DMV** - Diâmetro mediano volumétrico
- EMBRAER** - Empresa Brasileira de Aeronáutica
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPA** - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency)
- 

**EPIs** - Equipamentos de Proteção Individual

**FAO** - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

**FAA** - Administração Federal de Aviação (Federal Aviation Administration)

**FIFRA** - Lei Federal de Inseticidas, Fungicidas e Rodenticidas (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act)

**GPS** - Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)

**GUTD** - Gear-up and Throttle-down

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**IN** - Instrução Normativa

**INC** - Instrução Normativa Conjunta

**LERAP** - Avaliação de Risco Ambiental Local para Pesticidas (Local Environmental Risk Assessment for Pesticides)

**MA** - Ministério da Agricultura

**MAPA** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

**MCA** - Manual do Comando da Aeronáutica

**NAAA** - Associação Nacional de Aviação Agrícola dos Estados Unidos

**NASA** - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (National Aeronautics and Space Administration)

**PHS** - Papel Hidrossensível

**PL** - Projeto de Lei

**PSA** - Papel Sensível à Água

**RAB** - Registro Aeronáutico Brasileiro

**RBAC** - Regulamento Brasileiro da Aviação Civil


**SciELO** - Biblioteca Científica Eletrônica Online (Scientific Electronic Library Online)

**SFA** - Superintendência Federal de Agricultura

**SIFISV/DDA/SFA-UF** - Serviço de Fiscalização de Insumos Agrícolas, Inspeção de Produtos de Origem Vegetal e Sanidade Vegetal

**STF** - Supremo Tribunal Federal

**UF** - Unidade Federativa



**USDA** - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture)

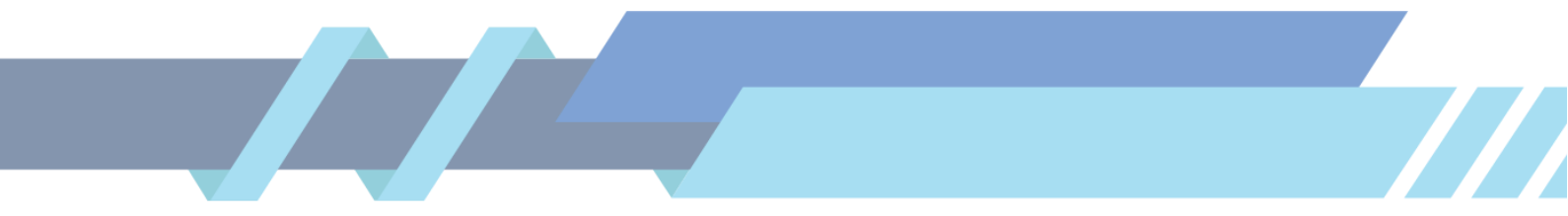
**VANT** - Veículos Aéreos Não Tripulados

**VMD** - Diâmetro Médio Volumétrico (Volume Median Diameter)



## SUMÁRIO

1. RESUMO EXECUTIVO.....	12
2. INTRODUÇÃO.....	15
3. OBJETIVOS.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
4.2 AJUSTE DA EQUAÇÃO.....	19
5. CONDIÇÕES PARA APLICAÇÃO.....	28
6. FAIXA DE SEGURANÇA.....	32
7. CONDIÇÕES E PREMISSAS PARA REALIZAR O TESTE DE DEPOSIÇÃO DE FAIXA.....	38
7.1 ANÁLISE DA FAIXA DE DEPOSIÇÃO.....	40
7.2 MÉTODO QUANTITATIVO.....	41
7.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO.....	43
8. PERDAS ECONÔMICAS.....	47
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
9.1 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO.....	56
9.2 PROJEÇÃO OU PREVISÃO.....	59
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÊNDICE.....	85
1. CENÁRIO DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA.....	85
2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	92
3. ÓRGÃOS REGULADORES.....	103
4. ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA NOS ESTADOS UNIDOS.....	106
5. PROIBIÇÕES À ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA.....	110
6. OBSTÁCULOS DA ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA.....	113

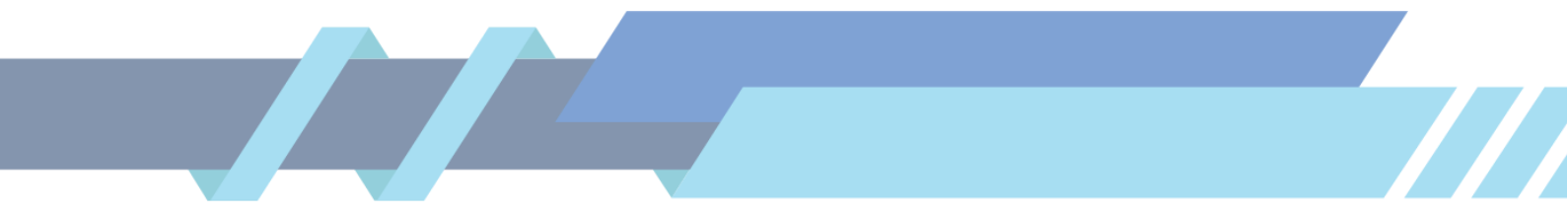


## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Número de amostras por estados da Federação .....	20
<b>Figura 2</b> - Esquema de saída do software mostrando a faixa de deposição efetiva e a área total de deposição .....	27
<b>Figura 3</b> - Faixa de deposição de aeronaves .....	40
<b>Figura 4</b> - Faixa de deposição total e efetiva .....	60
<b>Figura 5</b> - Evolução da frota de aeronaves agrícolas no Brasil (2008-2021) .....	87
<b>Figura 6</b> - Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com sua origem (2008-2021) .....	88
<b>Figura 7</b> - Frota de aeronaves agrícolas no Brasil por Estado (2021) .....	89
<b>Figura 8</b> - Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com seu modelo (2021) .....	91
<b>Figura 9</b> - Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com o fabricante (2021) .....	92
<b>Figura 10</b> - Linha cronológica de legislação .....	102

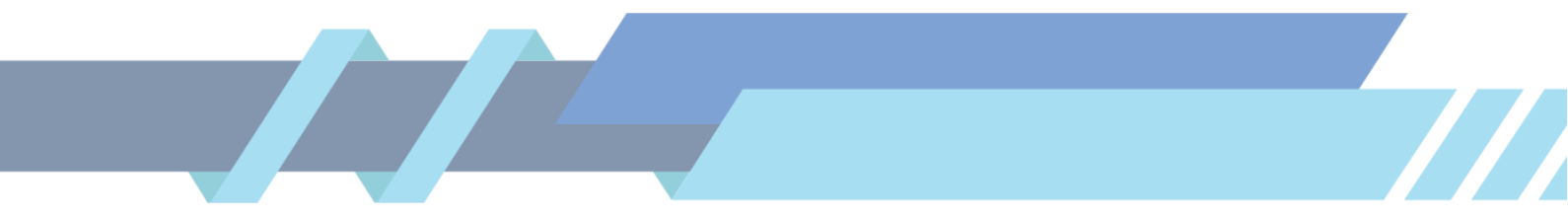
## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Análise de variância .....	58
<b>Tabela 2</b> - Análise de variância .....	59
<b>Tabela 3</b> - Valores médios, máximos e mínimos do conjunto de dados utilizados no estudo .....	61



## Lista de Quadros

<b>Quadro 1</b> - Estados, municípios e número de amostras onde foram coletados os dados do estudo .....	21
<b>Quadro 2</b> - Exemplo dos dados coletados e analisados no estudo de faixas de deposição ....	25
<b>Quadro 3</b> - Principais autores referenciados .....	53
<b>Quadro 4</b> - Trabalhos científicos e os valores de deriva observados .....	61



## 1. RESUMO EXECUTIVO

A pulverização aérea desempenha um papel crucial na proteção e manejo de cultivos agrícolas em todo o mundo. A capacidade de aplicar produtos químicos de forma rápida e eficiente sobre grandes áreas tornou essa técnica essencial para aumentar a produtividade agrícola e garantir a segurança alimentar (FAO, 2020). Em que pese a grande utilidade da atividade para a segurança alimentar, para o combate a incêndios florestais, para o repovoamento de peixes em grandes lagos, para a dispersão de sementes e para a aplicação de fertilizantes, a característica que marca a atividade, é aqui ela ainda é associada aos problemas de deriva indesejada. A deriva em pulverização aérea ocorre quando as gotas de pulverização desviam do alvo pretendido, sendo transportadas pelo vento para áreas não desejadas. Tal fato se dá quando as boas práticas de manejo na aplicação são negligenciadas em detrimento da produtividade a qualquer custo. Para evitar maiores problemas com a deriva, a legislação estabelece limites chamados de largura de segurança para aplicação. Os limites vão de 250 a 500 metros em uma faixa em que a aplicação deixa de ser realizada com aeronaves e passam a ser realizadas por equipamentos terrestres, impactando em maior tempo, maior custo e, nem sempre, menor risco de acidentes. Partimos dessa realidade do reconhecimento mundial da atividade aeroagrícola, dos problemas ocasionados pela desinformação, e pela falta de marcos científicos para propor que seja reaberta a discussão para os limites da largura de segurança tendo como base a análise da literatura pertinente ao tema, e, apresentamos uma metodologia para padronizar estudos de deriva, a construção de modelos de regressão. Nesse estudo você irá encontrar um documento baseado no estado da arte da atividade aeroagrícola, no que diz respeito à deriva e no uso dados para gerar um modelo de regressão que mostre o potencial do método para padronizar os estudos que pretendem mostrar a deriva e seu controle. Utilizamos métodos de análise de literaturas para o entendimento dos conceitos e dos trabalhos que analisaram a deriva por anos de estudo, tanto no Brasil quanto no exterior. Utilizamos dados de campo obtidos para estudo a faixa de deposição para gerar um modelo de regressão e mostrar quais são, para o conjunto de dados, os fatores que explicam a deriva. Os resultados mostraram que os estudos que tratam da deriva, geralmente, apontam que ela é causada quando não se observa condições como a umidade relativa do ar superior a 50%, a

temperatura inferior a 30°C e a velocidade do vento entre 3 e 10 km/h. A ausência total de vento também pode ser perigosa, especialmente devido à possibilidade de inversões térmicas ou correntes ascendentes de ar aquecido, que dificultam a deposição das gotículas mais finas (Zago, 2019). O tamanho da gota também é fundamental no estudo da deriva, com tamanhos entre 50 e 100  $\mu\text{m}$  podem ser carregadas por ventos fortes. De forma geral são considerados 14 fatores que afetam a deriva, tais como, altura de voo, velocidade da aeronave, pressão de pulverização, tipo e localização dos bicos, direção e velocidade do vento, condições meteorológicas, configuração de barra de pulverização, tipo de produto aplicado, topografia do terreno, falhas ao acúmulo de calda, modelo do avião, vórtices de pontas de asas, volume de calda e tamanho de gotas. Também, há na literatura informações que indicam que a tecnologia na aplicação e a tecnologia na produção dos produtos, avançaram muito nos últimos anos, proporcionando, assim, que a deriva como problema, pudesse ser reduzida a bem poucos metros além da faixa de deposição desejável. Para corroborar essa afirmativa sobre o controle da deriva, dados de testes de faixa de deposição foram coletados e testados para propor um modelo de regressão para estimar a deriva em função de variáveis de fácil medição. Os dados foram coletados em fazendas de 108 municípios em 14 estados brasileiros. As coletas foram realizadas em um período que compreendeu as safras 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024. Os dados analisados foram formados por informações de faixa de aplicação (m), altura de voo (m), pressão informada pelo piloto (PSI), volume de calda (l/ha), temperatura (°C), umidade relativa (%), incidência de ventos (km/h), deriva asa esquerda (m), deriva asa direita (m), deriva total (m) e diâmetro médio volumétrico ( $\mu$ ). Do total de 400 amostras, 300 formaram a base de dados para gerar um modelo de regressão em que a variável dependente foi a deriva e as variáveis independentes foram as demais já informadas. Os outros 100 conjuntos de dados foram utilizados para a validação do modelo de regressão. Após o primeiro modelo geral da deriva em função faixa de aplicação, da altura de voo, da pressão, do volume de calda, da temperatura, da umidade relativa, da incidência dos ventos e do diâmetro médio volumétrico, ser gerado, observamos que apenas duas variáveis foram significativas para explicarem a deriva para o conjunto de dados, a faixa de aplicação e altura de voo. Assim, novo modelo da deriva em função da altura de voo e da faixa de aplicação foi gerado, tendo as duas variáveis

se mostrado significativas pelas estatísticas testadas (Testes F, t e P) e o modelo tendo sua qualidade apontada pelo  $R^2$  de 98% para um erro padrão da estimativa (Syx) de 3,58%. Assim, mostramos o quanto podemos utilizar a modelagem como padrão para previsão e controle da deriva. O modelo ajustado foi utilizado na base de dados com 100 conjuntos e estimou a deriva com um quadrado médio do erro de 0,06, mostrando que uma vez modelada a deriva, ela poderá ser estimada por variáveis de fácil medição em campo. O que ficou implícito para o caso tratado aqui, é que mesmo as variáveis clássicas que afetam a deriva, não a afetaram no presente estudo. A explicação lógica é que não foram significativas para explicarem a deriva porque estavam em condições ótimas de aplicação para produzirem a faixa de deposição desejada. Com isso, podemos propor estudos que mostrem o controle de deriva gerando modelos de regressão para sua estimativa, controlando os fatores que são possíveis de serem controlados e evitando os fatores que não são possíveis de serem controlados. Logo, a discussão sobre a largura de segurança pode ser reaberta até que os marcos científicos de deriva total, seja por tipo de aeronave, seja por tipo de produto, possam ter seus modelos construídos a partir de dados que sejam obtidos no dia a dia da atividade em que os pilotos e sua equipe em terra, estejam desenvolvendo seu trabalho rotineiramente.



## 2. INTRODUÇÃO

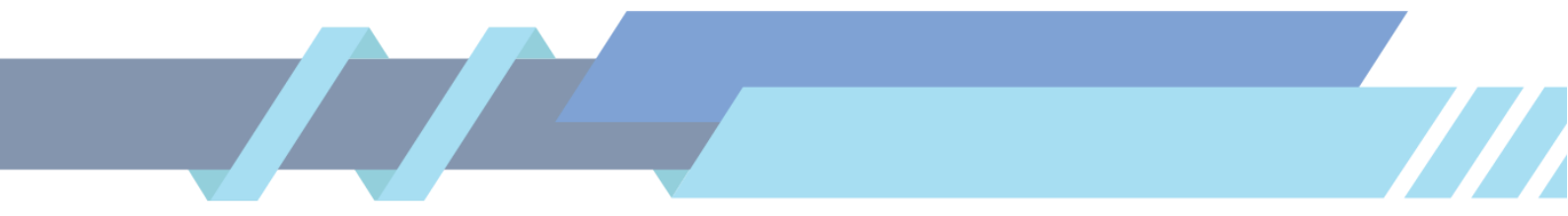
A aviação agrícola é uma área da aviação especializada no uso de aeronaves para aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes e sementes em áreas cultivadas, uso para povoamento de lagos por alevinos, combate a incêndios florestais e rurais, inspeções, mapeamentos, nucleação de nuvens e, como visto com a tragédia ambiental no Rio Grande do Sul, assistência (distribuição de suprimentos básicos) em regiões com áreas pequenas para acesso de aeronaves maiores. Essa prática desempenha um papel fundamental na modernização e eficiência da agricultura, contribuindo para o aumento da produtividade e qualidade dos cultivos, permitindo a produção em larga escala

Os primeiros experimentos com aviação agrícola ocorreram nos Estados Unidos, na década de 1920, onde os pilotos da Primeira Guerra Mundial começaram a adaptar aeronaves de guerra para pulverização de defensivos e fertilizantes sobre campos agrícolas. As aeronaves usadas inicialmente eram antigas aeronaves de guerra modificadas, como os bombardeiros da Primeira Guerra Mundial (MAPA, 2020).

Nas décadas de 1930 e 1940 a aviação agrícola começou a se desenvolver mais sistematicamente durante este período, especialmente nos Estados Unidos, Canadá e Austrália. Os avanços tecnológicos permitiram a fabricação de aeronaves especificamente projetadas para a pulverização agrícola (Mhereb & Norder, 2018).

Houve uma rápida expansão da aviação agrícola, entre as décadas de 1950 e 1960 em muitos países ao redor do mundo. A introdução de defensivos químicos e fertilizantes aumentou a demanda por serviços aéreos de aplicação. Durante o período de 1970 e 1980, houve avanços significativos na tecnologia de aviação agrícola, incluindo o desenvolvimento de aeronaves mais eficientes e seguras, bem como sistemas de navegação e aplicação mais precisos (SINDAG, 2024).

A partir de 1990 a aviação agrícola continuou a evoluir com a introdução de novas tecnologias, como GPS e sistemas de telemetria, que tornaram a aplicação de defensivos agrícolas ainda mais precisa e eficiente. Além disso, houve um foco crescente na segurança e



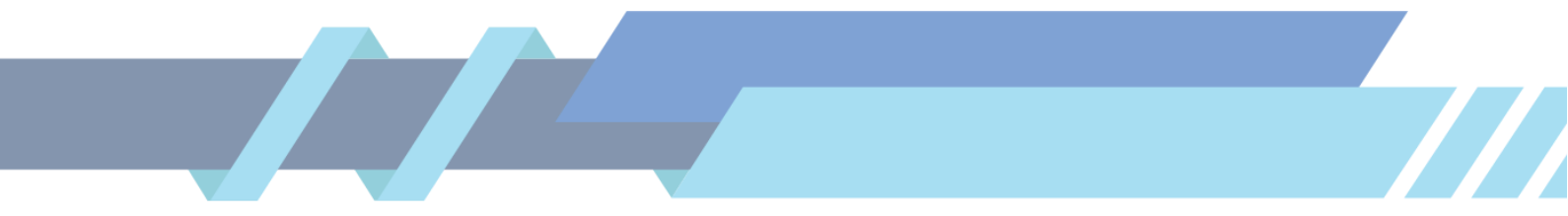
na redução da deriva da pulverização aérea, com adoção de boas práticas aeroagrícolas (Mossmann & Mossmann, 2023).

A deriva, de acordo com Miller (1993), é definida como a fração da pulverização agrícola que é desviada da área-alvo devido à ação do vento. Em outras palavras, a aplicação de um agrotóxico diluído em água pode resultar em perdas tanto por conta da técnica de aplicação quanto pela influência dos ventos.

Antuniassi, 2012; Matthews, Bateman, & Miller, 2014; Cunha, Farnese, & Olivet, 2013; Fox *et al.*, 2003; Cunha, Farnese, & Olivet, 2013; Silva, Costa, & Souza, 2015, afirmaram que vários fatores contribuem para a ocorrência da deriva em pulverização aérea, incluindo características do equipamento de aplicação, condições meteorológicas, formulação do produto químico, práticas de manejo, a altura de voo, o tamanho das gotas, a velocidade do vento e a estabilidade atmosférica são variáveis que afetam a dispersão das gotas, assim, a compreensão dos fatores que influenciam a deriva é essencial para o desenvolvimento de práticas de pulverização mais seguras e eficazes.

Nos últimos anos, houve avanços significativos na tecnologia de pulverização aérea, visando melhorar a precisão, eficiência e segurança na aplicação. Novos sistemas de navegação por GPS e DGPS permitem uma aplicação mais precisa dos produtos químicos, reduzindo a deriva e minimizando a contaminação de áreas não destinadas (Zeng, X., *et al.*, 2021). O desenvolvimento de bicos de pulverização de baixa deriva e adjuvantes especiais, além de drones agrícolas permitem uma aplicação mais precisa dos produtos, reduzindo a deriva. Some-se a isso, as, novas formulações de produtos agroquímicos, como microencapsulados e formulações de liberação controlada que, também contribuíram para melhorar a eficácia da pulverização aérea.

A tecnologia empregada na pulverização aérea tem como objetivos a minimização da deriva, eficácia e segurança na aplicação, aumento da eficiência, consequentemente, minimização de custos e aumento da sustentabilidade ambiental, da lucratividade e segurança alimentar (Carvalho, 2006; FAO, 2020). Além de possuir uma legislação específica, a



pulverização é uma atividade regulada que só pode ser realizada por profissionais capacitados (Smith, A. B., *et al.*, 2020; Assunção *et al.*, 2022).

Em que pese a alta tecnologia empregada na aviação agrícola, oriunda de sua evolução por meio de pesquisas e experiências práticas ao longo do anos, juntando os esforços de vários atores da cadeia produtiva, a atividade ainda sofre com o preconceito e a desinformação.



### 3. OBJETIVOS

Diante do exposto, e, considerando o status atual da legislação pertinente, esse trabalho teve como objetivo geral analisar a deriva e a extensão da faixa de segurança (IN 02/2008). Especificamente buscamos:

1. Rever a literatura sobre aviação agrícola desde o histórico até os fatores que afetam deriva, suas características, suas consequências e sua mitigação;
2. Estimar por meio de análise de regressão uma equação para descrever a deriva com base em dados de campo coletados em diversos municípios de diversos estados brasileiros;
3. Propor eventual reabertura da discussão da norma IN 02/2008 e os limites de segurança para aplicação.



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 REVISÃO DE LITERATURA

O material utilizado foi composto por documentos disponíveis em sítios eletrônicos de diversas plataformas de pesquisa encontrados na internet. Assim, adotamos a metodologia de revisão literária e documental, seguindo cinco passos: “escanear documentos, fazer notas, estruturar a revisão literária, escrever a revisão e construir a bibliografia.” (Rowley & Slack, 2004).

Buscou-se, por meio desta pesquisa, apresentar, de maneira geral, estudos a respeito do histórico da aviação agrícola, do presente da aviação agrícola, da deriva de pulverização aérea e determinação da faixa de segurança para aplicação, desde o início das atividades aeroagrícolas no Brasil.

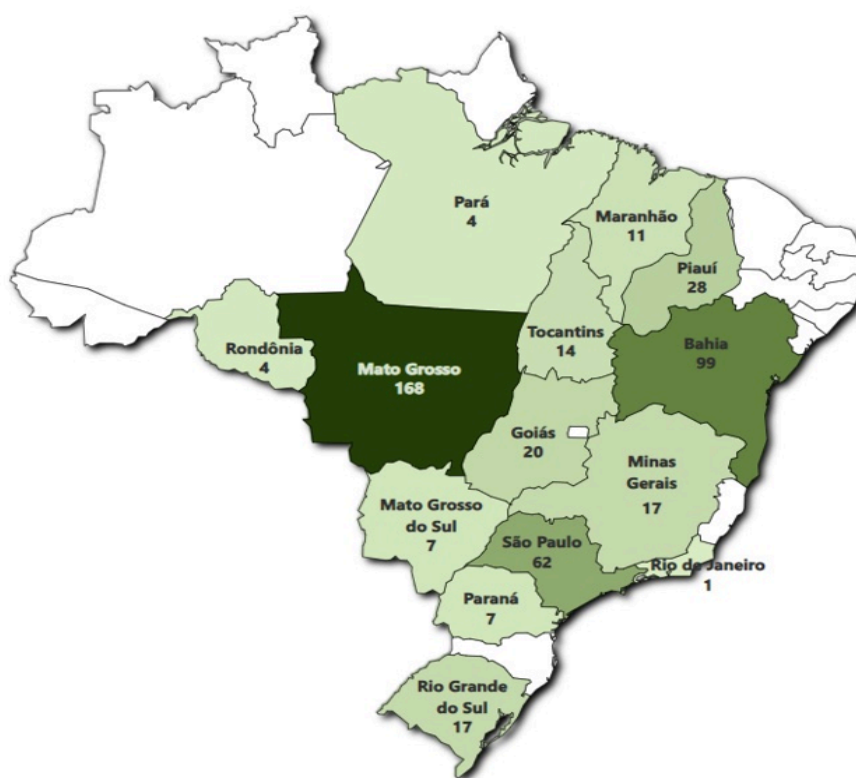
Foram realizadas buscas por material dentro das plataformas eletrônicas CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php?>, Google Acadêmico (disponível em: <https://scholar.google.com.br/>, SciELO (disponível em: <https://www.scielo.org/>), na Biblioteca Central da Universidade de Brasília (disponível em: <https://bce.unb.br/>), *National Center of Biotechnology Information* (disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) para dados quantitativos, aprofundando na *National Library of Medicine* (disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), SCOPUS (disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>), SPRINGER (disponível em: <https://www.springer.com/gp>), Publons (disponível em: [https://publons.com/publon/?order\\_by=date](https://publons.com/publon/?order_by=date)) e *Web of Science* (disponível a partir da plataforma CAPES) envolvendo as palavras-chave: pulverização aérea e deriva. A busca foi realizada utilizando tanto as palavras mencionadas como sua versão traduzida para o inglês: *Aerial Spraying and Drift*.

## 4.2 AJUSTE DA EQUAÇÃO

### 4.2.1 Coleta de dados

Os dados foram coletados em fazendas de 108 municípios em 14 estados brasileiros sendo as propriedades mantidas aqui em anonimato (Quadro 1). As coletas foram realizadas em um período que compreendeu as safras 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024. A Figura 1 mostra os estados onde foram realizadas as coletas de dados.

**Figura 1.** Número de amostras por estados da Federação.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Podemos observar que os estados mais representativos em número de amostras foram Mato Grosso, Bahia e São Paulo, enquanto os estados do Rio de Janeiro, Pará e Rondônia foram os menos representativos. A seguir no Quadro 1 temos os municípios em cada Unidade da Federação com o número de amostras.

**Quadro 1.** Estados, municípios e número de amostras onde foram coletados os dados do estudo.

<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>NÚMERO DE AMOSTRAS</b>
Bahia	Barreiras	4
Bahia	Correntina	8
Bahia	Formosa do Rio Preto	14
Bahia	Jaborandi	7
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	9
Bahia	Riachão das Neves	3
Bahia	Roda Velha	6
Bahia	Rosário	3
Bahia	São Desidério	45
Goiás	Caçu	1
Goiás	Formosa	1
Goiás	Jataí	4
Goiás	Luziânia	1
Goiás	Mineiros	3
Goiás	Montividiu	2
Goiás	Rio Verde	5
Goiás	São Miguel do Passa Quatro	1
Goiás	Sítio D'Abadia	2
Maranhão	Açailândia	1
Maranhão	Afonso Cunha	1
Maranhão	Balsas	3
Maranhão	Imperatriz	2
Maranhão	Loreto	1
Maranhão	Tasso Fragoso	3
Mato Grosso	Alto Garças	2
Mato Grosso	Campo Novo do Parecis	11
Mato Grosso	Campo Verde	2

<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>NÚMERO DE AMOSTRAS</b>
Bahia	Barreiras	4
Bahia	Correntina	8
Bahia	Formosa do Rio Preto	14
Bahia	Jaborandi	7
Mato Grosso	Canarana	6
Mato Grosso	Cláudia	1
Mato Grosso	Confresa	2
Mato Grosso	Diamantino	3
Mato Grosso	Espigão do Leste	1
Mato Grosso	Feliz Natal	1
Mato Grosso	Gaúcha do Norte	1
Mato Grosso	General Carneiro	4
Mato Grosso	Itiquira	2
Mato Grosso	Lucas do Rio Verde	42
Mato Grosso	Nova Canaã do Norte	2
Mato Grosso	Nova Mutum	2
Mato Grosso	Nova Ubiratã	2
Mato Grosso	Paranatinga	1
Mato Grosso	Porto Alegre do Norte	2
Mato Grosso	Porto dos Gaúchos	8
Mato Grosso	Primavera do leste	6
Mato Grosso	Querência	4
Mato Grosso	Rosário Oeste	2
Mato Grosso	Santa Carmem	4
Mato Grosso	Santa Cruz do Xingu	2
Mato Grosso	Santa Rita do Trivelato	2
Mato Grosso	São Felix do Araguaia	1
Mato Grosso	Sapezal	12
Mato Grosso	Sinop	10
Mato Grosso	Sorriso	19
Mato Grosso	Tabaporã	7
Mato Grosso	Tapurah	1
Mato Grosso	Vera	1
Mato Grosso	Vila Rica	2
Mato Grosso do Sul	Chapadão do Sul	2

<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>NÚMERO DE AMOSTRAS</b>
Bahia	Barreiras	4
Bahia	Correntina	8
Bahia	Formosa do Rio Preto	14
Bahia	Jaborandi	7
Mato Grosso do Sul	Costa Rica	1
Mato Grosso do Sul	Naviraí	1
Mato Grosso do Sul	Nova Alvorada do Sul	1
Mato Grosso do Sul	Rio Brillhante	1
Mato Grosso do Sul	São Gabriel do Oeste	1
Minas Gerais	Campo Florido	3
Minas Gerais	Coromandel	4
Minas Gerais	Delta	1
Minas Gerais	Frutal	2
Minas Gerais	Iturama	1
Minas Gerais	João Pinheiro	1
Minas Gerais	Perdizes	2
Minas Gerais	Uberaba	2
Minas Gerais	Varjão de Minas	1
Pará	Redenção	3
Pará	Santana do Araguaia	1
Paraná	Iguatemi	2
Paraná	Palotina	5
Piauí	Baixa Grande do Ribeiro	2
Piauí	Bom Jesus	2
Piauí	Gilbués	9
Piauí	Sebastião Leal	12
Piauí	Uruçuí	3
Rio de Janeiro	Niterói	1
Rio Grande do Sul	Sarandi	3
Rio Grande do Sul	Rio Grande	14
Rondônia	Nova Mamoré	2
Rondônia	São Miguel do Guaporé	2
São Paulo	Assis	9
São Paulo	Descalvado	2
São Paulo	Guaira	5

ESTADO	MUNICÍPIO	NÚMERO DE AMOSTRAS
Bahia	Barreiras	4
Bahia	Correntina	8
Bahia	Formosa do Rio Preto	14
Bahia	Jaborandi	7
São Paulo	Iacanga	1
São Paulo	Leme	3
São Paulo	Mirante do Paranapanema	1
São Paulo	Mococa	1
São Paulo	Novo Horizonte	1
São Paulo	Olímpia	3
São Paulo	Orlândia	4
São Paulo	Ouroeste	2
São Paulo	Paraguaçu Paulista	2
São Paulo	Piracicaba	1
São Paulo	Ribeirão Preto	2
São Paulo	Santa Adélia	5
São Paulo	São Joaquim da Barra	6
São Paulo	São José do Rio Preto	13
São Paulo	Suzanópolis	1
Tocantins	Caseara	1
Tocantins	Lagoa da Confusão	11
Tocantins	Porto Nacional	2

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Os dados analisados foram formados por informações de faixa de aplicação (m), altura de voo (m), pressão informada pelo piloto (PSI), volume de calda (l/ha), temperatura (°C), umidade relativa (%), incidência de ventos (km/h), deriva asa esquerda (m), deriva asa direita (m), deriva total (m) e diâmetro médio volumétrico ( $\mu$ ). Nas atividades de campo foram controladas todas as variáveis que afetam a excelência na deposição de faixa de aplicação. Em todos os casos, em todas as fazendas, repetidas vezes, o controle da faixa de deposição resultou em deposições perfeitas. A seguir apresentamos uma parte dos dados analisados para formação do modelo proposto (Quadro 2).

**Quadro 2.** Exemplo dos dados coletados e analisados no estudo de faixas de deposição.

Faixa de Aplicação (m)	Deriva Total (m)	Altura de Voo (m)	Pressão informada pelo piloto (PSI)	Taxa de Aplicação (L/ha)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Incidência de Ventos (Km/h)
24	21,4	5	26	15	30	16	7
28	17,6	8	24	11	32	27	19
18	27,4	6,5	22	10	20	60	4,8
15	30,4	5,5	15	30	32	37	6,4
28	17,6	7	24	10	30	50	6
22	23,8	8,5	30	20	31	48	8
28	17,6	5	33	30	23	87	12
20	26,2	10	20	28	36	46	8
20	26,2	10	25	22	32	47	4,5
17	28,6	6	30	30	20	72	6

Fonte: Elaboração própria (2024).

#### 4.2.2 Métodos

Partindo do pressuposto de que as análises para se ter excelência na faixa de deposição, ou seja, a certeza de que o produto aplicado foi depositado onde se planejou, assumimos que as condições controladas na aplicação, por consequência, também causariam mínima deriva. Assim, assumimos que a deriva é função das condições adotadas na aplicação, condições essas controladas de acordo com os fatores constantes no quadro 1, e que, de domínio público, sendo negligenciados, poderão gerar deriva além da necessária para fazer com que o produto acerte o alvo. Para tanto, recorreremos à regressão linear múltipla como metodologia (Draper e Smith, 1998; Matos, 2000; Gujarati, 2006). Ainda seguindo a indicação dos autores, utilizamos o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários para a estimativa dos parâmetros da equação de regressão. Seguimos os passos de Gujarati (2006) para chegarmos ao modelo ideal e sua indicação de uso. Os passos para a construção do modelo são:

### **I) Exposição da teoria hipótese**

A teoria e a prática de aplicação agrícola por meio de aeronaves já mostraram que a ocorrência da deriva desejável e não desejável é proporcionada por fatores como a faixa de deposição (FD), a altura de voo (AV), a pressão (P), a taxa de aplicação (TA), a temperatura (T), a umidade relativa (UR) e a velocidade do vento (VV) (Matthews, Bateman, & Miller, 2014; Silva, Costa, & Souza, 2015; Antuniassi, 2012; Fox *et al.*, 2003).

Assim, nosso modelo teórico coloca como variável dependente a deriva (D) e como variáveis independentes as demais apresentadas anteriormente.

### **II) Especificação do Modelo Matemático**

O Modelo Matemático proposto foi:

$$D = FD + AV + P + TA + T + RU + VV$$

### **III) Especificação do Modelo de Regressão**

O Modelo de Regressão linear múltipla com os parâmetros ( $b_n$ ) das variáveis e o componente de erro ( $u_i$ ) utilizado no estudo foi.

$$D = b_0 + b_1FD + b_2AV + b_3P + b_4TA + b_5T + b_6UR + b_7VV + / - u_i$$

### **IV) Obtenção dos dados**

Os dados são oriundos de estudos sobre a deposição de faixa realizados em 108 municípios em 14 estados brasileiros por um período que compreendeu as safras 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024. No total foram gerados 400 conjuntos de dados, sendo que 300 conjuntos utilizamos para estimativa do modelo e 100

conjuntos utilizamos para validar o modelo, ou seja, gerar a deriva com base na equação estimada e seus parâmetros para um conjunto de dados que não foi utilizado anteriormente.

A deriva considerada neste estudo foi aquele valor que ficou após a faixa de deposição efetiva até o final da faixa de deposição total, conforme ilustra a Figura 2. Embora o estudo de faixa de deposição não tenha como objetivo o estudo da deriva, utilizamos os dados do estudo para mostrar que a deriva pode ser modelada.

Para coletar os dados utilizamos a espectrofotometria de fio de acordo com a norma ASAE S386.2 (2018). A metodologia permite a saída do perfil gráfico da distribuição da pulverização testada e possibilita a determinação da largura da faixa efetiva e o cálculo do coeficiente de variação. O limite para o coeficiente de variação é de no máximo 20% (Roth, 1982).

**Figura 2.** Esquema de saída do software mostrando a faixa de deposição efetiva e a área total de deposição.



**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Na Figura 2 temos a área em verde indicando a deposição total e a área pontilhada mostrando a faixa considerada de deposição efetiva. Além disso, temos o eixo das abscissas indicando a distância em pés, e, nas ordenadas, temos a recuperação do corante em cada ponto do fio. Os valores em pés foram convertidos para metros.

### **V) Estimação dos parâmetros do modelo**

Como já foi mencionado, os parâmetros das variáveis do modelo foram ajustados com o uso do Método dos Mínimos Quadrados Ordinários. O modelo foi ajustado no ambiente Excel.

### **VI) Teste de Hipóteses**

No próprio ambiente Excel foram testadas as hipóteses básicas dos modelos de regressão que partem da premissa que os valores dos parâmetros ( $b_n$ ) são diferentes de zero.

### **VII) Projeção ou Previsão**

Após o modelo que expressa a deriva ter seus ajustes validados pelas estatísticas F, t e P e a qualidade do ajuste ser verificada pelos testes  $R^2$  (coeficiente de determinação), Syx (erro padrão da estimativa), utilizamos uma parte do conjunto de dados para prever a deriva com a aplicação da equação e calculamos o quadrado médio do erro para fins de comparação com o modelo.

### **VIII) Uso do modelo para auxiliar políticas públicas**

Após o uso para previsão e a comprovação que o modelo estima com qualidade a deriva para nosso conjunto de dados, apresentamos nossas considerações acerca da reabertura da discussão sobre a largura de segurança em aplicação aeroagrícola.

## 5. CONDIÇÕES PARA APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação visa minimizar os impactos ambientais distribuindo o princípio ativo de forma econômica e eficiente no alvo pretendido. Ao aplicar um produto, vários fatores são considerados. Além do alvo, a taxa de aplicação de pulverização (SAR), as propriedades físico-químicas do produto, seu destino ambiental e seu perfil toxicológico precisam ser contemplados. Quando utilizada com critérios técnicos bem definidos, a aplicação aérea é uma ferramenta útil. As condições meteorológicas, os parâmetros de aplicação e a natureza do alvo ou de outros elementos interceptores estão entre as variáveis que podem afetar a deriva (Teske, 2002).

As condições climáticas para a aplicação aérea defensiva são semelhantes às da aplicação terrestre, mas há algumas diferenças notáveis. A aplicação de defensivos é geralmente recomendada na literatura especializada em situações em que a umidade relativa do ar é superior a 50%, a temperatura é inferior a 30°C e a velocidade do vento é de 3 a 10 km/h. A ausência total de vento também pode ser perigosa, especialmente devido à possibilidade de inversões térmicas ou correntes ascendentes de ar aquecido, que dificultam a deposição das gotículas mais finas (Zago, 2019).

As inversões térmicas tendem a ocorrer em manhãs muito frias e com céu limpo, características típicas do inverno, quando o ar fica estagnado e a dinâmica atmosférica impede a deposição das gotículas mais leves. Nessas condições, a deriva da pulverização pode ser significativa. Gotículas pequenas podem cair lentamente ou serem suspensas, sendo transportadas a distâncias maiores por uma brisa leve. Portanto, é importante evitar a aplicação de defensivos durante os períodos de inversão térmica. De forma similar, durante as tardes muito quentes, é frequente a formação de correntes ascendentes de ar quente. Essas correntes, especialmente na ausência de vento, têm o potencial de transportar as gotículas a grandes distâncias, o que pode resultar em significativos prejuízos devido à deriva (Agrolink, 2023).

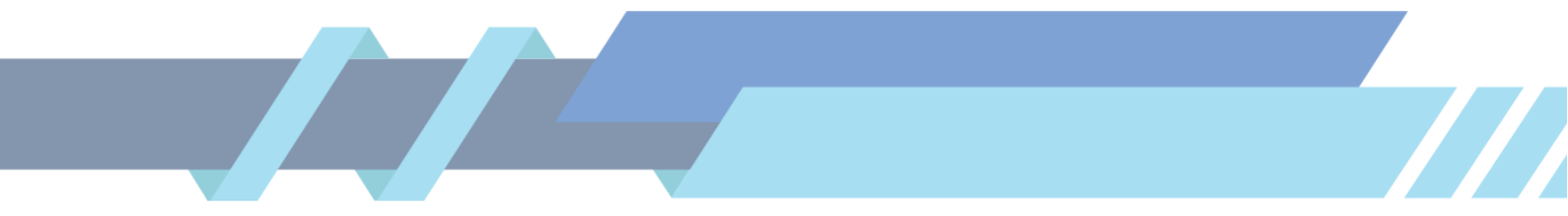
É importante ressaltar que cada produto e técnica de aplicação possuem características únicas, que podem afetar as consequências adversas para a aplicação de defensivos. Como descrito pela expressão de Amsden (1962), a convecção térmica pode levar à evaporação. Portanto, os fatores meteorológicos, como a temperatura e a umidade relativa do ar durante a aplicação, e especialmente o diâmetro das gotículas, podem ter um impacto significativo na eficácia do produto aplicado.

O volume adequado para cada tipo de produto depende da densidade das gotas, da época do ano e da forma como as pragas são combatidas nas plantas. Além disso, é importante levar em consideração o modo de ação do produto (contato, sistêmico etc.) e o clima no local da aplicação.

Em teoria, quanto menor o tamanho das gotículas, maior será a cobertura sobre o alvo, devido ao maior número de gotas geradas. No entanto, há também um aumento do risco de evaporação e deriva (Antuniassi *et al.*, 2004; Teixeira, 1997). Portanto, o tamanho das gotas é um fator crucial a ser considerado nas aplicações de agrotóxicos, pois o objetivo é atingir uniformemente o dossel da cultura.

Para Iost, (2008); Cunha *et al.* (2010), e Chechetto *et al.*, (2013) uma estratégia importante a ser utilizada como forma de diminuir o risco da deriva é a adição de adjuvantes agrícolas junto à calda a ser pulverizada. Algumas pesquisas demonstram o potencial dos adjuvantes na diminuição do risco de deriva das pulverizações de produtos fitossanitários.

Em geral, alguns adjuvantes tornam a calda mais espessa e com isto, ocorre um aumento no tamanho das gotas, minimizando o arraste causado pelo vento (Cunha & Carvalho, 2005). Ellis *et al.* (1997) avaliaram o efeito de adjuvantes na produção de gotas e verificaram que os adjuvantes provocaram alterações significativas no diâmetro e na velocidade das gotas, o que pode estar diretamente relacionado com a redução do risco potencial de deriva; situações como essa confirmam a ideia de que gotas pequenas geradas por atomizadores com adição de adjuvantes à calda, apresentam maior capacidade de penetração no dossel das plantas.



Para aplicações em ambientes com baixa umidade e temperaturas elevadas, é recomendável utilizar gotas maiores, pois estas têm uma evaporação mais lenta. Por outro lado, quando é necessária uma melhor penetração das gotículas, são utilizadas gotas menores, porém dentro de faixas de tamanho que minimizem os efeitos da deriva e da evaporação. Considerando esses aspectos, é importante selecionar faixas de diâmetros de gotas que proporcionem uma cobertura mais eficaz do alvo e uma maior deposição de gotas por centímetro quadrado, o que influencia diretamente o volume de aplicação (Andres, A; *et al.*, 2020).

Matthews (2000), sugere diferentes tamanhos de gotas para serem usados na pulverização. Gotas muito finas, com tamanho entre 50 e 100  $\mu\text{m}$ , são mais propensas a serem carregadas por ventos fortes, o que pode causar deriva durante a aplicação. Por outro lado, gotas menores proporcionam uma pulverização mais uniforme. O autor também observa que gotas maiores têm uma tendência maior a se depositar em superfícies horizontais, porque resistem melhor à influência do vento.

A qualidade da pulverização está diretamente ligada ao clima. A eficácia pode ser reduzida se essas condições não forem respeitadas, o que pode resultar em perdas devido à deriva em ventos fortes e à evaporação em condições de alta temperatura e baixa umidade (Christofoletti, 1999; Antuniassi, 2009).

É fundamental ter conhecimento das características das pontas de pulverização a serem utilizadas, pois quando são selecionadas corretamente, podem produzir partículas de tamanho adequado e seguro, permitindo uma aplicação eficiente e ambientalmente responsável (Cunha *et al.*, 2008). E, Chechetto (2011) enfatizou que compreender e classificar as partículas pulverizadas é essencial para alcançar qualquer grau de sucesso na pulverização.

A tecnologia de ponta, como bicos de pulverização projetados para reduzir a deriva e sistemas de controle de fluxo variado, contribui para a aplicação mais segura e sustentável dos produtos. Além disso, a possibilidade de tratar áreas maiores em menos tempo reduz a



frequência de aplicações necessárias, o que diminui a exposição do meio ambiente a agroquímicos (Zhang *et al.*, 2012).

As condições meteorológicas, o espectro de gotas e a uniformidade das aplicações são parâmetros importantes para garantir uma aplicação de qualidade, eficiência e segurança do processo e, para que isso ocorra, as equipes envolvidas na pulverização aérea devem receber treinamento contínuo.

Gentil-Sergent *et al.* (2021) analisaram 8 pesquisas sobre deposição e deriva de defensivos em condições tropicais, testando métodos manuais, terrestres e aéreos com diferentes técnicas operacionais e estágios de cultura. Eles concluíram que a deposição de deriva próxima à borda do campo é geralmente maior em aplicações não aéreas do que em aplicações aéreas.



## 6. FAIXA DE SEGURANÇA

A faixa de segurança de aplicação de defensivos na aviação agrícola é uma medida crucial para garantir a eficácia da pulverização e minimizar os riscos para o meio ambiente, a saúde humana e a segurança das áreas circundantes. Essa faixa descreve a distância mínima entre a área alvo de pulverização e áreas sensíveis, como casas, escolas, corpos d'água, áreas de preservação ambiental e outras áreas culturais.

As características do produto químico utilizado, as condições prejudiciais, o tipo de cultura alvo, a topografia do terreno e as regulamentações específicas pelo governo são alguns dos fatores que são levados em consideração na determinação da faixa de segurança. As faixas de segurança normalmente são condicionais com base em disposições específicas de cada país e pesquisas científicas. Essas regulamentações podem variar de acordo com o tipo de defensivo, as práticas agrícolas usadas e as características das áreas ao redor.

A Instrução Normativa nº 2, de 3 de janeiro de 2008, estabelece os requisitos e obrigações para os operadores aeroagrícolas, visando garantir a segurança e eficácia das operações. Uma das principais exigências diz respeito às distâncias mínimas que devem ser mantidas durante cada aplicação, conforme especificado no Artigo 10 da IN 2/2008.

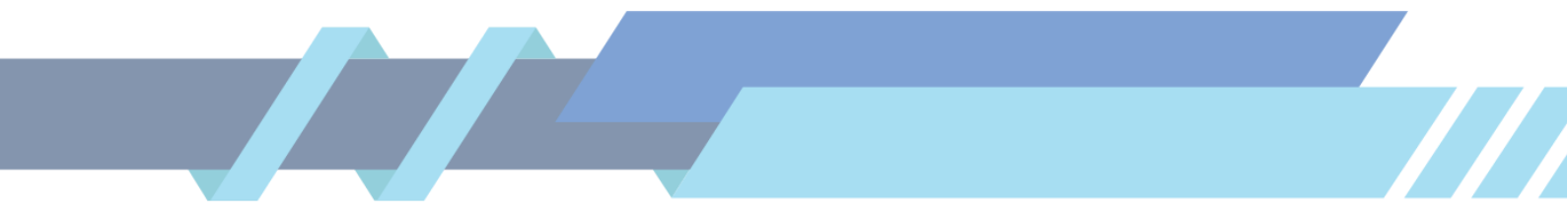
*"Art. 10. Com o objetivo de assegurar a segurança operacional, a aplicação aeroagrícola está sujeita a limitações espaciais, seguindo as regras abaixo:*

*I - É proibida a aplicação aérea de agrotóxicos em áreas que se encontrem a uma distância mínima de:*

*a) Quinhentos metros de aglomerações urbanas, como povoações, cidades, vilas, bairros, e de fontes de água utilizadas para o abastecimento público;*

*b) Duzentos e cinquenta metros de fontes de água, residências isoladas e agrupamentos de animais;..."*

Para garantir que a aplicação seja feita com segurança, os pilotos agrícolas devem estar bem treinados e conscientes das regulamentações locais. Além disso, o uso de

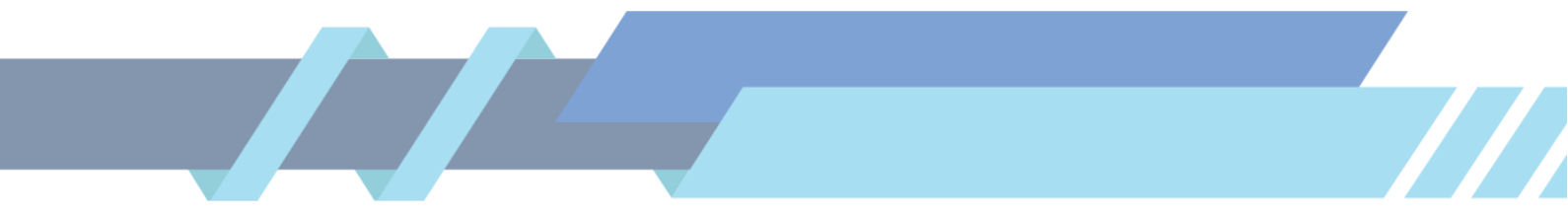


tecnologias modernas, como sistemas de GPS e aplicativos de mapeamento, pode ajudar a garantir uma aplicação precisa e controlada, reduzindo os riscos de efeitos adversos no meio ambiente e na saúde das pessoas.

Conforme o estudo realizado por Andres *et al.* (2020), que investigou a influência de equipamentos e taxas de aplicação aérea na deriva de glifosato em uma área orizícola do Rio Grande do Sul, diversos fatores foram identificados como potenciais elevadores de riscos de deriva. Entre esses fatores estão as condições meteorológicas no momento da aplicação, o espectro de gotas produzido pelo equipamento e a composição da calda pulverizada. Conforme observado no estudo, a deriva foi mais intensa até a distância de 10 metros além da faixa alvo, reduzindo gradualmente até cerca de 300 metros, a partir de onde se estabilizou, alcançando uma distância máxima avaliada de 1.100 metros, porém, em baixíssimas concentrações.

De acordo com os experimentos realizados na Alemanha, entre 1989 e 1992, foram conduzidos estudos de deriva para diferentes cenários de aplicação no solo em várias culturas de campo e pomar. Os resultados desses estudos foram compilados e analisados estatisticamente, resultando em distribuições do percentil 95 da porcentagem de depósitos de resíduos em relação à distância a favor do vento de uma linha de cultivo (Ganzelmeier *et al.*, 1995). Observou-se que a maioria dos experimentos registrou uma distância máxima de deriva de 25 m ou menos. Estudos posteriores, realizados entre 1996 e 1999, com métodos analíticos aprimorados, estenderam as distâncias máximas de deriva medidas para 100 m (Felsot, 2005).

Segundo Caldwell e Wolf (2006), as aplicações modernas de defensivos são realizadas por meio de aeronaves com diferentes características aerodinâmicas e tecnologias de atomização. Eles afirmam que os produtos químicos utilizados atualmente são mais específicos para o alvo pretendido e menos prejudiciais aos organismos não-alvo em comparação com os produtos aplicados há cerca de um quarto de século.



Em uma pesquisa conduzida por Miller *et al.* (2000), foram realizadas medições da deriva de Malathion aplicado em nozeiras com 11 metros de altura. Os resultados revelaram a detecção de defensivos em distâncias de 33, 66, 132 e 198 metros. Surpreendentemente, mesmo com parte da deriva sendo amostrada a uma altura de apenas 2 metros, os defensivos foram detectados em distâncias consideráveis.

No estudo realizado por Langkamp-Wedde *et al.* (2020), a deriva máxima registrada foi de 14% a uma distância de 5 metros tanto para o pulverizador canhão quanto para o helicóptero utilizando o bico Airmix 110-05. Essa deriva máxima ocorreu em condições específicas de teste, com parâmetros meteorológicos, como velocidade e direção do vento, umidade relativa e temperatura do ar, sendo monitorados a uma altura de 10 metros acima do solo. Ademais, durante os experimentos, um corante traçador fluorescente, a piranina, foi empregado como substituto da substância ativa. Esses resultados fornecem informações essenciais para compreender e mitigar os riscos associados à deriva de produtos biocidas em ambientes controlados.

Carlsen *et al.* (2006), investigaram a deriva primária de 10 herbicidas em cinco experimentos de campo. Utilizando dosímetros passivos simples, a quantidade depositada por superfície fora da área de aplicação foi quantificada, juntamente com amostras coletadas contra o vento do campo pulverizado para medir um possível valor de fundo. Os resultados revelaram depósitos de deriva de pulverização comuns a todos os equipamentos de pulverização, detectados até 150 metros fora do alvo. Próximo ao campo pulverizado (até 2 metros), foram encontrados depósitos variando de 0,1% a 9% da quantidade aplicada. Entretanto, a 3 metros do alvo, os depósitos na zona de pulverização foram reduzidos para 0,02% a 4%. Esses valores diminuíram exponencialmente à medida que se afastavam do campo. As discrepâncias na deriva foram atribuídas principalmente aos diferentes tamanhos de gotas, velocidade do vento, formulação do herbicida e efeito de filtragem da vegetação sobre a área de amostragem. Embora menos significativa, a tendência de evaporação dos ingredientes ativos também pode ter influenciado na deriva.

Vários estudos anteriores têm se concentrado na deriva de defensivos em diferentes contextos, como em culturas (Garron *et al.*, 2009; Houbraken *et al.*, 2016; Leistra *et al.*, 2006; Siebers *et al.*, 2003) ou em solo exposto (Prueger *et al.*, 2005; Rice *et al.*, 2002). Alguns desses estudos envolvem medições ambientais passivas de longo prazo (Kosikowska e Biziuk, 2010), frequentemente para avaliar exposições (Lee *et al.*, 2002), enquanto outros utilizam dosímetros passivos em campo para investigar os efeitos da evaporação direta (Carlsen *et al.*, 2006).

Antuniassi *et al.* (2011) realizaram um estudo onde mostraram que a deriva estimada a 2.000m do campo identificava que havia uma boa chance de encontrar solução de pulverização ainda mais longe do que essa distância. No entanto, o impacto prático da quantidade de deriva ao longo das distâncias deve ser mais estudado com base no alvo real que poderá recolher esta deriva potencial (tipo de vegetação, por exemplo). É importante ressaltar, por outro lado, que as condições meteorológicas no momento da pulverização não eram totalmente adequadas. Embora a temperatura e a umidade do ar estivessem dentro da faixa normal, as velocidades do vento foram superiores às normalmente recomendadas para aplicações aéreas padrão. Houve diversas ocasiões ao longo da operação de pulverização em que a velocidade do vento atingiu até 17 km/h, aumentando significativamente o risco de deriva em distâncias maiores. As perdas totais fora do alvo (deriva) calculadas pelo balanço de massa foram de 19,6%. O perfil de deriva a favor do vento mostrou que as plantas de cana-de-açúcar que crescem de 10 a 2.000m de distância do campo, receberam, em média de 68,2 a 3,6% da taxa de dose de defensivo aplicada no campo, respectivamente.

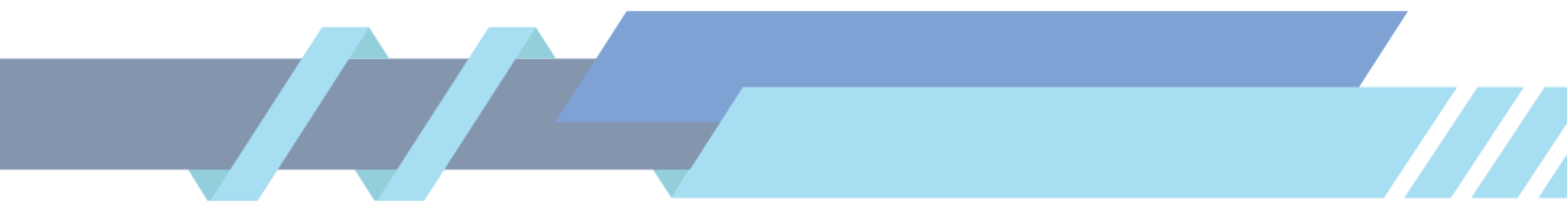
Caldwell (2006) abordou diversos métodos para avaliar a deriva em aplicações aéreas, destacando diferentes perspectivas para interpretar os resultados com base no método utilizado. De acordo com o autor, as perdas totais, calculadas pelo balanço de massa em aplicações aéreas, variaram de 9,4% a 40,9% para gotas médias e finas, respectivamente. Além disso, foi estimada uma redução de 75% nos depósitos de deriva em distâncias de 25 a 100 metros na direção do vento.

No estudo realizado por Markle *et al.* (2016), foram propostas as estratégias de aplicação Gear Up/Throttle Down (GUTD) e Inward Only como práticas para reduzir potencialmente a deriva de pulverização em pomares de amêndoas na Califórnia. No método GUTD, a rotação do motor do trator e a potência da tomada de força são reduzidas, enquanto a velocidade do solo é aumentada, permitindo o uso de bicos maiores que produzem gotas maiores, resultando em uma deriva reduzida, ao mesmo tempo que mantém taxas de aplicação consistentes. Já no método Inward Only, os bicos externos do pulverizador são desligados ao tratar as duas ou três fileiras externas de um pomar. Os resultados da pesquisa indicaram que ambas as estratégias alternativas reduziram significativamente a deriva ou mostraram-se promissoras na sua redução em comparação com o tratamento convencional. Em todos os tratamentos avaliados, mais de 92% da deriva foi encontrada nos primeiros 15,2 metros a favor do vento do pomar.

Conforme discutido por Felsot (2005) no Proc. International Workshop on Crop Protection Chemistry in Latin America, uma estratégia adotada para mitigar a deriva de defensivos é a especificação dos parâmetros operacionais do pulverizador nos rótulos dos produtos. Por exemplo, os rótulos dos produtos geralmente indicam níveis máximos de vento para a pulverização, considerando que a velocidade do vento influencia a deriva. Além disso, a altura da lança dos pulverizadores terrestres pode afetar o tempo entre a emissão da pulverização e o impacto das gotas na copa, o que também influencia a deriva. Certos países, como a Alemanha e o Reino Unido, adotam abordagens específicas para estabelecer zonas tampão sem pulverização, visando reduzir a deriva e proteger as águas superficiais. No Reino Unido, por exemplo, os aplicadores podem participar do processo LERAP (Avaliação de Risco Ambiental Local) para determinar o tamanho das zonas tampão sem pulverização. Além disso, a educação é um método importante de mitigação da deriva da pulverização, com programas educacionais em todo o mundo fornecendo informações sobre os princípios físicos da deriva, equipamentos, fatores operacionais e práticas alternativas para minimizar o desvio, como o uso de escudos ou coberturas em pulverizadores de barra e adjuvantes de controle de deriva.

De acordo com Marubayashi *et al.* (2021), o estudo aborda a interação entre diferentes variáveis relacionadas à pulverização, como o diâmetro médio volumétrico (VMD), o tamanho das gotas (RS) e a presença de gotas de tamanho igual ou inferior a 100  $\mu\text{m}$  (Gotas  $\leq 100$ ). Destaca-se a influência dos adjuvantes na alteração dessas características, bem como a relação entre as diferentes pontas de pulverização e a deriva do produto aplicado. Observou-se uma associação entre a deriva coletada a diferentes distâncias e as características do espectro de gotas, evidenciando a importância de considerar esses aspectos na escolha da tecnologia de aplicação. A análise de componentes principais também foi utilizada para identificar padrões nos resultados obtidos. A deriva observada variou de acordo com as diferentes condições de aplicação e configurações do equipamento. Em alguns casos, a deriva foi reduzida com a adição de adjuvantes ou com o uso de determinadas pontas de pulverização, enquanto em outros casos, houve aumento da deriva, especialmente quando certos adjuvantes foram combinados com pontas específicas. Esses resultados destacam a complexidade da deriva e a necessidade de considerar uma variedade de fatores ao planejar a aplicação de produtos fitossanitários.

Baseado nos estudos que subsidiaram o presente trabalho, a determinação do tamanho (largura) de uma faixa de segurança para deriva em pulverizações aeroagrícolas só é possível quando considerados e atendidos os critérios para cada variável envolvida na atividade de pulverização. Isso se deve ao fato de que essa faixa pode variar de acordo com as condições climáticas, o tipo de produto utilizado, o tipo de bico pulverizador e outros fatores particulares para cada situação específica. Como resultado, antes de estabelecer uma faixa de segurança para aplicação aérea, é fundamental levar em consideração todos esses fatores e avaliar minuciosamente cada situação.

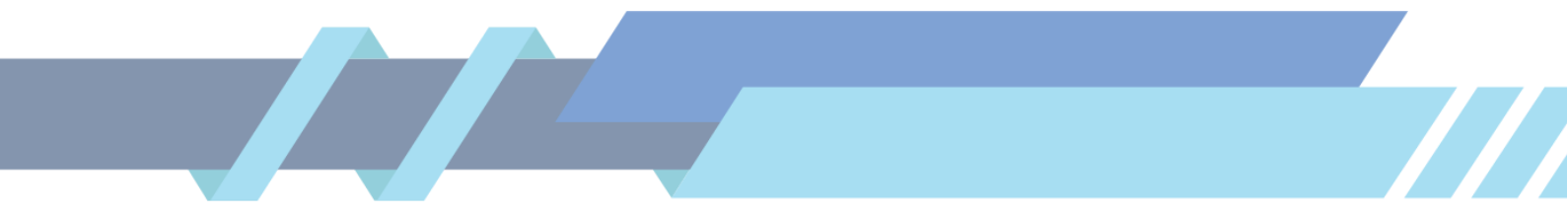


## **7. CONDIÇÕES E PREMISSAS PARA REALIZAR O TESTE DE DEPOSIÇÃO DE FAIXA**

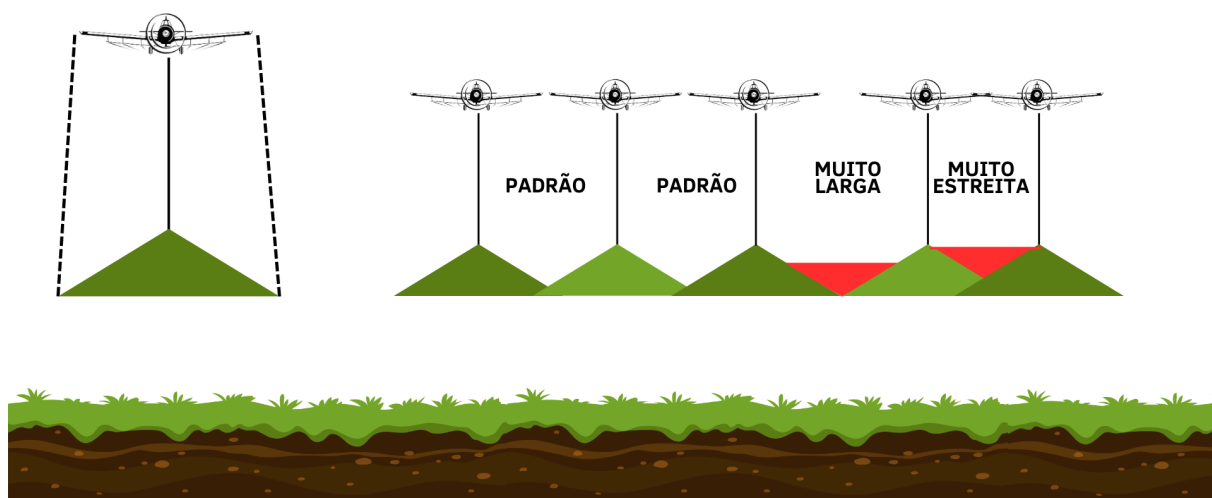
A utilização de aeronaves agrícolas para aplicação de produtos fitossanitários oferece uma série de vantagens para garantir uma pulverização eficiente. Isso possibilita o controle em áreas extensas e a realização de intervenções emergenciais em um período reduzido (Matthews; Baterman; Miller, 2014; Antuniassi, 2007).

A faixa de deposição é um aspecto crucial no planejamento operacional da aplicação aérea e é dividida em faixa total e faixa efetiva. A faixa de deposição total representa a extensão perpendicular ao deslocamento da aeronave onde a calda pulverizada se deposita em uma única passagem (Roth; Whitney; Kuhlman, 1985). Já a faixa efetiva, que leva em conta sobreposições de outras passadas, é determinada considerando fatores como tamanho da barra, volume de calda, altura de voo, direção e velocidade do vento, tamanho das gotas, condições meteorológicas, tipo de produto e velocidade da aeronave (Roth; Whitney; Kuhlman, 1985).

Nas extremidades da faixa total (na direção perpendicular ao deslocamento), há uma menor quantidade de produtos aplicados em comparação ao centro da passada. Isso não é adequado para garantir a uniformidade da aplicação, sendo necessário realizar sobreposições nas extremidades. Dessa forma, a deposição das passadas seguintes se soma, assegurando a qualidade do controle. Aspectos importantes da aplicação aérea incluem a uniformidade e a seleção da largura da faixa de deposição. Baixa uniformidade pode levar a variação de dose, comprometendo a qualidade e resultando em baixo controle fitossanitário e resistência (Carvalho; Cunha, 2019). O afastamento entre duas faixas consecutivas, menor que a largura da faixa total, é denominado faixa operacional efetiva (ABNT, 1988).



**Figura 3.** Faixa de deposição de aeronaves.



**Fonte:** Ozeki, 2006. Adaptado, Passos (2024).

A norma ASAE - American Society of Agricultural Engineers (ASAE S386.2, 2018) recomenda testes padrões de deposição e calibração de equipamentos aéreos, utilizando análise de deposição de gotas em lâminas de vidro, papel hidrossensível ou sistemas de medição em fios.

Para determinar a largura da faixa de deposição efetiva, utiliza-se o coeficiente de variação (CV), que considera os níveis de depósito e a sobreposição entre as passadas adjacentes. Calcula-se o CV em % para então determinar a largura da faixa efetiva. O coeficiente de variação é o desvio padrão dos resultados dividido pela média:

$$CV = 100 * (\Sigma (xi - xm) * 2 / (n-1) * \frac{1}{2} / xm$$

Onde: **CV** = Coeficiente de Variação;

**$X_i$**  = Depósito sobreposto;

**$X_m$**  = média de depósitos sobrepostos; e

**$n$**  = número de amostras no padrão de sobreposição.


Segundo Corrêa *et al.* (2004), a aplicação aérea é um dos fatores que devem ser sempre analisados é o coeficiente de variação das faixas aplicadas sobrepostas. Para isso, é preciso adquirir a largura completa da aplicação, também chamada de perfil básico da deposição. A amplitude total de aplicação é vista como um fator importante no planejamento eficaz da aplicação aérea ao sobrepor as faixas. Compreender a quantidade de produto aplicado que permanece depositada no alvo é fundamental para quantificar o percentual de recuperação, o que indica a eficiência da aplicação (ABNT, 1988).

## **7.1 ANÁLISE DA FAIXA DE DEPOSIÇÃO**

Como mencionado anteriormente, existem três métodos principais para determinar o padrão na faixa de deposição. Um estudo conduzido por Fox *et al.* (2003) utilizou papéis hidrossensíveis (PHS), dispostos em uma linha de voo, para avaliar o padrão da faixa de deposição. Da mesma forma, Bradley, Fritz e Martin (2020) conduziram um experimento para identificar a faixa de deposição usando veículos aéreos não tripulados (VANT), empregando uma lâmina de plástico para coletar as gotas pulverizadas pela aeronave. Cada método possui suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles deve levar em consideração fatores como custo, disponibilidade e facilidade de uso.

### **7.1.1 Papel hidrossensível (PHS)**

O papel sensível à água ou papel hidrossensível, conforme descrito na norma ASAE S386.2 de 2018, é uma técnica utilizada para avaliação de faixas de pulverização. Este método emprega cartões de papel com revestimento especial que mudam de cor ao entrar em contato com a umidade, eliminando a necessidade de corantes na aplicação. Esses cartões são fabricados pela Syngenta Crop Protection, sediada em Basileia, Suíça, e comercializados pela Spraying System Co. TeeJet Technologies, em Wheaton, Illinois, EUA. Estão disponíveis em



tamanhos como 76 x 26 mm, 76 x 52 mm e 500 x 26 mm, sendo os dois primeiros recomendados para coleta em aplicações aéreas.

O uso do papel sensível à água (PSA) para água e óleo foi introduzido por Carvalho (1995) como uma ferramenta para avaliar pulverizações aéreas. Esse método permite medir a densidade de gotas, deposição, uniformidade e diâmetro mediano volumétrico (DMV). No entanto, existem algumas limitações a serem consideradas. Os valores fornecidos pelos softwares podem induzir a erros de interpretação, pois o tamanho das gotas pode ser superestimado. A sobreposição de gotas pode distorcer a contagem real, e altos níveis de umidade relativa do ar, acima de 80%, podem afetar a sensibilidade do papel (Turner; Huntington, 1970). Segundo Schröder (1996), papéis hidrossensíveis (PHS) têm sido amplamente utilizados por diversos pesquisadores para avaliar a deposição de pulverização.

O procedimento de avaliação envolve a disposição dos cartões PSA ao longo da faixa transversal de aplicação, geralmente espaçados a cada metro, sem obstruções e voltados para cima. Após a passagem da aeronave, os cartões são recolhidos e avaliados, aguardando a secagem para retirada dos suportes. A leitura dos dados pode ser realizada manualmente, com lupa micrométrica ou microscópio, ou através de scanners específicos, com o auxílio de softwares dedicados para análise de imagem (Balan *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2013). Realizar esse procedimento pode ser cansativo, requer tempo e esforço, é preciso digitalizar todos os cartões em ordem e fazer as análises correspondentes. Por último, pode ser caro se os testes precisam ser repetidos, uma vez que os PSA são caros (Bouse *et al.*, 1994).

## **7.2 MÉTODO QUANTITATIVO**

### **7.2.1 Lâmina de vidro**

A análise da deposição em lâmina de vidro segue os mesmos critérios e padrões de coleta utilizados para os papéis hidrossensíveis. Após a aplicação, as amostras são submetidas à espectrofotometria para quantificar a concentração de defensivos presente em cada lâmina.

Autores como 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) adotaram metodologias semelhantes para analisar o depósito de gotas em aplicações aéreas.

Durante as aplicações, as gotas são coletadas em lâminas de vidro com dimensões de 10 x 20 cm, dispostas horizontalmente e espaçadas a cada metro, totalizando entre 15 e 60 coletores. Após cada aplicação, as lâminas são acondicionadas em recipientes plásticos e submetidas a um processo de lavagem. Na etapa de espectrofotometria, utiliza-se água deionizada como solvente para extrair o corante azul brilhante das lâminas de vidro, conforme determinado previamente em testes de extração (Chechetto, 2015). Após a lavagem, a concentração de defensivo depositada em cada lâmina é quantificada, e os dados são tabulados para gerar um padrão de distribuição (Da Cunha, 2011; Alves; Cunha; Palladini, 2014). Em seguida, é realizada uma rápida análise quantitativa da coloração do corante retirado dos coletores de vidro, através da medição da absorção a 630 nm (comprimento de onda de detecção do corante azul empregado), utilizando um espectrofotômetro (Palladini *et al.* 2005).

### **7.2.2 Deposição em fio**

A detecção de corante fluorescente em fios de algodão é atualmente o método mais prático e amplamente empregado para testes de pulverização aérea (Fox *et al.*, 1990; Whitney; Richard, 2005). Este método, que envolve a deposição de gotas sobre um fio coletor, é altamente valorizado devido à sua praticidade e precisão, oferecendo diversas vantagens em relação a outras técnicas. Autores como Whitney e Roth (1985), Price (2018), Martin, Woldt e Latheef (2019), Fox (2013), Carvalho (2020) e Fritz, Gill e Bretthauer (2019) têm utilizado este método, seguindo as diretrizes da norma ASAE S386.2, em pesquisas científicas e estudos de faixas de deposição em aeronaves agrícolas, visando determinar a faixa ideal de aplicação de acordo com as necessidades específicas.

O coeficiente de variação e a faixa de deposição efetiva também podem ser determinados utilizando a espectrofotometria de fio, um método mais prático. Nesse

procedimento, um sistema eletrônico automático coleta a deposição sobre um fio de poliéster. A aeronave sobrevoa o fio coletor, e após a deposição, o fio é recolhido para amostragem, formando uma amostra composta com pelo menos três repetições. Posteriormente, o sistema realiza a análise por espectrofotometria e determina a faixa de deposição ideal para cada configuração da aeronave. Durante os testes, é essencial registrar a altura e direção do voo, a velocidade e direção do vento, e as condições meteorológicas.

O método de deposição em fio teve origem no trabalho de Kuhlman, Roth e Whitney, em colaboração entre a Universidade Estadual de Oklahoma e a NASA. Este projeto, financiado pela NASA, tinha como objetivo desenvolver métodos e equipamentos para a avaliação rápida de padrões de pulverização em aeronaves, culminando na criação da Operação S.A.F.E. (Price, 2018). O sistema de análise com deposição em fios requer o uso de um corante, como a rodamina WT. A espectrofotometria é utilizada para medir a intensidade do corante depositado no fio, permitindo a construção do padrão de aplicação e a determinação da largura da faixa de deposição e do coeficiente de variação.

Ao analisar o padrão de pulverização e determinar a faixa efetiva de uma aeronave, aspectos como a altitude de aplicação, a velocidade do avião, a pressão de pulverização e a posição dos bicos podem afetar as condições de aplicação. Enquanto estiver sendo testado, a aeronave precisa voar de encontro ao vento (vento de proa) para garantir que a pulverização atinja somente a área coberta pela passagem da aeronave, o que ajuda na transparência entre a posição dos bicos na barra e a posição efetiva no solo. Se ocorrer vento lateral durante o experimento, a relação entre a posição da barra e a distância percorrida pode ser afetada (Fritz *et al.*, 2019).

### **7.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO**

A qualidade da aplicação aérea de defensivos é influenciada por uma série de fatores que devem ser cuidadosamente considerados e controlados durante os testes de deposição de faixa. Esses fatores podem afetar diretamente a eficiência e a uniformidade da aplicação,

impactando a eficácia dos tratamentos fitossanitários e a sustentabilidade das práticas agrícolas. Abaixo estão os principais fatores que influenciam a qualidade da aplicação aérea:

### **I) Altura de Voo**

A altura de voo da aeronave é crucial para determinar a distribuição das gotas. Voos mais altos podem aumentar a dispersão das gotas devido ao vento, enquanto voos muito baixos podem resultar em uma cobertura inadequada e risco de danos às culturas (Antuniassi, 2012).

### **II) Velocidade da Aeronave**

A velocidade de voo afeta a penetração e a cobertura da pulverização. Velocidades inadequadas podem levar a uma aplicação desigual, com áreas de subdosagem ou superdosagem (Matthews, Bateman, & Miller, 2014).

### **III) Pressão de Pulverização**

A pressão de pulverização influencia o tamanho das gotas geradas pelos bicos. Pressões mais altas produzem gotas menores que podem ser mais suscetíveis à deriva, enquanto pressões mais baixas produzem gotas maiores que podem resultar em uma cobertura insuficiente (Fox *et al.*, 2003).

### **IV) Tipo e Localização dos Bicos**

A escolha do tipo de bico e a sua disposição na barra de pulverização são essenciais para garantir uma distribuição uniforme das gotas. Bicos mal posicionados podem criar faixas de sobreposição inadequadas e lacunas na cobertura (Cunha, Farnese, & Olivet, 2013).

### **V) Direção e Velocidade do Vento**

O vento é um dos fatores ambientais mais críticos. Ventos fortes ou cruzados podem desviar as gotas do alvo desejado, enquanto ventos fracos podem não fornecer a dispersão



necessária. Durante os testes, é ideal que a aeronave voe contra o vento (vento de proa) para minimizar esses efeitos (Silva, Costa, & Souza, 2015).

### **VI) Condições Meteorológicas**

A temperatura, a umidade relativa do ar e outras condições atmosféricas também afetam a volatilidade e a deriva das gotas. Condições extremas podem alterar a eficiência da aplicação e devem ser monitoradas de perto (Matthews, Bateman, & Miller, 2014).

### **VII) Configuração da Barra de Pulverização**

A configuração e o espaçamento dos bicos na barra de pulverização determinam o padrão de distribuição. Uma configuração inadequada pode levar a uma cobertura desigual e à necessidade de sobreposição excessiva (Antuniassi, 2012).

### **VIII) Tipo de Produto Aplicado**

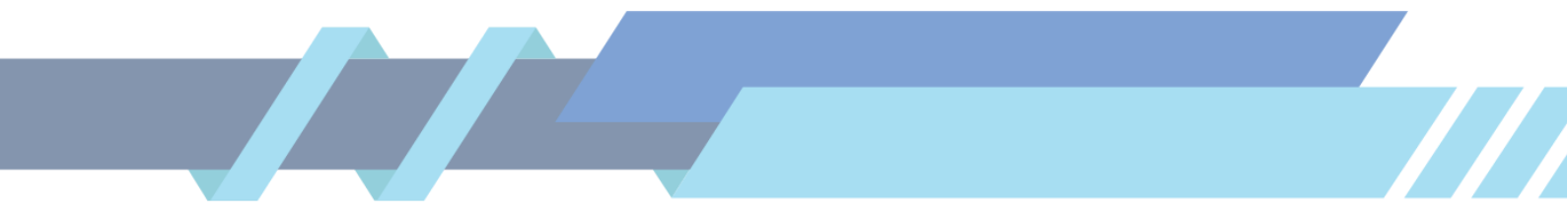
Diferentes produtos fitossanitários têm propriedades físicas e químicas variadas que influenciam a formação e o comportamento das gotas. Adjuvantes podem ser usados para modificar essas propriedades e melhorar a qualidade da aplicação (Cunha, Farnese, & Olivet, 2013).

### **IX) Topografia do Terreno**

A variação na topografia do terreno pode afetar a uniformidade da aplicação. Terrenos acidentados podem criar desafios adicionais para a manutenção de uma altura de voo consistente e para a cobertura uniforme (Balan *et al.*, 2005).

### **X) Falhas ou acúmulo de calda**

Evitar que a calda se acumule sob a fuselagem ou próximas à raiz das asas para evitar perda de eficiência e manutenção mais complexa (Matthews, Bateman, & Miller, 2014).



### **XI) Modelo do avião**

O modelo da aeronave pode influenciar a distribuição da calda, portanto, é importante escolher o modelo adequado para o tipo de aplicação (Fritz & Martin, 2020).

### **XII) Vórtices de pontas de asas**

O padrão de vórtices em torno das pontas de asas pode afetar a distribuição da calda, tornando necessário ajustes para garantir a uniformidade (Antuniassi, 2012).

### **XIII) Volume de calda**

O volume de calda é fundamental para determinar a quantidade de produto aplicada e a uniformidade da deposição (Matthews, Bateman, & Miller, 2014).

### **XIV) Tamanho de gotas**

O tamanho das gotas pode influenciar a distribuição da calda e a uniformidade da deposição, tornando necessário ajustes para garantir a uniformidade (Fox *et al.*, 2003).

Para garantir a qualidade da aplicação aérea, é necessário conciliar altura adequada de voo, escolha correta dos atomizadores ou pontas hidráulicas, condições meteorológicas adequadas, manutenção adequada do sistema de pulverização e planejamento inicial detalhado. Isso inclui a definição da faixa de deposição efetiva, com uniformidade esperada, e a distância entre as passagens da aeronave. Além disso, é fundamental um estudo detalhado da faixa para cada aeronave, considerando os fatores mencionados acima, para garantir o sucesso da aplicação (Antuniassi, 2012; Matthews, Bateman, & Miller, 2014; Cunha, Farnese, & Olivet, 2013).



## 8. PERDAS ECONÔMICAS

A modernização da agricultura trouxe inovações significativas, incluindo a mecanização intensiva e o uso de implementos agrícolas pesados. Embora esses avanços tenham aumentado a produtividade, também resultaram em desafios consideráveis, como o pisoteio do solo. O pisoteio por implementos agrícolas é uma das principais causas de compactação do solo, um problema que tem repercussões sérias para a estrutura do solo, a infiltração de água, a saúde das plantas e, conseqüentemente, a produtividade agrícola.

O pisoteio causado por implementos agrícolas é um tema importante na agricultura moderna, pois está diretamente relacionado à compactação do solo e posteriores conseqüências, causando a redução na produtividade agrícola devido ao amassamento das plantas. Segundo Hamza e Anderson (2005); Koolen e Kuipers (2021); Pagliai *et al.* (2022), a compactação do solo pode reduzir a porosidade total do solo em até 50%, o que diminui significativamente a capacidade do solo de armazenar e conduzir água e ar, essenciais para o crescimento das plantas.

A resistência mecânica do solo, pode aumentar em até quatro vezes com a compactação, dificultando a penetração das raízes limitando o acesso das plantas a nutrientes e água (Alakukku *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2020; Munkholm *et al.*, 2022).

Para Batey (2021) a compactação do solo pode levar à redução da atividade microbiana e da biodiversidade do solo e, microrganismos e fauna do solo, desempenham papéis cruciais na decomposição da matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes o que resulta em menor fertilidade do solo a longo prazo.

Cociu *et al.* (2023) demonstraram que a **compactação do solo pode reduzir a diversidade microbiana em até 30%**, comprometendo a saúde geral do solo. Com isso, é necessária a reposição desse mesmo percentual para que a produtividade seja mantida, gerando um custo adicional ao produtor (Schjønning *et al.*, 2022)

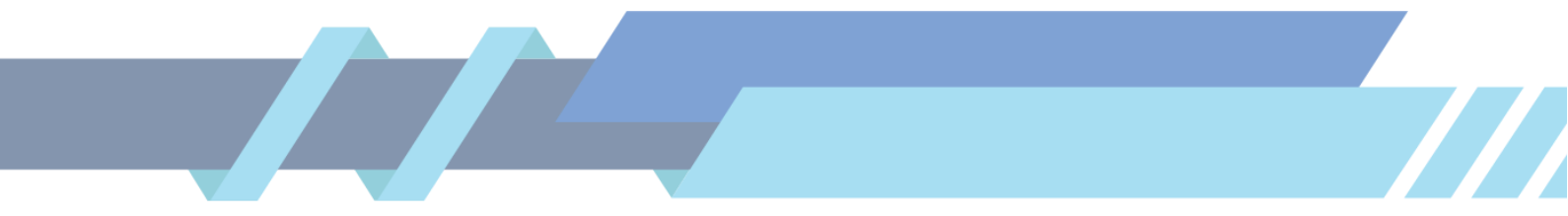


Segundo Schjønning *et al.* (2020); Lamandé *et al.*, 2023, a severidade da compactação do solo depende do tipo de solo, clima e as práticas agrícolas adotadas, por exemplo, solos argilosos, são mais suscetíveis à compactação devido à sua estrutura densa e menor porosidade natural; climas úmidos também podem agravar a compactação, pois, é mais propenso a ser compactado pelo tráfego de máquinas pesadas.

Antille *et al.*, (2021); Radford *et al.*, (2021); Rusinamhodzi *et al.*, (2021) propõem a adoção de estratégias para minimizar os efeitos do pisoteio: sistemas de cultivo conservacionistas - o plantio direto, que minimiza o número de passagens de máquinas sobre o solo e mantém a cobertura do solo; uso de pneus de baixa pressão e a distribuição adequada do peso das máquinas (DeJong-Hughes *et al.*, 2022); uso de técnicas de subsolagem, que envolvem o rompimento mecânico das camadas compactadas do solo (Birkás *et al.*, 2023); rotação de culturas - a inclusão de culturas de cobertura, como leguminosas e gramíneas, pode aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar a atividade biológica, contribuindo para a descompactação natural do solo (D'Hose *et al.*, 2022) ; máquinas agrícolas mais leves e com melhor distribuição de peso pode contribuir para a redução da compactação (Söhne *et al.*, 2020; Schjønning *et al.*, 2022); uso de drones e imagens de satélite para monitorar a compactação do solo - Essas tecnologias permitem a detecção precoce de áreas compactadas e a implementação de medidas corretivas antes que o problema se agrave (Zhang *et al.*, 2021).

Um estudo conduzido por Keller *et al.* (2023) investigou os impactos da compactação do solo em diferentes tipos de solo na Europa e concluiu que práticas como a rotação de culturas e o uso de culturas de cobertura podem reduzir significativamente a compactação e melhorar a saúde do solo.

Sørensen *et al.* (2022), avaliaram o uso de sistemas de agricultura de precisão para monitorar a compactação do solo em tempo real e os resultados mostraram que a utilização de sensores e tecnologias avançadas pode ajudar a identificar áreas de solo compactado e orientar a aplicação de medidas corretivas de maneira mais eficiente.



No entanto, todas as estratégias propostas requerem investimentos adicionais que aumentam os custos operacionais e não garantem a máxima eficácia de descompactação do solo (Nazari *et al.*, 2023). Os custos adicionais se dão devido à necessidade de reparar ou replantar áreas danificadas, isso inclui custos com sementes, mão de obra e tempo adicional necessário para recuperar a área afetada, tanto por compactação quanto por erosão.

Um estudo realizado por Keller *et al.* (2020) demonstrou que a **compactação do solo pode reduzir a produção de grãos em até 15% devido ao amassamento das plantas** e até **10% da área de cultivo** (Lamandé *et al.*, 2023), representando uma perda significativa de terras agrícolas utilizáveis, impactando diretamente na viabilidade econômica.

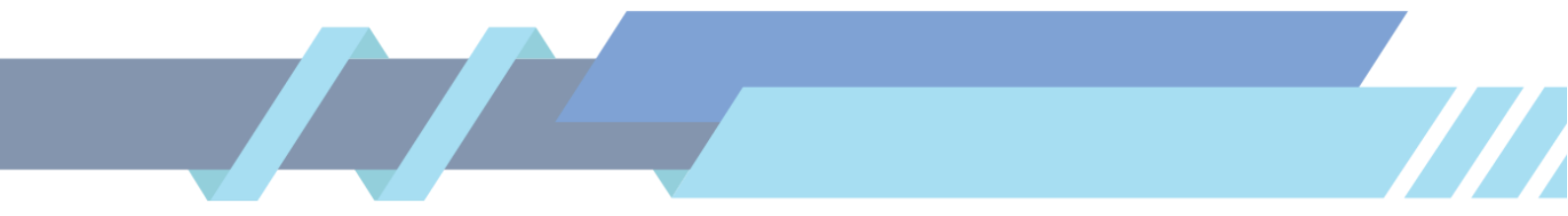
Schuck (2018) demonstrou com um simples cálculo matemático que é possível saber a quantidade de amassamento na aplicação via trator. Em 2018 existiam no mercado pneus de 35 a 50 cm de largura e barra de pulverização de 12 até 36 metros. Para efeito de cálculo, considera-se um implemento agrícola com barra de 18 metros de comprimento e 0,32m de largura dos pneus, para pulverizar uma área de 0,1 ha (100m de largura). Contando dois pneus  $0,32\text{m} = 0,64\text{m}^2$ ,  $100\text{m}/18\text{m} = 6$  passagens

Então, em 100m de comprimento a área amassada:

Uma passagem:  $0,64\text{m}^2 \times 100 = 64\text{m}^2$

Seis passagens  $64\text{m}^2 \times 6 = 384\text{m}^2$ .

Em uma área de  $10.000\text{m}^2$  (1,0ha) com rendimento de  $3.000\text{kg}/\text{ha}$  ou 50 sacas/ha (saca = 60kg), teremos  $384\text{m}^2$  e haverá  $115,2\text{kg}/\text{ha}$ , equivalente a 1,92 sacas, de perda. Considerando a cotação da soja no dia 21/06/2024 de R\$136,42/sc, tem-se uma perda de R\$261,93 por hectare.



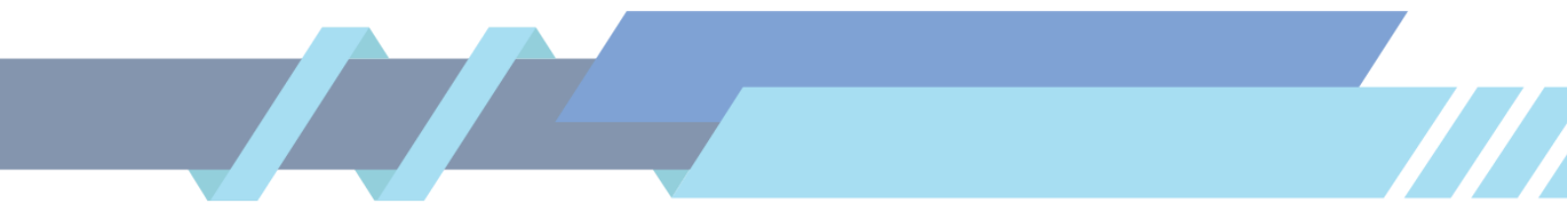
O aumento da produtividade agrícola é talvez o benefício mais direto e mensurável da pulverização aérea. A aplicação rápida e eficiente de fertilizantes e defensivos ajuda a manter as culturas saudáveis e protegidas contra pragas e doenças, o que se traduz em colheitas mais abundantes e de melhor qualidade. Estudos mostraram que a pulverização aérea pode aumentar a produtividade em até 20%, dependendo do tipo de cultura e das condições específicas da região (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004).

De acordo com estudos de Whitten (2002), realizado nos Estados Unidos, a pulverização aérea permitiu um controle mais eficiente de pragas, resultando em um aumento de 10% na produtividade e uma redução de 20% nos custos com defensivos.

Vários estudos de caso ilustram os benefícios práticos da pulverização aérea. Na produção de arroz no Brasil, por exemplo, a pulverização aérea tem sido amplamente adotada devido à sua eficácia em áreas alagadas onde o uso de máquinas terrestres é inviável. Um estudo realizado por Silva *et al.* (2015) revelou que a adoção da pulverização aérea em plantações de arroz no Rio Grande do Sul resultou em um aumento médio de 15% na produtividade, além de uma redução significativa nos custos operacionais.

A principal vantagem econômica da pulverização aérea está na sua capacidade de cobrir grandes áreas de forma rápida e eficiente. White *et al.* (2020), indicaram que, embora os custos iniciais de implementação da pulverização aérea possam ser mais altos do que os métodos terrestres, os benefícios econômicos a longo prazo, como maior produtividade e redução de perdas de culturas, podem resultar em um retorno sobre o investimento favorável para os agricultores.

Segundo Clark *et al.* (2020), a adoção de práticas de pulverização aérea pode melhorar a competitividade dos agricultores no mercado, ao aumentar a eficiência na gestão de culturas e na utilização de recursos, essencial para enfrentar desafios como a variabilidade climática e a necessidade de produção sustentável.



De acordo com Green e Davis (2021), o uso de tecnologias de ponta, como sistemas de navegação por GPS e sensores remotos, permite ajustes precisos na aplicação de produtos químicos, reduzindo desperdícios e maximizando a eficiência no uso dos insumos agrícolas.

Brown e Johnson (2022) demonstraram que a pulverização aérea pode aumentar significativamente a produtividade por hectare ao reduzir o tempo necessário para aplicação, permitindo que os agricultores realizem tratamentos em janelas climáticas ideais para maximizar a eficácia dos defensivos agrícolas.

Conforme discutido por Smith *et al.* (2023), a utilização de aeronaves permite alcançar áreas extensas em um curto período, reduzindo os custos operacionais associados à mão de obra e ao tempo de aplicação.



## 9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais pesquisas encontradas e que serviram de base para a revisão estão apresentadas no quadro 3.

**Quadro 3.** Principais autores referenciados.

<b>Autor (es)</b>	<b>Título (s)</b>	<b>Ano</b>
Augusto Hamann Rademaker Grünewald <i>et al.</i>	<i>Decreto-Lei nº 917 de 07 de outubro de 1969</i>	1969
João Figueiredo <i>et al.</i>	<i>Decreto nº 86.765, de 22 de dezembro de 1981</i>	1981
Ângelo Amaury Stábile	<i>Portaria nº 16 de 21 de janeiro de 1983</i>	1983
Amsden, R. C.	<i>Reducing the evaporation of sprays. Agricultural Aviation</i>	1962
Teixeira, M. M.	<i>Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica.</i>	1997
Christofoletti, J. C.	<i>Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle</i>	1999
Matthews, G. A	<i>Pesticide application methods</i>	2000
Miller <i>et al.</i>	<i>Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard</i>	2000
Teske <i>et al.</i>	<i>AgDRIFT: a model for estimating near-field spray drift from aerial applications</i>	2002
Lee <i>et al.</i>	<i>Community exposures to airborne agricultural pesticides in California: ranking of inhalation risks</i>	2002
Rice <i>et al.</i>	<i>Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, alpha-endosulfan, and beta-endosulfan from freshly tilled soil</i>	2002
Siebers <i>et al.</i>	<i>Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops</i>	2003
Antuniassi <i>et al.</i>	<i>Avaliação da cobertura de folhas em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas.</i>	2004
Felsot, A. S.	<i>Evaluation and Mitigation of Spray Drift</i>	2005
Prueger <i>et al.</i>	<i>Solar radiation, relative humidity, and soil water effects on metolachlor volatilization.</i>	2005

Leistra <i>et al.</i>	<i>Volatilization of the pesticides chlorpyrifos and fenpropimorph from a potato crop</i>	2006
Carlsen, S.C.K., Spliid, N.H., Svensmark, B.	<i>Drift of 10 herbicides after tractor spray application: Primary drift (droplet drif</i>	2006
Carlsen <i>et al.</i>	<i>Drift of 10 herbicides after tractor spray application</i>	2006b
Hernandez-Hernandez <i>et al.</i>	<i>Comparative ecological risks of pesticides used in plantation production of papaya: application of the SYNOPS indicator. Sci. Total Environ. 381, 112e125. <a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.014">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.014</a></i>	2007
Cunha, J. P. A. R	<i>Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação</i>	2008
Ministério da Agricultura e Pecuária	<i>Instrução Normativa GM/MAPA 2/2008</i>	2008
Antuniassi, U.R	<i>Conceitos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja</i>	2009
Garron <i>et al.</i>	<i>Near-field air concentrations of pesticides in potato agriculture in Prince Edward Island</i>	2009
Cunha <i>et al.</i>	<i>Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho</i>	2010
Kosikowska <i>et al.</i>	<i>Review of the determination of pesticide residues in ambient air</i>	2010
Chechetto, R. G	<i>Potencial da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização e diferentes alvos</i>	2011
Cunha <i>et al.</i>	<i>Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre</i>	2011
Ministério da Agricultura e Pecuária e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	<i>Instrução Normativa Conjunta nº 01 de 28 de dezembro de 2012</i>	2012
Alves, G.S., da Cunha, J.P.A.R.	<i>Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. Pesqui. Agropecuaria Bras. 49, 622 e629. <a href="https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006">https:// doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006</a></i>	2014
RODRIGO FIGUEIREDO e VOLNEY ZANARDI JÚNIOR	<i>Instrução Normativa Conjunta nº 01 de 31 de dezembro de 2014</i>	2014

Vaz, V.T.	<i>A implantação de Standard operating procedures como instrumento gerencial da segurança operacional de empresas aeroagrícolas</i>	2015
Bueno, M.R. <i>et al.</i>	<i>Drift curves from spray applications on common bean crop. Cienc. E Agrotecnol 40, 621e632. <a href="https://doi.org/10.1590/1413-70542016406016716">https:// doi.org/10.1590/1413-70542016406016716</a></i>	2016
Markle, J. C., Niederholzer, F. J. A., & Zalom, F. G.	<i>Evaluation of spray application methods for navel orangeworm control in almonds</i>	2016
Ministério da Agricultura e Pecuária	<i>Instrução Normativa MAPA nº 15, de 10 de maio de 2016</i>	2016
Ciocheta, R. S.	<i>Gerenciamento do risco na aviação agrícola nos estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul.</i>	2016
da Cunha, J.P.A.R., Barizon, R.R.M., Ferracini, V.L.	<i>Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans. Eng. Agrícola 37, 493e501. <a href="https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n3p493-501/2017">https:// doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n3p493-501/2017</a></i>	2017
Mhereb	<i>Aviação agrícola no Brasil: caracterização, invisibilização e debates</i>	2017
Smith, J., Johnson, R., & Martinez, A.	<i>Aerial Spraying in Modern Agriculture: Benefits and Risks.</i>	2017
da Cunha, J.P.A.R., Barizon, R.R.M., Ferracini, V.L., Assalin, M.R	<i>Spray drift and caterpillar and stink bug control from applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. Eng. Agric. 37, 1163e1170. <a href="https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1163-1170/2017">https://doi.org/ 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1163-1170/2017</a></i>	2017
Bueno, M.R., da Cunha, J.P.A.R., de Santana, D.G	<i>Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. Biosyst. Eng. 154, 35e45. <a href="https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017">https:// doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017</a></i>	2017
Junior <i>et al.</i>	<i>72 Anos da Aviação Agrícola No Brasil: Mitos E Verdades</i>	2017
Gouda <i>et al.</i>	<i>Comparison of drift of two types of sprayers used in cotton production in Benin. Biotechnol Agron Soc 22, 94e105. <a href="https://doi.org/10.25518/1780-4507.16431">https://doi.org/10.25518/1780-4507.16431</a>.</i>	2018
Smith, J. A.	<i>History of Agricultural Aviation. New York: Agriculture Press</i>	2018
Baio, F.H.R. <i>et al.</i>	<i>Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado. PloS One 14 (2), e0212289. <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212289">https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0212289</a></i>	2019

Andres <i>et al.</i>	<b><i>Influência de Equipamentos e Taxas de Aplicação Aérea na Deriva de Glifosato em Área Orizícola do Rio Grande do Sul: Estudo de Caso</i></b>	2020
Langkamp-Wedde <i>et al.</i>	<b><i>Comparison of the drift potential of two application methods for the control of oak processionary moths with biocidal products in an oak avenue</i></b>	2020
Kováčik <i>et al.</i>	<b><i>Comparison of Aerial Application vs. Ground Application</i></b>	2020
Gentil-Sergent, C. <i>et al.</i>	<b><i>Quantifying pesticide emission fractions for tropical conditions.</i></b> <a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130014">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130014</a>	2021
Revista AVAG	<b><i>Tecnologia de Aplicação Aérea: Diretrizes aplicadas à cultura do algodão</i></b>	2020
Marubayashi, R. Y. P., Oliveira, R. B., Ferreira, M. C., Roggia, S., Moraes, E. D., & Saab, O. J. G. A.	<b><i>Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles</i></b>	2021
Neto <i>et al.</i>	<b><i>Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico</i></b>	2021
Ministério da Agricultura e Pecuária	<b><i>Portaria nº 298 de 22 de setembro de 2021</i></b>	2021
Kováčik <i>et al.</i>	<b><i>Reducing emissions from aviation and their impact on aviation work in agriculture</i></b>	2021
Conab; Agência Nacional de Águas (ANA)	<b><i>Mapeamento da Conab e da ANA identifica 1,3 milhão de hectares de arroz irrigado no Brasil.</i></b> <a href="https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3569-mapeamento-da-conab-e-da-ana-identifica-1-3-milhao-de-hectares-de-arroz-irrigado-no-brasil#:~:text=O%20RS%20mant%C3%A9m%20a%20lideran%C3%A7a,%25%20e%200%2C8%25">https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3569-mapeamento-da-conab-e-da-ana-identifica-1-3-milhao-de-hectares-de-arroz-irrigado-no-brasil#:~:text=O%20RS%20mant%C3%A9m%20a%20lideran%C3%A7a,%25%20e%200%2C8%25</a>	2022
Machado, A.W.	<b><i>Condições climáticas ideais para a aplicação aérea de defensivos</i></b> <a href="https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/condicoes-climaticas-ideais-para-a-aplicacao-aerea-de-defensivos_480447.html">https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/condicoes-climaticas-ideais-para-a-aplicacao-aerea-de-defensivos_480447.html</a>	2023
MAPA <i>et al.</i>	<b><i>Lavouras atendidas pela aviação agrícola.</i></b> <a href="https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas#:~:text=LAVOURAS%20ATENDIDAS%20PELA%20AVIA%C3%87%C3%83O%20AGR%C3%8DCOLA.%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pastagem">https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas#:~:text=LAVOURAS%20ATENDIDAS%20PELA%20AVIA%C3%87%C3%83O%20AGR%C3%8DCOLA.%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pastagem</a>	2023

MAPA <i>et al.</i>	<b>Serviços aeroagrícolas</b> <a href="https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas#:~:text=LAVOURAS%20ATENDIDAS%20PELA%20AVIA%C3%87%C3%83O%20AGR%C3%8DCOLA.%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pastagem">https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas#:~:text=LAVOURAS%20ATENDIDAS%20PELA%20AVIA%C3%87%C3%83O%20AGR%C3%8DCOLA.%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pastagem</a>	2023
CropLife Brasil.	<b>A pulverização aérea é necessária</b> <a href="https://croplifebrasil.org/noticias/a-pulverizacao-aerea-e-necessaria/">https://croplifebrasil.org/noticias/a-pulverizacao-aerea-e-necessaria/</a>	2023
DP AVIAÇÃO	<b>Vantagens de Aplicação Aérea</b> <a href="https://www.dpaviacao.com.br/vantagens.php">https://www.dpaviacao.com.br/vantagens.php</a>	2024

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

## 9.1 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO

O primeiro modelo ajustado considerou todas as variáveis independentes que foram testadas com as estatísticas t e P. Assim, o primeiro modelo testado foi:

$$D = b_0 + b_1FD + b_2AV + b_3P + b_4TA + b_5T + b_6UR + b_7VV \pm u_i$$

Os resultados do modelo são apresentados a seguir:

O teste F apresentou resultado que garante que os dados regrediram e que o ajuste foi bom.

A estatística t e os valores do teste P (testes de hipóteses) indicaram que as variáveis faixa de deposição e altura de voo foram significativas. As variáveis pressão, taxa de aplicação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento não foram significativas para explicar a deriva. Em que pese, essas variáveis serem descritas na literatura como importantes na geração da deriva, elas foram consideradas não significativas para nosso conjunto de dados. Tal fato encontra explicação no objetivo do estudo de promover a excelência na faixa de deposição, assim, controlando todas as variáveis que poderiam afetar a faixa de deposição, também foram controladas aquelas que implicaram maior deriva.

**Tabela 1.** Estatísticas do ajuste.

<b>ANOVA</b>					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	7	9322,93	1331,85	2333,24	1,8207E-251
Resíduo	291	166,11	0,57		
Total	298	9489,04			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	44,4562	0,68269	65,1193	1,5735E-175
FD	-1,0085	0,00917	-110,0101	4,1004E-239
AV	0,1337	0,03096	4,3192	2,15055E-05
P	-0,0004	0,00483	-0,0831	0,9338
TA	-0,0069	0,00473	-1,4517	0,1477
T	0,0184	0,01357	1,3567	0,1759
UR	0,0067	0,00439	1,5264	0,1280
VV	0,0041	0,01248	0,3259	0,7447

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Podemos afirmar que, controlando os fatores que proporcionam a melhor qualidade para a faixa de deposição, controlamos também a deriva. A estatística de qualidade do ajuste  $R^2$  apresentou valor de 98% para o  $R^2$  ajustado, uma vez que o modelo apresenta mais de uma variável independente. Com isso, podemos afirmar que 98% da deriva para nosso conjunto de dados foi explicada pelas nossas variáveis independentes significativas no modelo, no caso, faixa de deposição e altura de voo. O erro padrão da estimativa foi de 0,76m, ou 3,71% sendo considerado um erro muito baixo. Após a análise dos valores P, que mostraram variáveis não-significativas, novo modelo foi gerado utilizando apenas as variáveis consideradas significativas resultando no modelo de regressão final tendo como variáveis independentes a faixa de deposição e a altura de voo. Os resultados do modelo final encontram-se a seguir:

**Tabela 2.** Estatísticas do ajuste

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	9319,76	4659,88	8148,16	1,6028E-259
Resíduo	296	169,28	0,57		
Total	298	9489,04			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	45,2019	0,2133	211,9478	0,0000
FD	-0,9999	0,0082	-121,4507	0,0000
AV	0,1132	0,0288	3,9341	0,0001

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

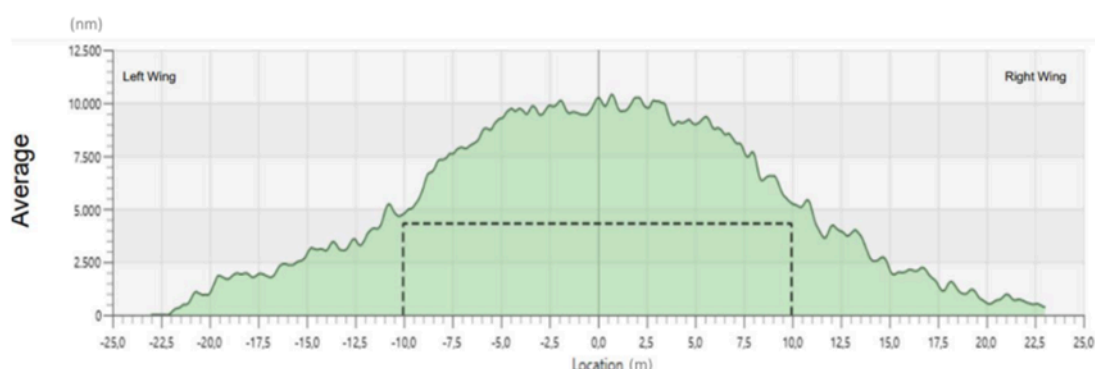
Com o novo ajuste, as estatísticas do modelo apresentam discreta melhora nos indicadores com o  $R^2$  de 98% e uma erro padrão da estimativa (Syx) de 0,75m ou 3,58%. Os ajustes com elevados valores de  $R^2$  em conjunto com baixos valores de Syx apontam para uma boa qualidade da regressão, não havendo tendências à multicolinearidade na base de dados. A multicolinearidade é um fenômeno que ocorre nos modelos ocasionado pela alta correlação entre as variáveis independentes e pode inviabilizar o uso do modelo (Gujarati, 2006).

A equação estima final ficou da seguinte forma:

$$D=45,2019-0,9999*FD+0,1132*AV+/-u_i$$

A deriva para o conjunto de dados analisados pode ser explicada pela equação anterior sendo função de variações na faixa de deposição e na altura de voo. A percepção da variação da altura de voo fica clara de ser analisada quanto ao sinal positivo de seu parâmetro, ou seja, quanto maior a altura de voo, maior será a deriva. Já o sinal negativo em relação ao parâmetro da faixa de deposição pode ser mais bem entendido ao observarmos a Figura 4 apresentada a seguir.

**Figura 4.** Faixa de deposição total e efetiva.



**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Podemos observar na figura anterior que se aumentarmos a faixa de deposição efetiva, diminuimos a área disponível para a deriva. Assim, o sinal negativo estimado para o parâmetro da variável faixa de deposição mostra-se coerente com o esperado.

## 9.2 PROJEÇÃO OU PREVISÃO

Do total de 400 conjuntos de dados, separamos 100 conjuntos para servir como base de validação do modelo gerado e sua capacidade preditiva. Para tanto calculamos o quadrado médio do erro previsto para os dados separados e comparamos ao quadrado médio do erro do modelo ajustado. A expressão do cálculo do quadrado médio do erro previsto (QMEP) foi:

$$QMEP = \frac{\left( \sum_{i=1}^n (y_1 - \hat{y}_1)^2 \right)}{n}$$

Em que:

QMEP = quadrado médio do erro previsto;

$Y_1$  = Valor da deriva estimada;

$\hat{Y}_1$  = Valor da deriva prevista com o modelo para os dados não utilizados;

n = número de observações.

O quadrado médio do erro na regressão foi de 0,57 e o quadrado médio do erro para a estimativa dos dados que não foram utilizados no ajuste do modelo foi de 0,06, portanto, mostrando um desvio do erro menor que o do ajuste do modelo e indicando que o modelo estimou com precisão a deriva para o conjunto de dados que não foi utilizado anteriormente.

Podemos afirmar que em um estudo para estimar a deriva como o apresentado aqui, a análise de modelos de regressão é uma metodologia que tem potencial para estimar a deriva máxima. Estimando a deriva máxima em condições de trabalho das aeronaves em pleno período de safra, podemos delimitar o quão distante esse valor será da área de deposição da calda. Assim, podemos ajustar a equação para estimar a largura máxima de segurança na aplicação.

Chamamos a atenção para os valores médios, máximos e mínimos encontrados no conjunto de dados estudados (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios, máximos e mínimos do conjunto de dados utilizados no estudo.

Variável	Valor médio	Valor Máximo	Valor Mínimo
Deriva Total (m)	20,36	45,00	6,00
Faixa de Aplicação (m)	25,43	40,00	13,00
Altura de Voo (m)	5,28	13,00	2,50
Pressão informada pelo piloto (PSI)	33,28	85,00	15,00
Taxa de Aplicação (L/ha)	16,49	50,00	2,00
Temperatura (°C)	24,26	36,00	12,00
Umidade Relativa do Ar (%)	76,46	96,00	16,00
Incidência de Ventos (Km/h)	7,47	21,70	1,10

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Podemos observar que os fatores mais importantes para gerar a deriva, que é o foco deste estudo, tiveram seus valores máximos acima do recomendado, como por exemplo, a altura de voo. Porém, ao observar seu valor máximo de 13 metros vemos que esse valor

ocorreu poucas vezes e não foi suficiente para gerar uma deriva tão alta, uma vez que a deriva máxima foi de 45 m. Os valores médios da altura de voo são próximos do valor mínimo dessa variável, mostrando que nas 400 vezes que o estudo ocorreu, as alturas de voo foram na faixa considerada adequada para gerar uma faixa de aplicação adequada e gerou pouca deriva. A mesma observação pode ser feita para a variável umidade relativa do ar, que deveria se manter acima de 60%. Embora tivesse um valor mínimo de 16%, ela esteve, em média, acima do valor de referência já que sua média foi 76,46%. Ao respeitar os limites estabelecidos para a variável umidade relativa, foi possível manter a qualidade da faixa de aplicação e, conseqüentemente, a menor deriva.

De acordo com Antuniassi *et al.* (2012) às condições ambientais ótimas para aplicação são: temperatura entre 20 e 30 °C, umidade relativa do ar maior que 50% e velocidade do vento menor que 10km/h.

Para deriva o valor máximo encontrado foi de 45 metros e o menor valor encontrado foi de 6 metros. O maior valor da faixa de aplicação foi de 40 metros e seu menor valor foi de 13 metros. Para a velocidade do vento o máximo foi de 21,7 km/h, porém o valor médio de 7,47% ficou abaixo dos valores máximos indicados. No Quadro 4 temos diversos trabalhos cujo valor da deriva apresentou semelhança com o presente estudo ou foi até menor.

**Quadro 4.** Trabalhos científicos e os valores de deriva observados.

<b>Trabalho</b>	<b>Resultados para a Deriva</b>
Andres, A.; Schreiber, F.; Martins, J. F. S.; Mattos, M. L. T.; Botta, R. A.; Martins, M. B.; Cruvinel, P. E. <b>Influência de Equipamentos e Taxas de Aplicação Aérea na Deriva de Glifosato em Área Orizícola do Rio Grande do Sul: Estudo de Caso.</b> Pelotas, RS: Dezembro, 2020. Circular Técnica, 213.	O estudo relata que a deriva máxima de glifosato em áreas orizícolas no Rio Grande do Sul variou significativamente, dependendo dos equipamentos e taxas de aplicação aérea utilizados, alcançando até 35 metros em condições específicas.
Ganzelmeier, H.; Rautmann, D.; Spangenberg. R. <b>Studies on the spray drift of plant protection products: results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany.</b> Berlin: Blackwell, 1995. 111 p.	Os resultados mostraram que a deriva de produtos de proteção de plantas pode alcançar até 20 metros sob condições de teste
Felsot, A. S. <b>Evaluation and Mitigation of Spray Drift.</b> [Conference Proceedings]. San Jose, Costa Rica: International Workshop on Crop Protection Chemistry in Latin America; Harmonized Approaches for Environmental Assessment and Regulation, 14-17 February, 2005.	Deriva pode alcançar até 50 metros, dependendo das condições climáticas e das técnicas de aplicação

Caldwell BC, Wolf TM. 2006. <b>Measurement of long-distance particle drift using a fluorescent tracer—samplers, sensitivity, detection limits, and background.</b> <i>Asp Appl Biol</i> 77:46-53.	O estudo sobre partículas fluorescentes mostrou deriva de até 100 metros em condições de medição de longa distância
Miller, D.R., Stoughton, T.E., Steinke, W.E., Huddleston, E.W., Ross, J.B., 2000. <b>Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard.</b> <i>Trans. Asae</i> 43, 1057e1066.	A pesquisa indicou que a deriva de defensivos em um pomar irrigado pode alcançar até 75 metros, especialmente sob condições de estabilidade atmosférica.
Langkamp-Wedde <i>et al.</i> (2020). <b>Comparison of the drift potential of two application methods for the control of oak processionary moths with biocidal products in an oak avenue.</b> <i>Science of the Total Environment</i> , 704, 135313.	Comparações de métodos de aplicação para o controle de mariposas processionárias em carvalhos mostraram que a deriva pode alcançar até 40 metros.
Carlsen, S.C.K., Spliid, N.H., Svensmark, B. (2006). <b>Drift of 10 herbicides after tractor spray application: Primary drift (droplet drift).</b> <i>Chemosphere</i> , 64, 778–786. Disponível em: <a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16337986/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16337986/</a>	A deriva primária de 10 herbicidas após aplicação com trator foi registrada em até 30 metros
Garron, C.A., Davis, K.C., Ernst, W.R., 2009. <b>Near-field air concentrations of pesticides in potato agriculture in Prince Edward Island.</b> <i>Pest Manag. Sci.</i> 65, 688e696.	Estudos em culturas de batata em Prince Edward Island indicaram concentrações de defensivos no ar próximo de até 50 metros.
M. Houbraken, F. van den Berg, C.M. Butler Ellis, D. Dekeyser, D. Nuytens, M. De Schampheleire, P. Spanoghe <b>Volatilisation of pesticides under field conditions: inverse modelling and pesticide fate models</b> <i>Pest Manag. Sci.</i> , 72 (2016), pp. 1309-1321, 10.1002/ps.4149	O estudo sobre volatilização de defensivos em condições de campo revelou deriva de até 25 metros
M. Leistra, J.H. Smelt, J.H. Weststrate, F. van den Berg, R. Aalderink <b>Volatilization of the pesticides chlorpyrifos and fenpropimorph from a potato crop</b> <i>Environ. Sci. Technol.</i> , 40 (2006), pp. 96-102, 10.1021/es051248x	O estudo sobre volatilização de clorpirifós e fenpropimorf indicou uma deriva de até 35 metros.
J. Siebers, R. Binner, K.P. Wittich <b>Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops</b> <i>Chemosphere</i> , 51 (2003), pp. 397-407, 10.1016/s0045-6535(02)00820-2	Investigação sobre transporte de defensivos a curto alcance revelou deriva de até 40 metros
Prueger, J.H., Gish, T.J., McConnell, L.L., McKee, L.G., Hatfield, J.L., Kustas, W.P., 2005. <b>Solar radiation, relative humidity, and soil water effects on metolachlor volatilization.</b> <i>Environ. Sci. Technol.</i> 39, 5219e5226.	A volatilização do metolachloro pode causar deriva de até 45 metros sob certas condições meteorológicas.
Rice, C.P., Nochetto, C.B., Zara, P., 2002. <b>Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, alpha-endosulfan, and beta-endosulfan from freshly tilled soil.</b> <i>J. Agric. Food Chem.</i> 50, 4009e4017.	O estudo sobre volatilização de diversos defensivos mostrou deriva de até 50 metros.
Kosikowska, M., Biziuk, M., 2010. <b>Review of the determination of pesticide residues in ambient air.</b> <i>Trac-Trends Anal. Chem.</i> 29, 1064e1072.	Revisão sobre resíduos de defensivos no ar ambiente apontou deriva de até 40 metros.
Lee, S., McLaughlin, R., Harnly, M., Gunier, R., Kreutzer, R., 2002. <b>Community exposures to airborne agricultural pesticides in California: ranking of inhalation risks.</b> <i>Environ. Health Perspect.</i> 110, 1175e1184.	Exposições comunitárias a defensivos agrícolas na Califórnia indicaram deriva de até 30 metros.
Carlsen, S.C.K., Spliid, N.H., Svensmark, B., 2006b. <b>Drift of 10 herbicides after tractor spray application.</b> 1. Secondary drift (evaporation). <i>Chemosphere</i> 64, 787e794.	Deriva secundária após aplicação com trator pode alcançar até 35 metros.

ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; CARVALHO, W. P. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, M. A. P. <b>Spray drift from aerial application on sugarcane.</b> <i>Phytopathology</i> , v. 101, n. 6, June 2011.	A deriva de aplicações aéreas em cana-de-açúcar pode alcançar até 40 metros, conforme relatado no estudo.
Markle, J. C., Niederholzer, F. J. A., & Zalom, F. G. (2016). <b>Evaluation of spray application methods for navel orangeworm control in almonds.</b> <i>Science of the Total Environment</i> , 704, 135313. DOI: 10.1002/ps.4279	Métodos de aplicação para controle de insetos em amendoeiras podem gerar deriva de até 45 metros.
Marubayashi, R. Y. P., Oliveira, R. B., Ferreira, M. C., Roggia, S., Moraes, E. D., & Saab, O. J. G. A. (2021). <b>Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles.</b> <i>Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental</i> , 25(4), 282-287. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v25n4p282-287	A pesquisa sobre redução de deriva com diferentes adjuvantes e bicos de pulverização mostrou deriva de até 25 metros.

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

Ao analisarmos os resultados do presente estudo e os resultados de diversos outros estudos, podemos perceber que um valor máximo de 100 metros de deriva contrasta com valores admitidos na legislação para a faixa de segurança que pode ir de 250 a 500 metros. Tal fato sugere que uma abertura para novas discussões da faixa de segurança possa ser admitida no âmbito da IN 02/2008.

Entendemos que os trabalhos específicos para analisar a deriva precisam ser realizados no cotidiano do trabalho dos pilotos, sem que um momento específico seja necessário para isso. Assim, evitamos que as condições normais do dia a dia da atividade sejam ajustadas para uma condição que não é aquela que acontece na rotina normal de trabalho.

A capacitação de empresas e pilotos deve ser buscada constantemente para que os valores adequados sejam atingidos. As metas dos empresários e suas empresas que se tornam as metas dos pilotos em sua atividade precisam ser atingidas respeitando as características da natureza que irão impactar a deriva. Aquele trabalho perfeito realizado ao longo de uma jornada, não pode ser descredibilizado por 30 a 60 minutos a mais após mudanças climáticas desfavoráveis acontecerem. A conscientização e o treinamento constante podem ser aliados de peso para que novos limites de faixa de segurança venham a ser apresentados e normatizados.

Por fim, ressaltamos que o uso de modelagem estatística se mostrou uma potencial ferramenta para auxiliar pesquisadores que buscam demonstrar que condições bem controladas reduzem efeitos indesejados na aplicação, como a deriva. Salientamos que os próximos passos para pensarmos em textos adicionais nas normas possam ser embasados em modelagem com dados levantados em diversas situações de campo. Assim, poderemos chegar até modelos específicos por grupo de produtos, por modelo de aeronave, ou mesmo, modelos globais que incluam todas as variáveis importantes.



## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação às pesquisas que tiveram como objetivo o estudo da deriva, foi possível verificar que em nenhuma delas foi testada a deriva mínima com a adoção das condições desejáveis para pulverização aérea, pois, o objetivo dos trabalhos foi o de verificar até que ponto haveria a deriva. Então, as variáveis que impactam diretamente a distância da deriva da pulverização aérea, foram variadas ao máximo, para se estabelecer até que ponto ocorreria a deriva. Por exemplo: À medida que se aumenta a velocidade do vento, diminui o tamanho da gota e aumenta a altura de voo.

Foi possível verificar que as pesquisas que testam a eficiência da faixa de deposição efetiva ou uniformidade/homogeneidade da distribuição da calda, por atenderem os critérios para minimização da deriva, são indicadas como referência para a determinação da deriva e, conseqüentemente, o estabelecimento da faixa de segurança, pois, o foco é a máxima eficiência da pulverização (mínima deriva, minimização de custos) e não, a testagem da máxima deriva. A deriva aceitável refere-se ao deslocamento mínimo de gotas que permanecem dentro da área-alvo, enquanto a deriva inaceitável ocorre quando as gotas ultrapassam os limites da área-alvo, podendo causar contaminação e prejuízos.

A Instrução Normativa nº 2/2008 do MAPA, em seu Inciso I do Artigo 10º, limita a faixa de aplicação aérea de 250 a 500 metros, contudo, não foram encontrados estudos ou base técnica e científica, para o estabelecimento deste valor padrão ou intervalo. É evidente, também, que para além da falta de tecnicidade, há o fator temporal. A norma publicada há mais de 15 anos, não abarca as inovações tecnológicas que transformaram o setor aeroagrícola nas últimas décadas.

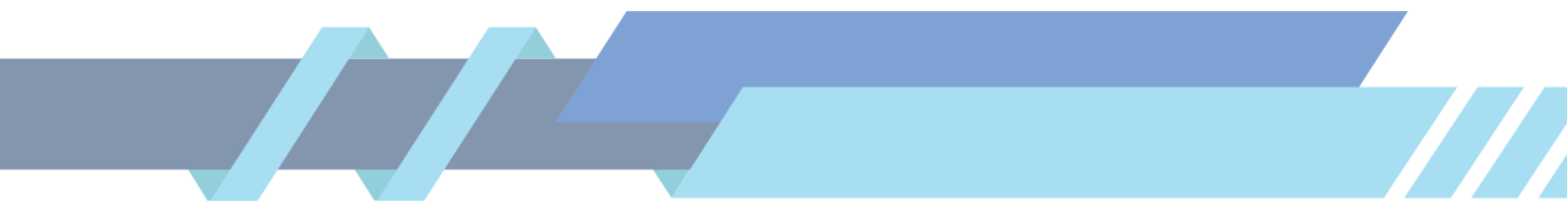
Para controlar a deriva ou reduzi-la, é fundamental seguir as boas práticas de aplicação, ajustar corretamente o equipamento de pulverização, escolher o tamanho adequado de gotas, considerar as condições climáticas e de vento, e adotar medidas de segurança recomendadas. É importante sempre consultar as orientações específicas do fabricante do equipamento, bem como as regulamentações locais e as boas práticas agrícolas para garantir uma aplicação eficaz e segura, minimizando a deriva e seus potenciais impactos.

A aplicação aérea de defensivos agrícolas, embora vantajosa para o controle eficiente de grandes áreas e intervenções emergenciais, exige uma análise criteriosa de diversos fatores que podem influenciar a qualidade da deposição. A correta determinação da faixa de deposição, dividida em faixa total e faixa efetiva, é essencial para garantir a uniformidade e a eficácia do tratamento fitossanitário.

A altura de voo, a velocidade da aeronave, a pressão de pulverização, o tipo e a localização dos bicos, a direção e velocidade do vento, as condições meteorológicas, a configuração da barra de pulverização, e a topografia do terreno são alguns dos principais fatores que afetam a distribuição das gotas e, conseqüentemente, a qualidade da aplicação. A combinação ideal desses fatores deve ser ajustada para cada operação, garantindo que a pulverização atinja o alvo de maneira uniforme e eficaz.

O impacto econômico do pisoteio por implementos agrícolas vai além dos custos diretos de produção e da redução da produtividade. A compactação do solo pode comprometer a sustentabilidade agrícola a longo prazo, afetando a viabilidade econômica das operações. A redução na fertilidade e a degradação da estrutura do solo podem levar a uma menor capacidade produtiva a longo prazo, exigindo investimentos contínuos em insumos e técnicas de manejo para manter a produtividade.

Futuros estudos para estimativa da deriva podem ser realizados por estimativas com análise de regressão como ficou comprovado no presente estudo. Os resultados mostraram que a modelagem via análise de regressão tem potencial para auxiliar na normatização sobre a deriva a partir de variáveis de fácil obtenção.



## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA).** 2022-2025 FIFRA Cooperative Agreement Guidance. Disponível em: <https://www.epa.gov/compliance/fiscal-year-2022-2025-fifra-cooperative-agreement-guidance>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA).** Clean Air Act (CAA) Compliance Monitoring. Disponível em: <https://www.epa.gov/compliance/clean-air-act-caa-compliance-monitoring>. Acesso em: 08 jul. 2024.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA).** Enforcement of Air Quality Standards (NSPS). Disponível em: <https://www.epa.gov/enforcement/air-enforcement#nsr>. Acesso em: 08 jul. 2024.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA).** FIFRA State Primacy Enforcement Responsibilities: Final Interpretive Rule. Disponível em: <https://www.epa.gov/compliance/fifra-state-primacy-enforcement-responsibilities-final-interpretive-rule>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA).** Laws & Regulations. Disponível em: <https://www.epa.gov/laws-regulations>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- AGÊNCIA PÚBLICA.** Antes do Ceará, 8 municípios já haviam proibido a fumigação aérea de agrotóxicos. Disponível em: <https://apublica.org/2019/02/antes-do-ceara-8-municipios-ja-haviam-proibido-fumigacao-aerea-de-agrotoxicos/>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- AGROLINK.** Como evitar a deriva na aplicação de defensivos. Agrolink, 16 jul. 2023. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aspectos-gerais/como-evitar-a-deriva-na-aplicacao-de-defensivos\\_478533.html](https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aspectos-gerais/como-evitar-a-deriva-na-aplicacao-de-defensivos_478533.html). Acesso em: 15 jul. 2024.
- AGROLINK.** Condições climáticas ideais para a aplicação aérea de defensivos. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/condicoes-climaticas-ideais-para-a-aplicacao-aerea-de-defensivos\\_480447.html](https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/condicoes-climaticas-ideais-para-a-aplicacao-aerea-de-defensivos_480447.html). Acesso em: 6 maio 2024.
- ALAKUKKU, L.** et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 1. Machine/soil interactions. Soil and Tillage Research, v. 73, n. 1, p. 145-160, 2003.
- ALVO CONSULTORIA AGRÍCOLA.** Tecnologia de Aplicação: Aplicação Aérea. 18 mar. 2021.

**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.** Regulamento brasileiro da aviação. Brasília, 2015.

**ANDRES, A.** et al. Influência de Equipamentos e Taxas de Aplicação Aérea na Deriva de Glifosato em Área Orizícola do Rio Grande do Sul: Estudo de Caso. Pelotas, RS: Dezembro, 2020. Circular Técnica, n. 213.

**AMSDEN, R. C.** Reducing the evaporation of sprays. *Agricultural Aviation*, v. 4, p. 88-93, 1962.

**ANTUNIASSI, U. R.** Conceitos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. *Boletim de Pesquisa de soja*, Rondonópolis, v. 13, p. 299-317, 2016.

**ANTUNIASSI, U. R.** Desconstruindo Mitos Na Aplicação Aérea De Defensivos. Disponível em: <https://agroefetiva.com.br/desconstruindo-mitos-na-aplicacao-aerea-de-defensivos/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

**ANTUNIASSI, U. R.** Evolution of agricultural aviation in Brazil. *Outlooks on Pest Management*, v. 26, p. 12-15, 2015.

**ANTUNIASSI, U. R.** Tecnologias de Aplicação: Conceitos básicos, Inovações e Tendências. Botucatu: FCA UNESP, 2012.

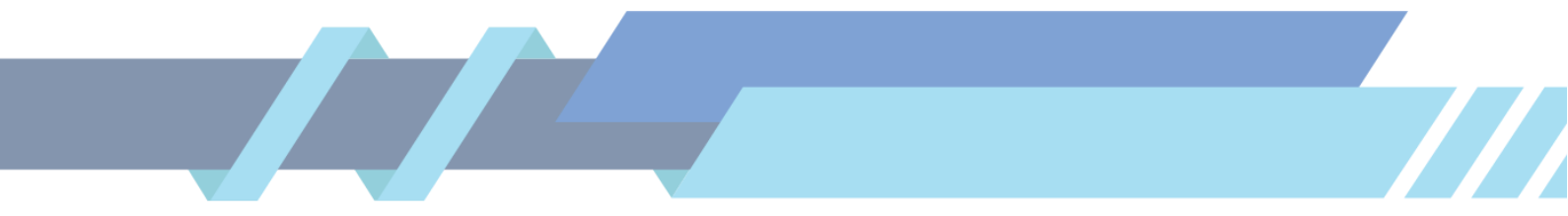
**ANTUNIASSI, U. R.** Tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. *Boletim de Pesquisa de Soja Fundação Mato Grosso*, Rondonópolis, v. 11, p. 199-216, 2007.

**ANTUNIASSI, U. R.; CAMARGO, T. V.; BONELLI, A. P. O.; ROMAGNOLE, H. W. C.** Avaliação da cobertura de folhas em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, Botucatu. Anais... Botucatu: FEPAF, 2004. p. 48-51, 1 CD-ROM.

**ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; CARVALHO, W. P. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, M. A. P.** Spray drift from aerial application on sugarcane. *Phytopathology*, v. 101, n. 6, jun. 2011.

**ARAÚJO, E. C.** Histórico e perfil da aviação agrícola brasileira. Disponível em: [https://issuu.com/sindag-sindicatoaeroagricola/docs/agronautas-30.03.2015-hist\\_rico\\_e](https://issuu.com/sindag-sindicatoaeroagricola/docs/agronautas-30.03.2015-hist_rico_e). Acesso em: 10 jul. 2024.

**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.



**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. 10 p.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** TB-344: Aplicação de defensivos agrícolas - Terminologia. Rio de Janeiro, 1988.

**ASSUNÇÃO, R. D. V.** et al. Caracterização da aviação agrícola no estado do Pará no período de 2012 a 2018. *Agroamazon*, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 188-197, set. 2022. ISSN 2764-8613. Disponível em: <https://agroamazon.ufra.edu.br/index.php?journal=agroamazon&page=article&op=view&path%5B%5D=109>. Acesso em: 14 maio 2024.

**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, n. 4, p. 916-919, 2005.

**BATEY, T.** Soil compaction: identifying causes, consequences and control. In: **Soil Management for Sustainable Agriculture**. Burleigh Dodds Science Publishing, 2021. p. 81-101.

**BIRKÁS, M.; JOLÁNKAI, M.; GYURICZA, C.; PERCZE, A.** Soil conservation tillage impacts on environmental quality. *Sustainability*, v. 15, n. 2, p. 500, 2023.

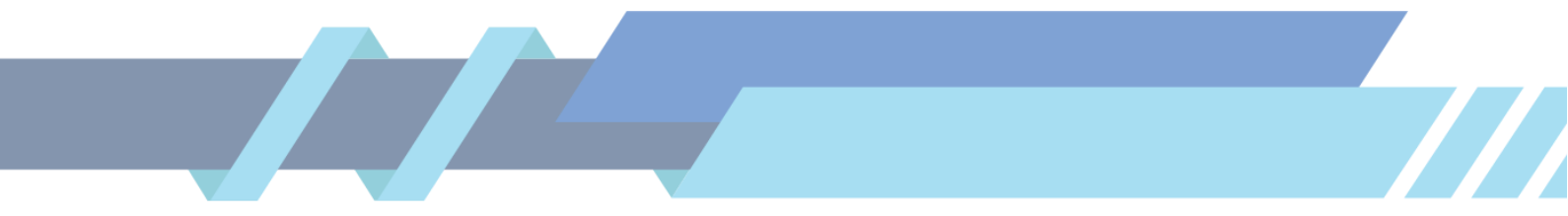
**BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J.** Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, v. 5, n. 4, p. 359-387, 2004.

**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 1014/2015. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1197929>. Acesso em: 09 maio 2024.

**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 1131/2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2351321>. Acesso em: 09 maio 2024.

**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 1456/2024. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2430184>. Acesso em: 05 maio 2024.

**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 4302/2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2214006>. Acesso em: 05 maio 2024.



**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 5560/2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2267445>.

Acesso em: 09 maio 2024.

**BRASIL.** Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 5620/2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2226382>.

Acesso em: 06 maio 2024.

**BRASIL.** Decreto nº 86.765, de 22 de dezembro de 1981. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/2-decreto-86-765-de-22-de-dezembro-de-1981.pdf>.

Acesso em: 06 maio 2024.

**BRASIL.** Decreto-Lei nº 917, de 07 de outubro de 1969. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/1-decreto-lei-917-de-8-de-outubro-de-1969.pdf>.

Acesso em: 08 maio 2024.

**BRASIL.** Instrução Normativa Conjunta nº 01, de 28 de dezembro de 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/9-inc-1-de-28-de-dezembro-de-2012.pdf>.

Acesso em: 08 maio 2024.

**BRASIL.** Instrução Normativa Conjunta nº 01, de 31 de dezembro de 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/10-inc-1-de-31-de-dezembro-de-2014.pdf>.

Acesso em: 06 maio 2024.

**BRASIL.** Instrução Normativa GM/MAPA nº 2, de 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/3-in-2-de-03-de-janeiro-de-2008-com-alteracoes-da-in-37-2020.pdf>.

Acesso em: 08 maio 2024.

**BRASIL.** Instrução Normativa MAPA nº 15, de 10 de maio de 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/5-in-37-de-8-05-2020-altera-in-02-2008.pdf>.

Acesso em: 09 maio 2024.

**BRASIL.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 01/2012. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/inc-01-2012-neonicotinoides>. Acesso em: 10 maio 2024.

**BRASIL.** Portaria nº 16, de 21 de janeiro de 1983. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao>

[cao/11-portaria-16-de-21-01-1983-categorias-registros-aviacao-agricolapdf.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/portaria-16-de-21-01-1983-categorias-registros-aviacao-agricolapdf.pdf). Acesso em: 09 maio 2024.

**BRASIL.** Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/legislacao/portaria-mapa-298-de-22-09-2021.pdf>. Acesso em: 10 maio 2024.

**BUENO, M. R.; DA CUNHA, J. P. A. R.; DE SANTANA, D. G.** Drift curves from spray applications on common bean crop. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, p. 621-632, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016406016716>.

**BUENO, M. R.; DA CUNHA, J. P. A. R.; DE SANTANA, D. G.** Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. *Biosystems Engineering*, v. 154, p. 35-45, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017>.

**BROWN, R.; JOHNSON, T.** Aerial Application Efficiency and Crop Yield: A Comparative Study. *Journal of Agricultural Economics*, v. 47, n. 1, p. 65-78, 2022.

**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, L. A.** Environmental impact of aerial spraying of pesticides. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 41(3), 347-359, 2006.

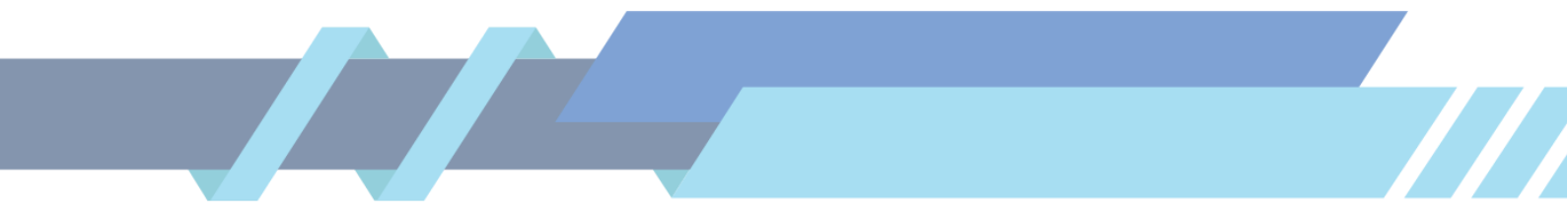
**CARVALHO, W. P. A.; CUNHA, J. P. A. R. (org.).** *Tecnologia de aplicação para culturas anuais: introdução à tecnologia de aplicação por via aérea*. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 169-180.

**CALDWELL, B. C.; WOLF, T. M.** Measurement of long-distance particle drift using a fluorescent tracer—samplers, sensitivity, detection limits, and background. *Asp Appl Biol*, 77:46-53, 2006.

**CADERSA, Y.; GOVINDEN, N.** Relationship between canopy cover and light interception in potato in a tropical climate. *Proc Fourth Annu Meet Agric Sci*, 137-144, 1999.

**CARLSEN, S. C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B.** Drift of 10 herbicides after tractor spray application: Primary drift (droplet drift). *Chemosphere*, 64, 778-786. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16337986/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CARLSEN, S. C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B.** Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 1. Secondary drift (evaporation). *Chemosphere*, 64, 787-794, 2006.



**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.

**CHECHETTO, R. G.** Potencial da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização e diferentes alvos. 70f., 2011. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2011.

**CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A.; VILELA, C. M.** Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, p. 37-46, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p37>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CHRISTOFOLETTI, J. C.** Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. São Paulo: Teejet South América, 1999. p. 15.

**CIOCHERA, R. S.** Gerenciamento do risco na aviação agrícola nos estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/52419101-da3b-4c1e-b501-9c8f973f7a41>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CLARK, E.; et al.** Economic and environmental sustainability in agriculture: The role of aerial spraying. *Journal of Sustainable Agriculture*, 37(2), 180-195, 2020.

**COCIU, A. I.; Ilie, L.; Vîntu, V.; Rusu, T.** Soil compaction effects on microbiological activity in different cropping systems. *Agronomy*, 13(1), 54, 2023.

**CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR).** Title 14: Aeronautics and Space. Part 137: Special Use Airspace. Subpart G: Agricultural Aircraft Operations. Section 25.239: Operation of aircraft for aerial application. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-G/part-137>. Acesso em: 6 jul. 2024.

**CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR).** Title 14: Aeronautics and Space. Part 25: Airworthiness Standards: Transport Category Aircraft. Subpart B: Airworthiness criteria. Section 25.239: Operation of aircraft for aerial application. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-25/subpart-B/subject-group-ECFR0dcfa6c4a237435/section-25.239>. Acesso em: 6 jul. 2024.

**CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR).** Title 40: Protection of the Environment. Chapter I: Environmental Protection Agency. Subchapter E: Pesticide Programs. Part 158:

Data Requirements for Registration. Subpart L: Registration of Pesticide Products Using Aerial Application Equipment. Section 158.1100: Aerial application equipment. Disponível em:

<https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-E/part-158/subpart-L/section-158.1100>. Acesso em: 6 jul. 2024.

**CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR).** Title 40: Protection of the Environment. Chapter I: Environmental Protection Agency. Subchapter E: Pesticide Programs. Part 171: Pesticide Registration Procedures. Subpart B: Labeling. Section 171.103: General requirements for labeling. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-E/part-171/subpart-B/section-171.103>. Acesso em: 6 jul. 2024.

**CONAB; Agência Nacional de Águas (ANA).** (2022). Mapeamento da Conab e da ANA identifica 1,3 milhão de hectares de arroz irrigado no Brasil. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3569-mapeamento-da-conab-e-da-ana-identifica-1-3-milhao-de-hectares-de-arroz-irrigado-no-brasil#:~:text=O%20RS%20mant%C3%A9m%20a%20lideran%C3%A7a,%25%20e%20o%20C8%25>. Acesso em: 6 maio 2024.

**CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, W. P. A.** Distribuição volumétrica de aplicações aéreas de agrotóxicos utilizando adjuvantes. *Engenharia Agrícola*, v.13, p.130-135, 2005.

**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, n. 3, p. 715-720, 2013.

**CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C.** Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, v.28, p.1153-1158, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000500023>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CUNHA, J. P. A. R.; OLIVET, J. J.** Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 4, p. 487-493, out./dez., 2008.

**CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, W. P. A.** Distribuição volumétrica de aplicações aéreas de agrotóxicos utilizando adjuvantes. *Engenharia Agrícola*, v. 13, p. 130-135, 2005.

**CUNHA, J. P. A. R. et al.** Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 4, p. e20207270, 2020.

**CUNHA, J. P. A. R. et al.** Avaliação do potencial de deriva de pontas de pulverização com adjuvantes em aplicações aéreas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 345-350, 2015.

**CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C.** Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, v. 28, p. 1153-1158, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000500023>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CUNHA, J. P. A. R. da; BARIZON, R. R. M.; FERRACINI, V. L. et al.** Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans. *Engenharia Agrícola*, v. 37, p. 493-501, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n3p493-501/2017>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CUNHA, J. P. A. R. da; BARIZON, R. R. M.; FERRACINI, V. L.; ASSALIN, M. R.** Spray drift and caterpillar and stink bug control from applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. *Engenharia Agrícola*, v. 37, p. 1163-1170, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1163-1170/2017>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**CUNHA, J. P. A. R. da 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.

**DANINHA, 1979. CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R.** Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. *Planta Daninha*, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

**DA SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E.** Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 85, n. 4, p. 1096-1107, 2020.

**DEJONG-HUGHES, J.; MONCRIEF, J. F.; VOORHEES, W. B.; SWAN, J. B.** Soil compaction: Causes, effects, and control. University of Minnesota Extension, 2022.

**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS (USDA).** Forest Service Aviation. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/aviation>. Acesso em: 4 jun. 2024.

**DP AVIAÇÃO.** Vantagens de Aplicação Aérea. Disponível em: <https://www.dpaviacao.com.br/vantagens.php>. Acesso em: 06 maio 2024.

**D'HOSE, T.; COUGNON, M.; DE VliegHER, A.; VANDECASTEELE, B.; VIAENE, N.; CORNELIS, W. M.; REHEUL, D.** The impact of reduced tillage and cover crops on the soil quality and crop yield: Results of a 15-year field experiment. *Soil and Tillage Research*, v. 214, p. 105188, 2022.

**DRAPEER, N. R.; SMITH, H.** *Applied Regression Analysis*. 3. ed. Danvers: Wiley, 1998. 706 p.

**EDWARDS, Gordon.** DDT: A Case Study in Scientific Fraud. Tucson: *Journal of American Physicians and Surgeons*, v. 9, 2004.

**ELLIS, M. C. B.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H.** The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. *Crop Protection*, v. 16, p. 41-50, 1997.

**EMBRAPA.** Crescimento e intensificação da produção agrícola brasileira. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/intensificacao-tecnologica-e-concentracao-da-producao/sinal-e-tendencia/crescimento-e-intensificacao-da-producao-agricola-brasileira>. Acesso em: 6 maio 2024.

**FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).** Sustainable Aerial Spraying Practices for Crop Protection. *FAO Agricultural Development Series*, v. 78, p. 1-35, 2020.

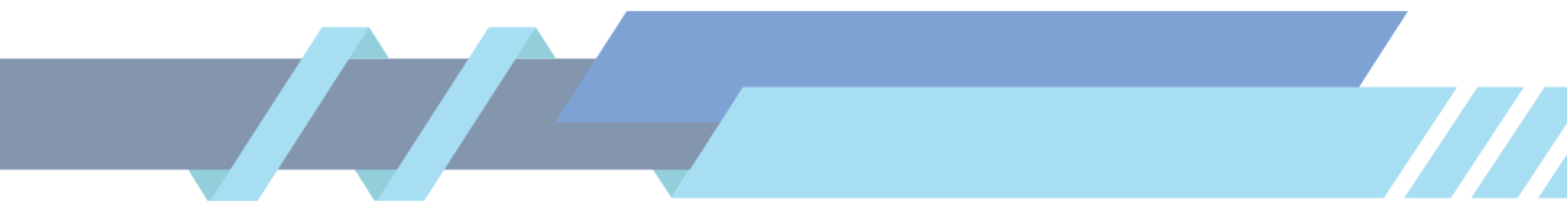
**FELSOT, A. S.** Evaluation and Mitigation of Spray Drift. [Conference Proceedings]. San Jose, Costa Rica: International Workshop on Crop Protection Chemistry in Latin America; Harmonized Approaches for Environmental Assessment and Regulation, 14-17 February, 2005.

**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*, v. 20, n. 2, p. 147-152, 2003.

**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. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 9, n. 6, p. 501-505, 1993.

**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*, D. Linscott (ed.). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019. p. 24-38.

**FRITZ, Bradley; MARTIN, Daniel.** Measurement and Analysis Methods for Determination of Effective Swath Width from Unmanned Aerial Vehicles. 2020. 10.1520/STP162720190132.

**GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R.** Studies on the spray drift of plant protection products: results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Berlin: Blackwell, 1995. 111 p.

**GARRON, C. A.; DAVIS, K. C.; ERNST, W. R.** Near-field air concentrations of pesticides in potato agriculture in Prince Edward Island. *Pest Management Science*, v. 65, p. 688-696, 2009.

**GENTIL-SERAGENT, C.; BASSET-MENS, C.; GAAB, J.; MOTTES, C.; MELERO, C.; FANTKE, P.** Quantifying pesticide emission fractions for tropical conditions. *Chemosphere*, v. 275, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130014>.

**GILES, D. K.; SLAUGHTER, D. C.** Precision Band Spraying with Machine-Vision Guidance and Adjustable-Pitch Spray Nozzles. *Transactions of the ASAE*, v. 40, n. 1, p. 29-36, 1997.

**GOUDA, A. I.; MEHOBA, M. H. L.; TOKO II, et al.** Comparison of drift of two types of sprayers used in cotton production in Benin. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, v. 22, p. 94-105, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.25518/1780-4507.16431>.

**GREEN, M.; DAVIS, K.** Precision Agriculture Techniques in Aerial Spraying: Improving Efficiency and Effectiveness. *Agricultural Systems*, v. 40, n. 3, p. 301-315, 2021.

**GUJARATI, N. D.** *Econometria Básica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006. 812 p.

**HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K.** Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

**HERNANDEZ-HERNANDEZ, C. N. A.; VALLE-MORA, J.; SANTIESTEBAN-HERNANDEZ, A.; BELLO-MENDOZA, R.** Comparative ecological risks of pesticides used in plantation production of papaya: application of the SYNOPS indicator. *Science of the Total Environment*, v. 381, p. 112-125, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.014>.

**HERRMANN, S.; DALLA NORA, M.; DIORDINIS METZKA LANZANOVA, T.** Desenvolvimento de um motor aeronáutico de combustão interna para uso na aviação agrícola. Anais do 2º Congresso Aeroespacial Brasileiro, 2019.

**IOST, C. A. R.** Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas. Botucatu: FCA/UNESP, 2008. 63 p. Dissertação (Mestrado).

**JUNIOR, C. F.** 72 Anos da Aviação Agrícola No Brasil: Mitos E Verdades. 2017. 32 f. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

**KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D.** Agricultural traffic-induced soil compaction: Nature, causes, consequences and control. *Advances in Agronomy*, v. 164, p. 1-52, 2023.

**KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D.** Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, v. 197, p. 104521, 2020.

**KOSIKOWSKA, M.; BIZIUK, M.** Review of the determination of pesticide residues in ambient air. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v. 29, p. 1064-1072, 2010.

**KOVÁČIK, L.; LUSIAK, T.; NOVÁK, A.** Reducing emissions from aviation and their impact on aviation work in agriculture. *Transportation Research Procedia*, v. 55, p. 220-227, 2021.

**KOVÁČIK, L.; NOVÁK, A.** Comparison of Aerial Application vs. Ground Application. *Transportation Research Procedia*, v. 44, p. 264-270, 2020.

**LANGKAMP-WEDDE, T.; STEGMANN, H.; SIEBERS, R.** Comparison of the drift potential of two application methods for the control of oak processionary moths with biocidal products in an oak avenue. *Science of the Total Environment*, v. 704, p. 135313, 2020.

**LEE, S.; MCLAUGHLIN, R.; HARNLY, M.; GUNIER, R.; KREUTZER, R.** Community exposures to airborne agricultural pesticides in California: ranking of inhalation risks. *Environmental Health Perspectives*, v. 110, p. 1175-1184, 2002.

**LEISTRA, M.; SMELT, J. H.; WESTSTRATE, J. H.; VAN DEN BERG, F.; AALDERINK, R.** Volatilization of the pesticides chlorpyrifos and fenpropimorph from a potato crop. *Environmental Science & Technology*, v. 40, p. 96-102, 2006.

**LEVINE, M. J.; GUNNER, K. E.** Quantifying the Aerial Deposition of Pesticides. *Journal of Environmental Quality*, v. 41, n. 3, p. 748-755, 2012.

**LIU, T.; LEE, W. S.** Machine learning for precision agriculture: Principles, tools, and applications. *Sensors*, v. 19, n. 18, p. 3899, 2019.

**HOUBRAKEN, M.; VAN DEN BERG, F.; BUTLER ELLIS, C. M.; DEKEYSER, D.; NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.** Volatilisation of pesticides under field conditions: inverse modelling and pesticide fate models. *Pest Management Science*, v. 72, p. 1309-1321, 2016. DOI: 10.1002/ps.4149.

**LEISTRA, M.; SMELT, J. H.; WESTSTRATE, J. H.; VAN DEN BERG, F.; AALDERINK, R.** Volatilization of the pesticides chlorpyrifos and fenpropimorph from a potato crop. *Environmental Science & Technology*, v. 40, p. 96-102, 2006. DOI: 10.1021/es051248x.

**MARKLE, J. C.; NIEDERHOLZER, F. J. A.; ZALOM, F. G.** Evaluation of spray application methods for navel orangeworm control in almonds. *Science of the Total Environment*, v. 704, 135313, 2016. DOI: 10.1002/ps.4279.

**MARUBAYASHI, R. Y. P.; OLIVEIRA, R. B.; FERREIRA, M. C.; ROGGIA, S.; MORAES, E. D.; SAAB, O. J. G. A.** Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 282-287, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n4p282-287.

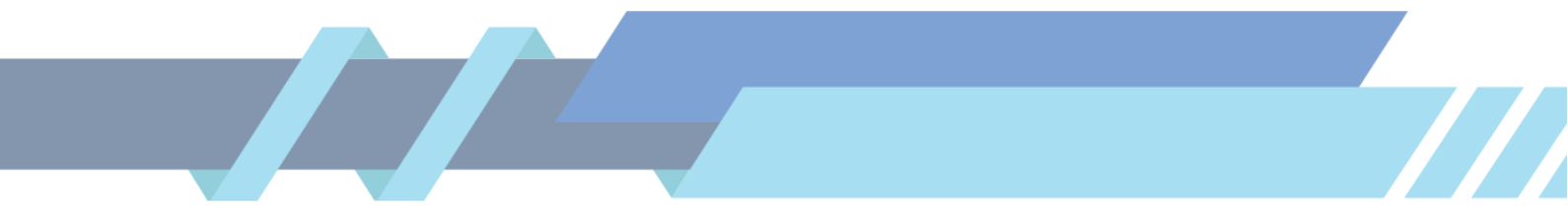
**MATOS, O. C.** *Econometria Básica – Teoria e Aplicações*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 300 p.

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

**MHEREB, G. de A.** *Aviação agrícola no Brasil: caracterização, invisibilização e debates*. 2017. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9626>.

**MHEREB, G. de A.; NORDER, L. A. C.** *Aviação Agrícola no Brasil: contexto e caracterização*. *Confins*, v. 36, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.13638>.

**MICKELSON, S. K.; HELMERS, M. J.; CHRISTIANSON, L. E.; LIEBERMAN, J. A.** Impact of spray drift from aerial application on non-target organisms. *Journal of Environmental Quality*, v. 50, n. 2, p. 371-383, 2021.



**MILLER, D. R.; STOUGHTON, T. E.; STEINKE, W. E.; HUDDLESTON, E. W.; ROSS, J. B.** Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard. *Transactions of the ASAE*, v. 43, p. 1057-1066, 2000.

**MILLER, P. C. H.** Spray drift and its measurement. In: **MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C.** Application technology for crop protection. Wallingford: CAB International, 1993. p. 101-122.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.** Lavouras atendidas pela aviação agrícola. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas#:~:text=LAVOURAS%20ATENDIDAS%20PELA%20AVIA%C3%87%C3%83O%20AGR%C3%8DCOLA,%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pa%20stagem>. Acesso em: 6 maio 2024.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.** Serviços aeroagrícolas. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola/servicos-aeroagricolas>. Acesso em: 6 maio 2024.

**MOSSMANN, A. J.; MOSSMANN, C. R.** Manual teórico e prático da atividade aeroagrícola no Brasil. Passo Fundo: Passografic, 2023. 362 p.

**MOTTES, C.; LESUEUR JANNOYER, M.; LE BAIL, M.; et al.** Relationships between past and present pesticide applications and pollution at a watershed outlet: the case of a horticultural catchment in Martinique, French West Indies. *Chemosphere*, v. 184, p. 762-773, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.061>.

**NATIONAL AGRICULTURAL AVIATION ASSOCIATION.** Agricultural Use. Disponível em: <https://aviationacrossamerica.org/issues/agricultural-use/>. Acesso em: 13 maio 2024.

**NATIONAL AGRICULTURAL AVIATION ASSOCIATION.** Environmental Issues. Disponível em: <https://www.agaviation.org/policy/environmental-issues/>. Acesso em: 12 jul. 2024.

**NAZARI, M. et al.** A meta-analysis of soil susceptibility to machinery-induced compaction in Forest ecosystems across global climatic zones. *Current Forestry Reports*, v. 9, n. 5, p. 370-381, 2023.



**NETO, J. O. S.; SASAKI, R. S.; DE ALVARENGA, C. B.** Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021.

**OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION.** Agricultural Operations. Disponível em: <https://www.osha.gov/agricultural-operations/standards>. Acesso em: 04 jun. 2024.

**PALLADINI, L. A.** Avaliação de método para medição do diâmetro de gotas de calda de pulverização depositadas sobre papel hidrossensível. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 1, p. 155-159, 2006.

**PAVARINI, I.; VENDRAME, P. R. S.; FRANZENER, G.; RODRIGUES, J.** Sustainable agriculture and the role of modern technologies in reducing pesticide use. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1234, 2022.

**PRUEGER, J. H.; GISH, T. J.; MCCONNELL, L. L.; MCKEE, L. G.; HATFIELD, J. L.; KUSTAS, W. P.** Solar radiation, relative humidity, and soil water effects on metolachlor volatilization. *Environmental Science & Technology*, v. 39, p. 5219-5226, 2005.

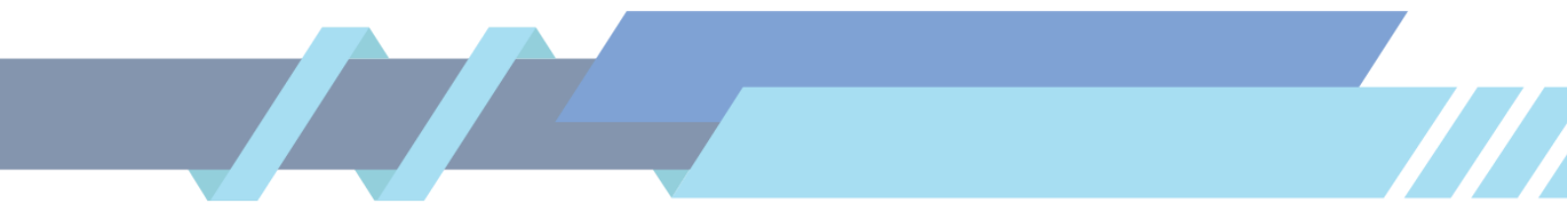
**RANGEL, J.** et al. Evaluation of spray drift potential in agricultural aircraft applications. *Crop Protection*, 152, 105755, 2023.

**Revista AVAG.** Brasil Inicia 2021 Com 2.352 Aeronaves Agrícolas. Disponível em: <https://revistaavag.org.br/brasil-inicia-2021-com-2-352-aeronaves-agricolas/>. Acesso em: 18 de junho de 2024.

**Revista AVAG.** Tecnologia de Aplicação Aérea: Diretrizes aplicadas à cultura do algodão. Disponível em: <https://revistaavag.org.br/tecnologia-de-aplicacao-aerea-diretrizes-aplicadas-a-cultura-do-algodao/>. Acesso em: 6 de maio de 2024.

**Revista Cultivar.** Frota Aeroagrícola Brasileira Recebeu 149 Aviões Novos Em 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/frota-aeroagricola-brasileira-recebeu-149-avioes-novos-em-2023>. Acesso em: 20 de junho de 2024.

**RICE, C. P., NOCHETTO, C. B., & ZARA, P.** Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, alpha-endosulfan, and beta-endosulfan from freshly tilled soil. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4009-4017, 2002.



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

**RÜHLING, A., KUNZ, A., & STOLLBERG, J.** The environmental impacts of different pest management strategies. *Environmental Science & Policy*, 132, 156-169, 2023.

**SARTORI, M.** et al. Applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) for precision agriculture. *Sensors*, 23(4), 1159, 2023.

**SATO, L. C.** et al. Estudo do processo de moagem dos ingredientes ativos presentes na formulação de agrotóxicos: proposta de substituição do solvente óleo mineral por água. *Quim. Nova*, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 290-296, 2004.

**SCHEFFLER, A. L., DUCHIN, F., & VELÁSQUEZ, N.** Impact of precision agriculture technologies on pesticide use and productivity. *Agricultural Systems*, 188, 103035, 2022.

**SINDAG.** A importância da aviação agrícola na contenção da pandemia de coronavírus (COVID-19) e na produção de alimentos. Disponível em: [https://sindag.org.br/colunas\\_sindag/a-importancia-da-aviacao-agricola-na-contencao-da-pandemia-coronavirus-covid19-e-na-producao-de-alimentos/#](https://sindag.org.br/colunas_sindag/a-importancia-da-aviacao-agricola-na-contencao-da-pandemia-coronavirus-covid19-e-na-producao-de-alimentos/#). Acesso em: 6 de maio de 2024.

**SINDAG.** História. Disponível em: <https://sindag.org.br/historia/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

**SINDAG.** Serviços e procedimentos aeroagrícolas. Disponível em: <https://sindag.org.br/servicos-e-procedimentos-aeroagricolas/#:~:text=SOBRE%20AS%20LA%20VOURAS%20ATENDIDAS,%2C%20mandioca%2C%20macad%C3%A2mia%20e%20pastagem>. Acesso em: 6 de maio de 2024.

**SCHWARZ, M., & ECKER, F.** Optimizing Agricultural Spray Applications with UAVs: A Comparative Study. *Drones*, 7(1), 35, 2023.

**SILVA, João.** Estudo sobre aplicação de defensivos agrícolas. 2016. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://canal.cecierj.edu.br/012016/27fded665f3743daf6b76edc8477452b.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2024.

**SILVA, L., COSTA, A., & TORRES, J.** Vantagens da aviação agrícola na aplicação de defensivos agrícolas. *Revista de Tecnologia Agrícola*, 15(3), 78-89, 2020.

**SIEBERS, J., BINNER, R., & WITTICH, K. P.** Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. *Chemosphere*, 51, 397-407, 2003.

**SMITH, A. B.** et al. Economic Analysis of Aerial Spraying versus Ground Spraying in Large-Scale Agriculture: A Case Study in the United States. *Agricultural Economics*, 48(3), 317-330, 2020.

**SMITH, J., JOHNSON, R., & MARTINEZ, A.** Aerial Spraying in Modern Agriculture: Benefits and Risks. *Journal of Agriculture and Environment*, 10(2), 45-58, 2017.

**SMITH, John A.** History of Agricultural Aviation. New York: Agriculture Press, 2018. Disponível em: <https://hartzellprop.com/the-history-of-agricultural-aviation/>.

**SOUSA, E. B.** et al. Avaliação da deriva em pulverizações hidráulicas por meio de papéis hidrossensíveis e de lisoisina n-alanina. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 487-496, 2007.

**STOKES, M., PESSOA, M., & LORENTZEN, E.** Soil Compaction under Different Agricultural Machines: A Comparative Study. *Soil & Tillage Research*, 163, 158-165, 2016.

**TEIXEIRA, M. M.** Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. 1997. 310 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

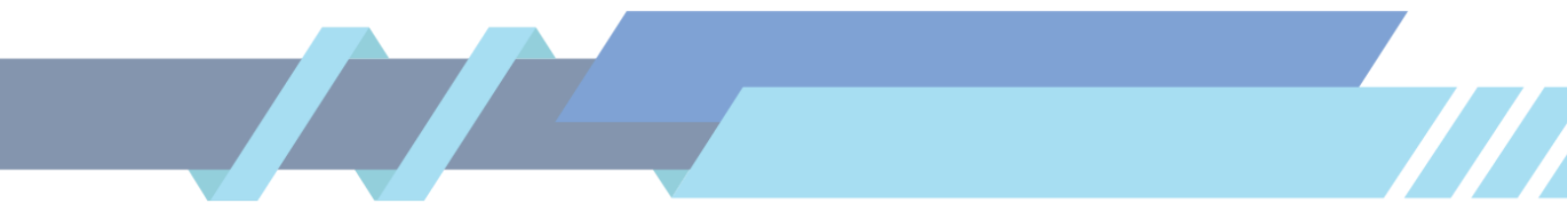
**TESKE, M. E., BIRD, S. L., ESTERLY, D. M., CURBISHLEY, T. B., RAY, S. L., & PERRY, S. G.** AgDRIFT: a model for estimating near-field spray drift from aerial applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(3):659-671, 2002.

**TEXTOR, Tiago.** Eficiência na aplicação aérea. Disponível em: <http://www.aerotex.com.br/noticias/eficiencia-na-aplicacao-aerea>. Acesso em: 26 junho 2020.

**TAYLOR, W. A., & FENNESSY, D. L.** Best Practices for Aerial Application of Crop Protection Products. *Pest Management Science*, 77(9), 4211-4219, 2021.

**TOLOZA, A. C.** et al. Impact of aerial pesticide application on beneficial insects in soybeans. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(2), 322-332, 2022.

**Senado Federal.** Regulamentação de profissões é tema frequente no legislativo. Disponível em:



<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/07/regulamentacao-de-profissoes-e-t-ema-frequente-no-legislativo#:~:text=A%20regulamenta%C3%A7%C3%A3o%20define%20legalmente%20o,exigida%20e%20outras%20defini%C3%A7%C3%B5es%20profissionais.>

Acesso em: 6 de maio de 2024.

**Serviço Florestal dos EUA.** Programa Nacional de Treinamento em Aviação Agrícola. Disponível em:

<https://www.fs.usda.gov/sites/default/files/2023-02/Natl-Aviation-Safety-Mgt-Plan.pdf>.

Acesso em: 4 jun. 2024.

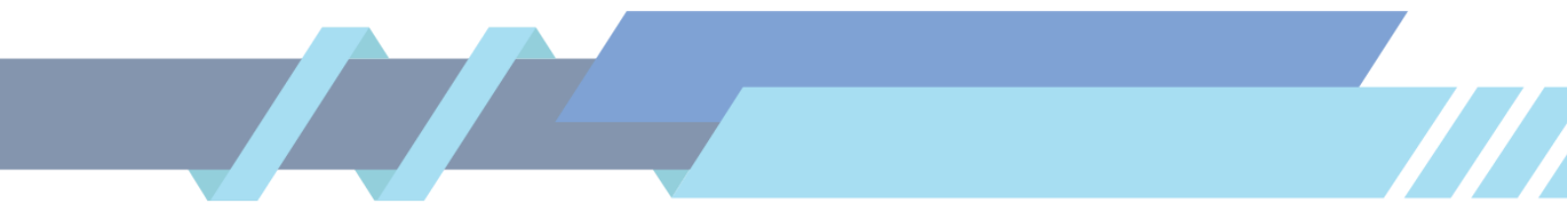
**Serviço Florestal dos EUA.** Sistema de Gestão de Segurança da Aviação Agrícola. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/avsafety>. Acesso em: 4 jun. 2024.

**VAZ, Vivian Tosin.** A implantação de Standard operating procedures como instrumento gerencial da segurança operacional de empresas aeroagrícolas, 2015. Disponível em: [https://abrapac2015.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/tcc\\_vivian\\_tosin\\_vaz\\_utp.pdf](https://abrapac2015.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/tcc_vivian_tosin_vaz_utp.pdf).

**VIEIRA, R. F.; SILVA, G. D.; PALLADINI, L. A.; BARBOSA, J. C.; BOLONHEZI, D.** Estudo da deposição da calda de pulverização na cultura de soja (*Glycine max L.*) aplicada por aeronave agrícola e por pulverizador de barra. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 13, n. 3, p. 321-325, 2007.

**WOLF, T. M.** Application Technology: The Past, Present, and Future. Pesticide Formulation and Delivery Systems: Innovative Formulation, Application, and Adjuvant Technologies. ASTM International, 2022.

**YANG, C.; MOORE, J. R.; PATERSON, A. H.; PARROTT, W. A.** Advances in precision agriculture for improved pest management. *Pest Management Science*, 79(1), 42-50, 2023.



## APÊNDICE

### 1. CENÁRIO DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA

O setor aeroagrícola desempenha um papel crucial, sendo empregado tanto no combate a pragas em lavouras quanto na semeadura e na distribuição de fertilizantes. Além disso, é essencial no combate a incêndios florestais e no manejo de florestas e recuperação vegetativa em locais de acesso complicado. Presente nas principais culturas estratégicas do agronegócio brasileiro, o setor assegura eficiência e produtividade por meio de tecnologia avançada, precisão elevada e segurança operacional e ambiental (Becker Jr., 2020).

O cenário atual mostra que a aviação agrícola desempenha um papel econômico importante e significativo em diversas culturas no Brasil, incluindo soja, algodão, milho, café, culturas cítricas, arroz, cana-de-açúcar, banana, cereais de inverno (trigo, cevada, aveia, centeio), feijão, pastagens, campos, cerrados, florestas e integração lavoura-pecuária. São realizados diversos serviços pelas aeronaves em 24 estados do país, incluindo o trato de lavouras em geral com a aplicação de fungicidas, inseticidas, herbicidas e fertilizantes, a semeadura sendo bastante utilizada em pastagens e na integração lavoura-pecuária e o combate a incêndios em campos e florestas (Araújo, 2015).

Com o crescimento e popularização da aviação agrícola no país, surgiram também novas discussões a respeito da segurança e viabilidade das técnicas de aplicação. Discussões que colocaram em questão possíveis restrições à utilização de pulverização aérea, isso se deve a uma visão distorcida de que a aplicação de produtos utilizando aeronaves é mais arriscada do que qualquer outra técnica de aplicação. A aviação agrícola já possui um nível atual de desenvolvimento tecnológico que possibilita redução considerável dos riscos ambientais e potenciais dos produtos aplicados, oferecendo base científica para que as indústrias busquem adotar as melhores práticas de pulverização como a capacitação de pilotos e técnicos, certificação dos aplicadores e popularização de novas tecnologias. (Antuniassi, 2015).



Os desenvolvimentos tecnológicos permitiram a realização de pulverizações mais precisas e eficazes, minimizando os impactos ambientais e maximizando a produção (Smith, 2018).

Conforme dados levantados pelo engenheiro agrônomo Eduardo Cordeiro de Araújo a partir de informações disponibilizadas pelo Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) e publicados pela Revista Aviação Agrícola (AVAG), em 2021 a aviação agrícola brasileira cresceu 3,4% e chegou ao número de 2.432 aeronaves. Os dados mostram que em 2008 a frota aeroagrícola era composta por 1.447 aeronaves distribuídas em 948 nacionais e 499 importadas. Já em 2021 a frota teve um crescimento de 985 unidades, sendo 1.349 importadas e 1.083 nacionais, totalizando 2.432 aeronaves. Na Figura 5 pode ser observado a evolução da frota de aeronaves e na figura 2 a sua distribuição entre modelos importados e nacionais no período de 2008 a 2021.

**Figura 5.** Evolução da frota de aeronaves agrícolas no Brasil (2008-2021).



**Fonte:** – ARAÚJO (2022), baseado em dados da Anac, elaboração própria (2024).

Apesar de ainda não ter sido divulgado o levantamento com a frota nacional de aeronaves agrícolas atualizada, uma matéria publicada pela Revista Cultivar (2024) estima que a frota de aeronaves agrícolas no Brasil em 2023 já ultrapassou o número de 2,6 mil aeronaves no total, recebendo 149 novos aviões, o que indica um crescimento significativo e positivo para o setor.

**Figura 6.** Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com sua origem (2008-2021).



**Fonte:** – ARAÚJO (2022), baseado em dados da Anac, elaboração própria (2024).

O aumento da frota de aeronaves agrícolas reflete um aumento na capacidade operacional do setor agrícola brasileiro, permitindo maior eficiência e alcance nas operações de pulverização e outras atividades agrícolas aéreas. O crescimento das aeronaves importadas sugere uma possível tendência de adoção de novas tecnologias e modelos mais avançados provenientes de outros países, implicando em uma modernização da frota.

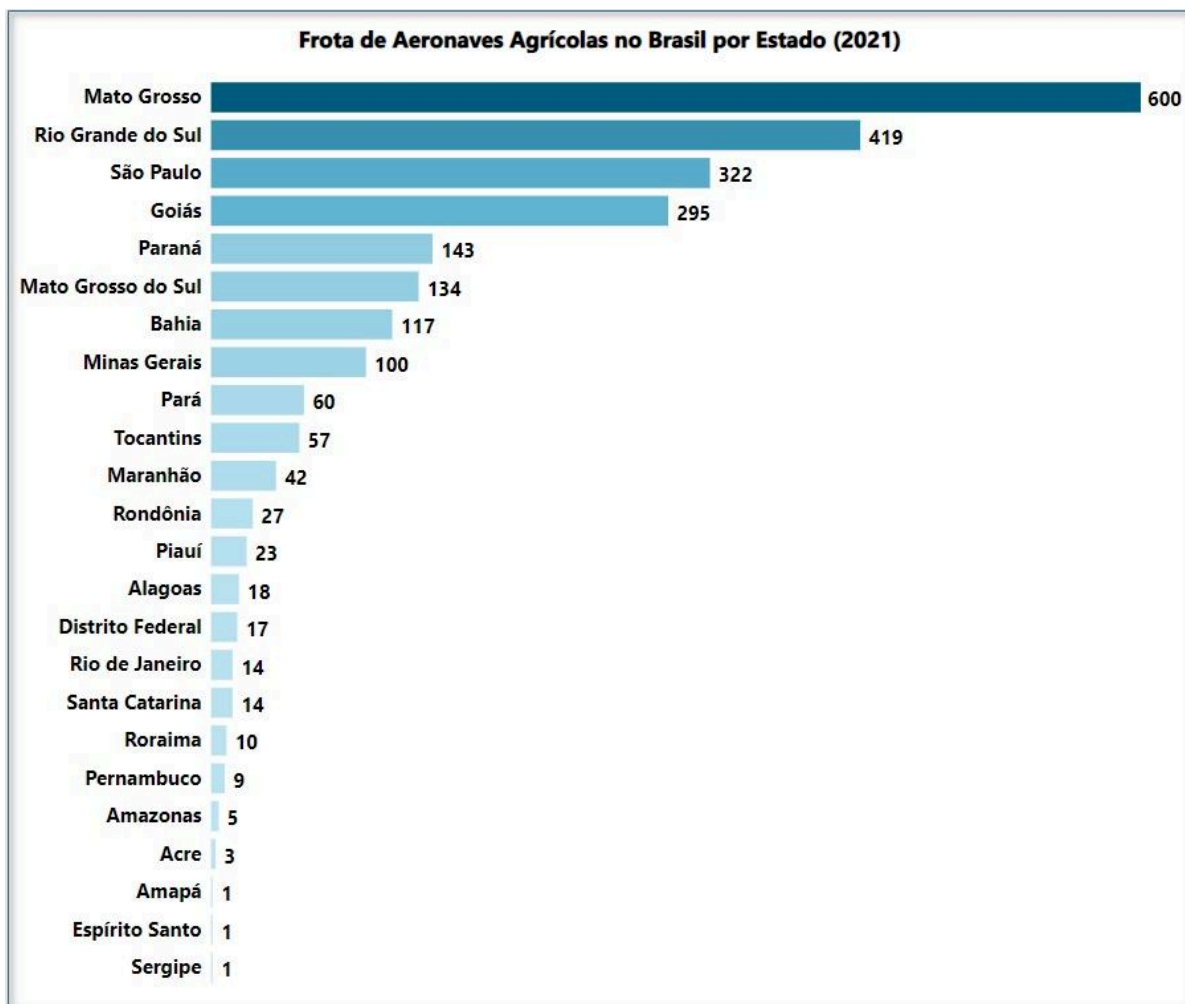
### 1.1 DISTRIBUIÇÃO POR UNIDADE DA FEDERAÇÃO

A maior representatividade da frota aeroagrícola brasileira está nos estados do Mato Grosso, Rio Grande do Sul e São Paulo, somando mais de 50% da frota nacional. Ainda, quase 60% de toda a frota de aeronaves agrícolas no Brasil é composta pelo modelo fabricado pela Embraer, denominado como Ipanema, e suas variações (Herrmann, *et al.*, 2019).

Números publicados pela Revista AVAG em 2022 mostram que a quantidade de aeronaves estava distribuída entre vinte e três estados e o Distrito Federal. O Mato Grosso sendo o estado que possuía a maior frota, com 600 aeronaves representando 24,67% do número total, seguido do Rio Grande do Sul com 419 (17,23%), São Paulo com 322

(13,24%), Goiás com 395 (12,13%) e Paraná com 143 (5,88%). Na Figura 7 é possível observar a distribuição da quantidade de aeronaves agrícolas em cada unidade da federação.

**Figura 7.** Frota de aeronaves agrícolas no Brasil por Estado (2021).



**Fonte:** – ARAÚJO (2022), baseado em dados da Anac, elaboração própria (2024).

Outros estados com participação significativa incluem Paraná, com 143 aeronaves (5,88%), e Mato Grosso do Sul, com 134 aeronaves (5,51%). A Bahia possui 117 aeronaves (4,81%) e Minas Gerais conta com 100 aeronaves (4,11%). Estados como Tocantins (57 aeronaves, 2,34%) e Pará (60 aeronaves, 2,47%) também aparecem na lista, refletindo a diversidade geográfica da utilização da aviação agrícola no Brasil.

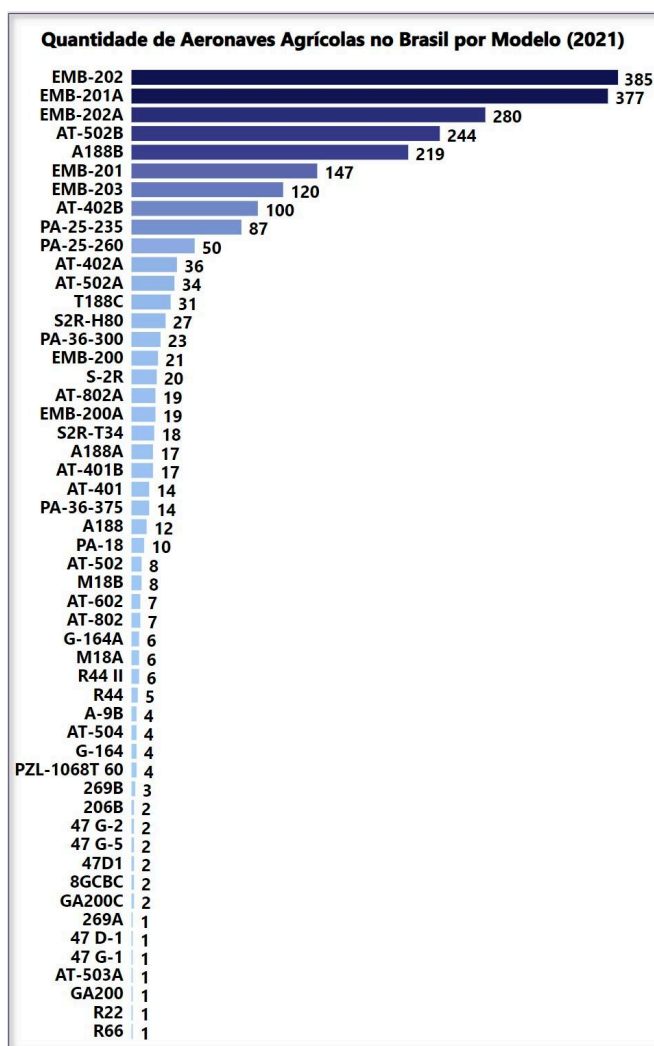
A distribuição desigual da frota de aviação agrícola entre os estados evidenciados na Figura 7, mostra a concentração da atividade em regiões com maior produção agrícola, principalmente no Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil. Essa distribuição reflete as necessidades específicas de cada região e a importância da aviação agrícola como uma ferramenta essencial para a produtividade e eficiência no manejo das lavouras, contribuindo para a competitividade do agronegócio brasileiro.

## **1.2 DISTRIBUIÇÃO POR MODELO DE AERONAVE**

No Brasil, o modelo EMB-202 (EMBRAER-NEIVA) detém a maior frota de aeronaves agrícolas, totalizando 385 unidades. Em seguida vem o EMB-201A (EMBRAER-NEIVA) com 377 unidades, e o EMB-202A (EMBRAER-NEIVA) com 280 unidades. A Figura 8 ilustra a distribuição das aeronaves agrícolas no Brasil por modelo, com base em pesquisa realizada por Araújo (2022).



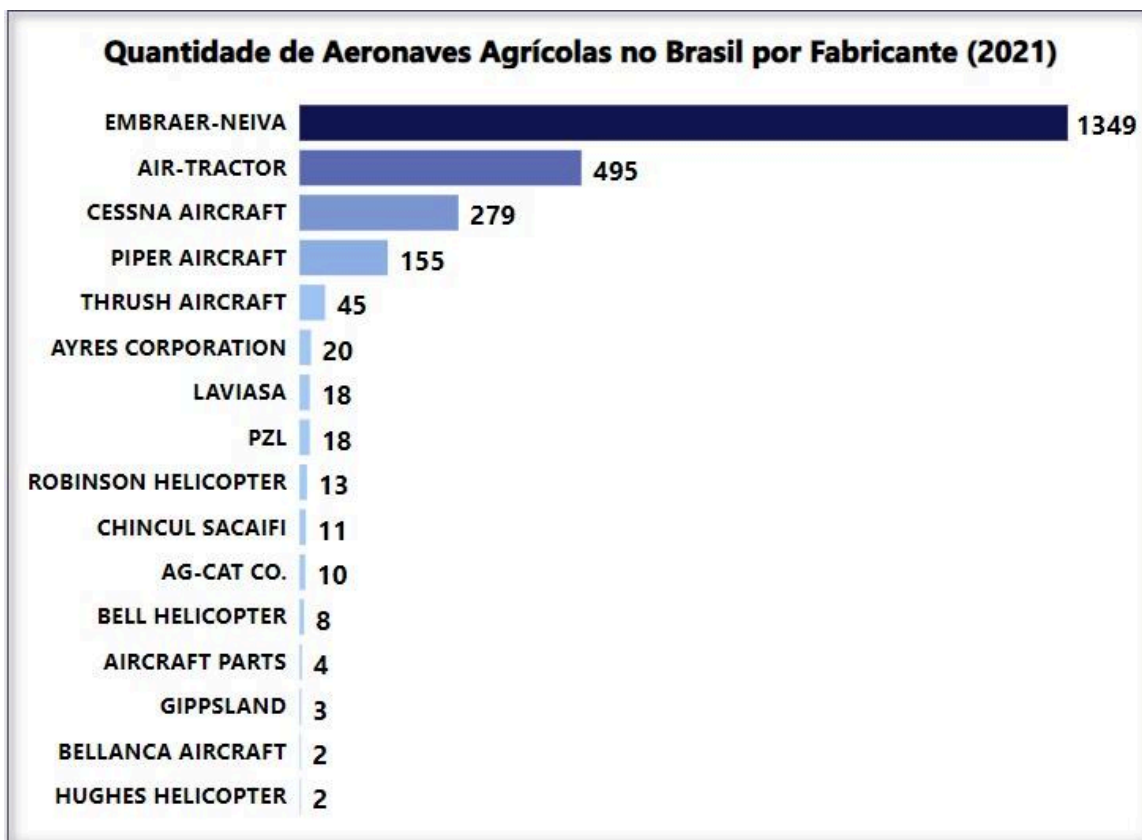
**Figura 8.** Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com seu modelo (2021).



**Fonte:** – ARAÚJO (2022), baseado em dados da Anac, elaboração própria (2024).

A Embraer lidera a frota brasileira sendo a fabricante com maior número de aeronaves, totalizando 1.349. A Air-Tractor ocupa a segunda posição com 495 unidades, seguida pela Cessna Aircraft, que está na terceira posição com 279 aviões. A figura 9 apresenta a divisão da frota de aeronaves agrícolas do Brasil por fabricante (Araújo, 2022).

**Figura 9.** Distribuição da frota de aeronaves agrícolas no Brasil de acordo com o fabricante (2021).



Fonte: – ARAÚJO (2022), baseado em dados da Anac, elaboração própria (2024).

Segundo a Embraer, foram entregues 65 aeronaves EMB-203 Ipanema em 2023, um aumento de 18% em comparação com 2022. A empresa atingiu a marca de 1.600 aeronaves produzidas e busca produzir mais 70 unidades até 2024.

De acordo com matéria publicada pela Revista Cultivar (2024), ainda foram entregues 84 aviões turboélices importados, sendo 75 modelos da Air Tractor e 9 da Thrush, totalizando 149 novas aeronaves adicionadas à frota nacional.

## 2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

### 2.1 DECRETO - LEI Nº 917 DE 07 DE OUTUBRO DE 1969

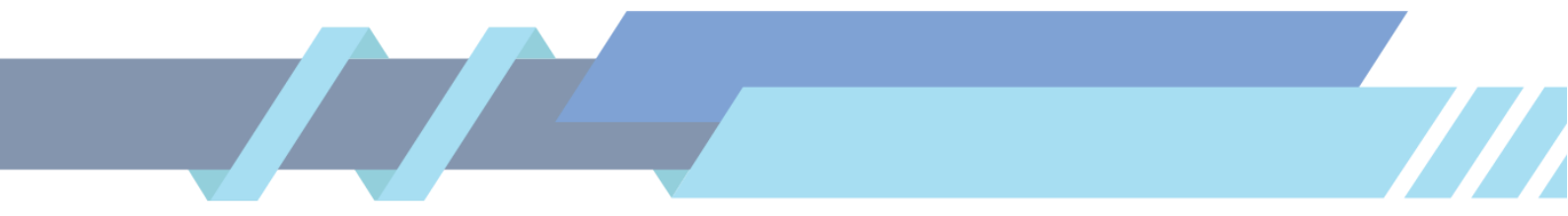
O Decreto Lei nº 917 de 07 de outubro de 1969 é responsável pelo início da legislação que rege a atividade aeroagrícola no Brasil. Este Decreto-Lei define as atividades da aviação agrícola como a aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes, sementes e outros produtos em áreas cultivadas, o povoamento de águas e o combate a incêndios florestais (Brasil, 1969).

No contexto da promulgação do Decreto-Lei nº 917/1969, que instituiu a legislação sobre aviação agrícola no Brasil, reconhecia-se a necessidade de regulamentar o setor, em um momento de rápida expansão da atividade. Consciente das limitações da iniciativa privada em desenvolver as atividades de pesquisa e treinamento de pessoal necessárias, o Decreto-Lei atribuiu ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) a responsabilidade por essa função (Brasil, 1969).

O objetivo era promover o desenvolvimento da aviação agrícola em consonância com a proteção ambiental e a saúde humana, e por isso, no rol de competências do MAPA, incluía o registro e cadastro de empresas, a gestão estatística de pesquisas, a homologação de produtos químicos, a realização de testes operacionais e a participação em decisões sobre incentivos fiscais (Brasil, 1969).

O Decreto-Lei nº 917/1969 também atribuiu ao Ministério da Agricultura (MA) a responsabilidade pela fiscalização das atividades da aviação agrícola, com o objetivo de garantir o cumprimento das normas de segurança e saúde, bem como das medidas de proteção ambiental (Brasil, 1969). Em caso de infração, o MAPA estava autorizado a aplicar multas e até mesmo suspender ou cancelar o registro das empresas infratoras.

Além das medidas punitivas, o MAPA também tinha a missão de promover o desenvolvimento da aviação agrícola no Brasil. Isso incluía a concessão de assistência creditícia, a orientação técnica e econômica, o estabelecimento de padrões de segurança, o



apoio a pesquisas e operações realizadas por instituições de ensino e a promoção de cursos de treinamento e pesquisa em parceria com universidades e órgãos públicos (Brasil, 1969).

## **2.2 DECRETO Nº 86.765 DE 22 DE DEZEMBRO DE 1981.**

Embora o Decreto-Lei nº 917/69 tenha sido promulgado em 1969, somente em 1981 a atividade da Aviação Agrícola foi regulamentada no Brasil por meio do Decreto nº 86.765/81 (Brasil, 1981).

De acordo com o Senado Federal, quando uma atividade é regulamentada por lei, isso significa que há regras claras sobre como ela deve ser exercida, quem pode exercê-la e quais são as responsabilidades associadas. As leis que tratam da jornada de trabalho, das atribuições, da formação necessária e da área de atuação fornecem um arcabouço legal que protege tanto os profissionais quanto o público atendido por eles. Além de também estabelecer padrões de qualidade e segurança, contribuindo para o desenvolvimento ordenado da atividade e para o reconhecimento da profissão perante a sociedade. Isso é essencial para garantir a competência técnica dos profissionais e a qualidade dos serviços prestados, promovendo a confiança e a credibilidade na área de atuação (Agência Senado, 2022).

Portanto, a regulamentação de 1981 foi fundamental para dar direcionamento e estruturação à Aviação Agrícola no Brasil, estabelecendo justamente esses padrões operacionais, normas de segurança, e especificando as atribuições do Ministério da Agricultura quanto ao registro, fiscalização e apoio às empresas e profissionais envolvidos nessa atividade (Brasil, 1981).

O Decreto nº 86.765, de 30 de setembro de 1981, representou um marco regulatório para a aviação agrícola no Brasil. Estruturado em nove capítulos, o Decreto estabeleceu as competências do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), as normas para o registro e cadastro de empresas prestadoras de serviços, os requisitos para o exercício da atividade de aviação agrícola, as regras para aeronaves e equipamentos, as normas para o treinamento de

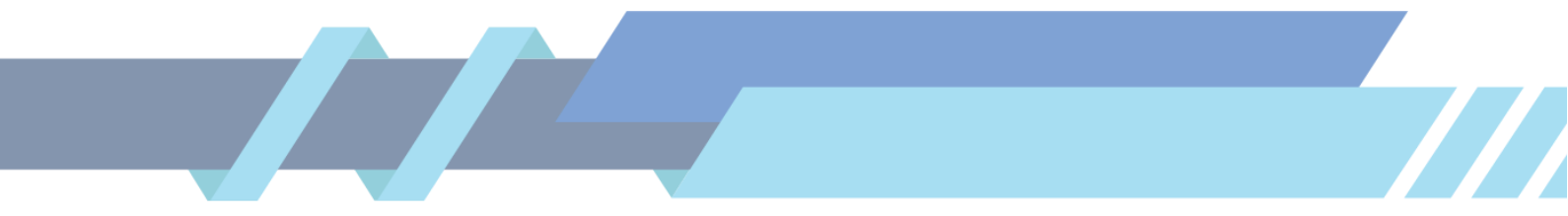
peçoal, os mecanismos de incentivo à aviação agrícola, as medidas de fiscalização da atividade e as sanções em caso de infração (Brasil, 1981).

É importante destacar que, mesmo com os avanços ocorridos entre 1969 e 1981, ainda cabia ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) a responsabilidade pelo treinamento de pessoal para os trabalhos de aviação agrícola. Essa responsabilidade perdurou até que a iniciativa privada estivesse em condições de desenvolver ou promover essa atividade de forma autônoma (Brasil, 1981). O órgão era responsável por instituir os cursos de Coordenadores de Aviação Agrícola (CCAA), para engenheiros agrônomos; de Executores de Aviação Agrícola (CEAA), para técnicos em agropecuária; de Aviação Agrícola (CAVAG), para pilotos; e de Mecânicos de Equipamentos Aeroagrícolas.

### **2.3 PORTARIA Nº 16 DE JANEIRO DE 1983.**

Com a popularização e o aumento da atividade, em 1983, por meio da Portaria nº 16 de 1983, o MAPA acrescentou alguns pontos para melhor viabilizar a aplicação da Lei de 1969. Definindo cinco categorias para pessoas jurídicas e físicas que explorem ou estejam envolvidas com aviação agrícola, como empresas de aviação agrícola, empresas rurais, cooperativas, agricultores proprietários de aeronaves e órgãos públicos (Brasil, 1983).

E para além disso, o registro ou renovação dessas atividades passou a ser concedido conforme o modelo específico, emitindo um certificado de acordo com a categoria da empresa e a fiscalização dessas atividades passou a ser coordenada pela Divisão de Fiscalização de Serviços Agropecuários (DISAG) e exercida pelas Delegacias Federais de Agricultura por meio de órgãos especializados. Estabeleceu também que o credenciamento para exercer a fiscalização da aviação agrícola é concedido somente a técnicos com formação específica em Coordenadores de Aviação Agrícola, conforme curso ministrado por entidade oficial (Brasil, 1983).



### **2.3 DECRETO Nº 99.427 DE 31 DE JULHO DE 1990.**

Em 1990, por meio do Decreto nº 99.427/1990, dispensou a exigência da renovação de registro ou licença de empresas que incluíssem a exploração da aviação agrícola entre seus objetivos ou a realizassem para atender atividade agropecuária própria (Brasil, 1990).

### **2.4 INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2 DE 3 DE JANEIRO DE 2008.**

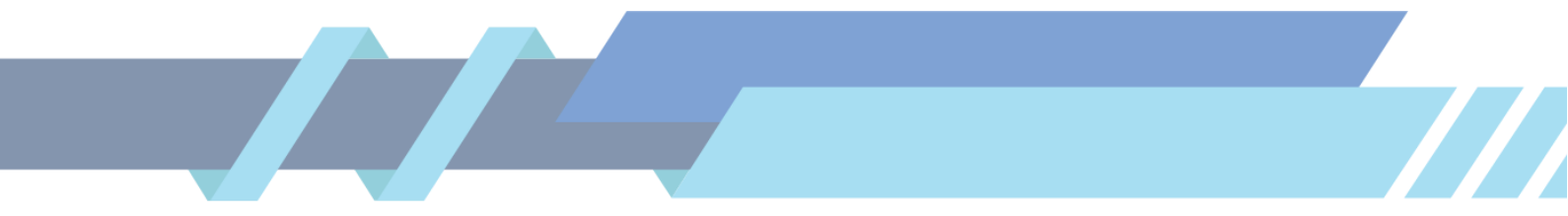
Em 2008, a Instrução Normativa nº 02, de 3 de janeiro, publicada pelo então Ministro da Agricultura, Reinhold Stephanes, representou um marco regulatório para a aviação agrícola no Brasil (Brasil, 2008).

Composta por 19 artigos e 6 anexos, a norma estabeleceu um conjunto abrangente de regras e procedimentos para a aplicação de defensivos agrícolas por via aérea, buscando garantir a segurança das pessoas, bens e do meio ambiente durante as operações (Brasil, 2008).

A Instrução Normativa nº 02 definiu requisitos para diversos aspectos da aviação agrícola, incluindo:

- Artigo 3º: Define os requisitos para os equipamentos de dispersão, aspersão e pulverização utilizados nas aeronaves.
- Artigo 4º: Estabelece as normas para as áreas de pouso e decolagem das aeronaves agrícolas.
- Artigo 5º: Define o destino dos restos de agrotóxicos remanescentes no avião e das sobras da lavagem e limpeza da aeronave ou dos equipamentos de apoio no solo.
- Artigo 6º: Determina as regras para a devolução das embalagens vazias de agrotóxicos.

- Artigo 7º: Estabelece os requisitos para o pátio de descontaminação das aeronaves agrícolas.
- Artigo 8º: Define as regras para a alteração da construção do pátio de descontaminação e do seu sistema de descontaminação das aeronaves.
- Artigo 9º: Estabelece as regras para a execução das atividades de aviação agrícola pelas empresas.
- Artigo 10: Define as regras de segurança operacional para a aplicação aeroagrícola.
- Artigo 11: Estabelece as regras para as demonstrações de equipamentos e produtos na atividade aeroagrícola.
- Artigo 12: Define as regras para as empresas de aviação agrícola operarem em outra unidade da federação.
- Artigo 13: Estabelece as exigências para as empresas de aviação agrícola.
- Artigo 14: Define as regras para a apresentação do relatório mensal das atividades pelas empresas de aviação agrícola.
- Artigo 15: Estabelece as regras para as entidades de ensino com delegação de competência para ministrar cursos de piloto agrícola, cursos de coordenadores em aviação agrícola e cursos de executores em aviação agrícola.
- Artigo 16: Define os requisitos para as entidades de ensino com delegação de competência para ministrar cursos de piloto agrícola.
- Artigo 17: Estabelece as regras para as empresas de aviação agrícola que darão suporte técnico aos cursos das entidades de ensino.



- Artigo 18: Define os requisitos para as entidades de ensino obterem a delegação de competência do MAPA para ministrar cursos de coordenadores e executores em aviação agrícola.
- Artigo 19: Estabelece as regras para a comunicação das irregularidades constatadas pela fiscalização.

Um grande avanço com a publicação da norma é que após quase 40 anos da primeira legislação, os entes privados passam a estar aptos para ministrar cursos de coordenadores e executores em aviação agrícola (Brasil, 2008).

#### **2.4 INSTRUÇÃO NORMATIVA CONJUNTA Nº 01 DE 28 DE DEZEMBRO DE 2012.**

Em 2012, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) iniciou a reavaliação de inseticidas neonicotinoides, motivados por efeitos adversos em abelhas observados em estudos científicos realizados no hemisfério norte do globo (Brasil, 2012).

Com isso, a IN foi publicada com o objetivo de minimizar os riscos associados à aplicação aérea de defensivos, especialmente para abelhas e outros polinizadores, por isso, a INC 01/2012 estabelece uma série de proibições e restrições para a aplicação aérea de pesticidas (Brasil, 2012).

A aplicação aérea passou a ser proibida para uma série de culturas durante sua fase de floração, sendo permitida apenas em culturas florestais e em áreas com baixo risco à polinizadores, mediante autorização específica do órgão ambiental competente. As Faixas de Segurança em torno de áreas de apiculturas, de conservação ambiental e cultivadas com flores atrativas para polinizadores passou a ser de 500m e em torno de áreas de preservação permanente, como florestas, matas ciliares e áreas úmidas passou a ser 1.000m (Brasil, 2012).



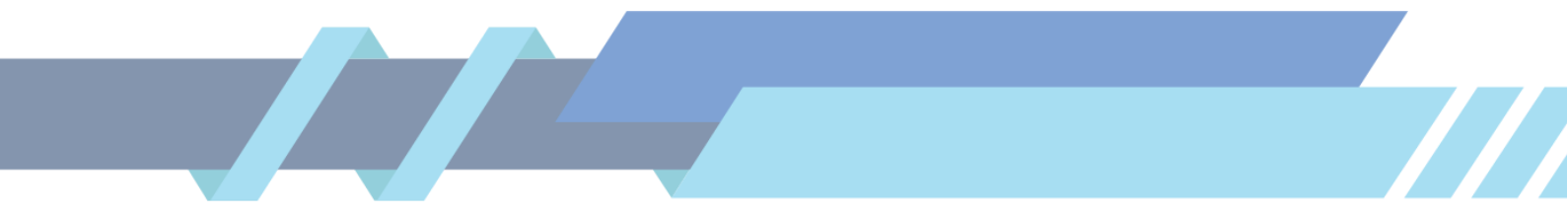
Outra novidade é que a partir da publicação, toda aplicação aérea deveria, obrigatoriamente, ser notificada ao órgão ambiental e deveria priorizar o uso de produtos com menor toxicidade para abelhas. Contudo, em 2017, a INC foi revogada pela Instrução Normativa Conjunta nº 01/2017, que atualizou as normas para a aplicação aérea de defensivos no Brasil (Brasil, 2012).

## **2.5 INSTRUÇÃO NORMATIVA CONJUNTA Nº 01 DE 31 DE DEZEMBRO DE 2014.**

A INC 01/2014 é fruto, também, da reavaliação de risco ambiental aberta pelo IBAMA em 2012, porém, essa instrução estabeleceu condições específicas para a aplicação dos inseticidas Imidacloprido, Clotianidina, Tiametoxam e Fipronil na cultura do algodão (Brasil, 2014).

Com a publicação, a aplicação dos inseticidas Fipronil, Imidacloprido, Tiametoxam e Clotianidina, isolados ou em misturas, ficaria proibida até o fim da reavaliação ambiental em andamento pelo IBAMA na cultura do algodão durante a floração (entre 55º e 100º dias após a emergência das plantas); entre 10h e 15h durante o restante da floração; a menos de 300 metros de áreas naturais ou cultivos em flor (Brasil, 2014).

A aplicação dos inseticidas Fipronil, Imidacloprido, Tiametoxam e Clotianidina, isolados ou em misturas, também ficaria proibida até o fim da reavaliação ambiental em andamento pelo IBAMA nas culturas de inverno em plantio direto, a menos de 300 metros de áreas de algodão em florescimento (Brasil, 2014).



## **2.6 INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA Nº15 DE 10 MAIO DE 2016.**

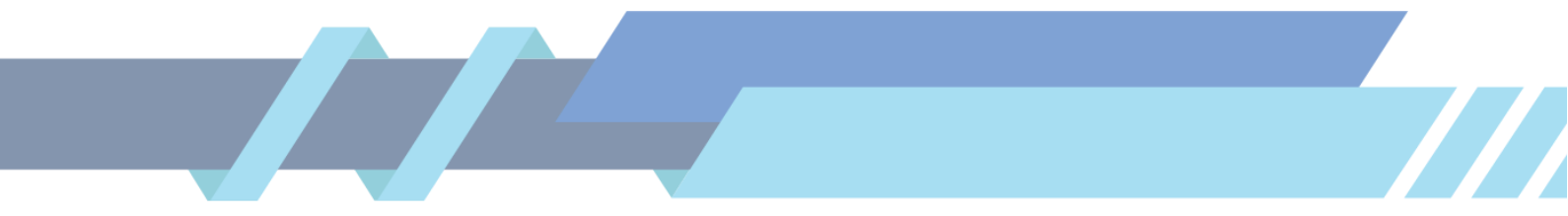
Então, em 2016, o MAPA estabelece a lista de modelos de equipamentos de dispersão, aspersão ou pulverização aprovados para uso em aeronaves agrícolas em todo o território nacional (Brasil, 2016).

## **2.7 INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13 DE ABRIL DE 2020.**

O MAPA publicou em 2013, a Instrução Normativa nº 13 de 8 de abril, estabelecendo algumas normas específicas para a aplicação aérea de fungicidas e óleo mineral na cultura da banana. A norma abrange diversos aspectos da atividade, desde a autorização para a aplicação até as distâncias mínimas de segurança que devem ser observadas (Brasil, 2020).

Com a publicação da norma, a aplicação passou a ser permitida apenas em áreas que possuam sistemas de previsão e monitoramento de pragas, seja ele: Sistemas de previsão e monitoramento de pragas; Manejo de risco de pragas ou Manejo integrado de pragas (Brasil, 2020).

Além disso, foram estabelecidas as seguintes distâncias mínimas para proteção ambiental: 500m de distância de pontos de captação de água para o abastecimento de populações; 30m de distância de pontos e moradias isoladas ou agrupamentos de animais; 15m de distância de mananciais de água, contanto que estejam protegidos por faixa marginal de cobertura vegetal nativa, reflorestada ou em regeneração; e 250m de distância em relação a povoações (cidades, vilas, bairros) (Brasil, 2020).



## **2.8 INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA Nº15 DE MAIO DE 2020.**

No ano de 2020, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a Instrução Normativa nº 15/2020 que modificou partes da IN 2/2008, especificamente no que diz respeito à autorização de empresas aeroagrícolas para operar em outras unidades da federação. Essa nova regulamentação introduziu uma obrigação adicional: a apresentação de uma série de documentações e certificações pelos prestadores de serviços (Brasil, 2020).

## **2.9 PORTARIA Nº 698 DE 22 DE DEZEMBRO DE 2021.**

Com o avanço tecnológico do setor agropecuário e, principalmente, da aplicação aérea de insumos, defensivos, entre outros. Surgiu então a necessidade de regulamentação para aeronaves remotamente pilotadas e destinadas a essa atividade, como os drones de aplicação, por exemplo. E foi essa a grande novidade trazida pela Portaria nº 298 de 2021, que estabeleceu uma série de regras, conceitos e requisitos para a operação de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes (Brasil, 2021).

A norma estabeleceu definições de termos relacionados à atividade, e os requisitos para o registro de ARPs no MAPA, incluindo a apresentação de documentação completa, como manual de voo, plano de operações e comprovante de qualificação do piloto remoto.

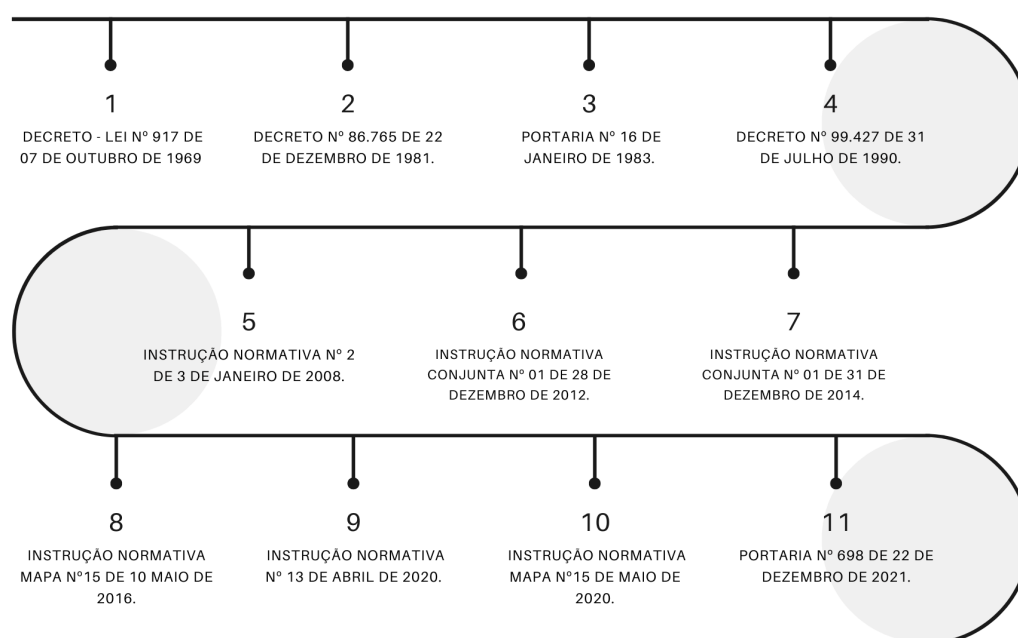
Além disso, estabeleceu os requisitos para os pilotos remotos de ARPs, incluindo a idade mínima, a necessidade de habilitação específica e a realização de cursos de treinamento periódicos (Brasil, 2021).

Definiu os requisitos para as aeronaves e equipamentos utilizados na operação de ARPs, incluindo condições de voo, manutenção, inspeções e calibração dos equipamentos de aplicação. Além das normas para aplicação por ARPs, incluindo, a prescrição técnica, a



utilização de produtos registrados, a aplicação em condições climáticas favoráveis, a obrigatoriedade de equipamentos de proteção individual (EPIs), o estabelecimento de faixa de segurança em torno de áreas sensíveis, como áreas povoadas, cursos d'água, áreas de preservação ambiental e áreas de cultivo de culturas não alvo da aplicação, a necessidade das operações de aplicação aérea serem notificadas ao órgão ambiental competente com antecedência e a responsabilidade do MAPA e dos órgãos ambientais de realizar o monitoramento ambiental para verificar o impacto da aplicação de agrotóxicos e afins por ARPs no meio ambiente (Brasil, 2021).

**Figura 10.** Linha cronológica de legislação .



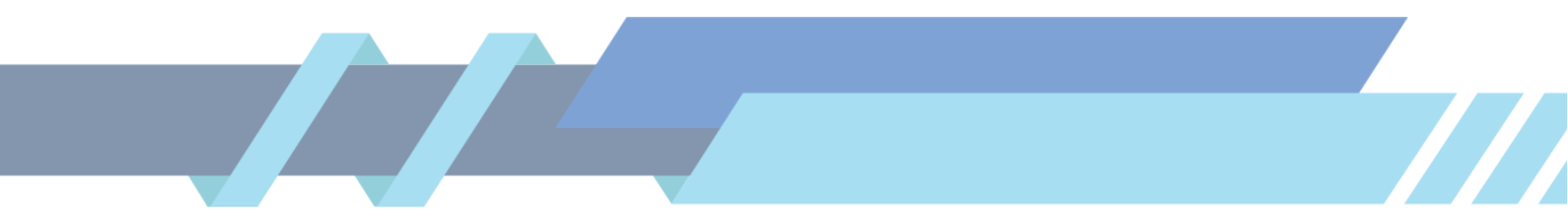
**Fonte:** Elaboração própria (2024).

## **2.10 RBAC 137 - OPERAÇÕES AEROAGRÍCOLAS**

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 137, publicado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), estabelece as normas e procedimentos específicos para a realização de operações aeroagrícolas no Brasil.

O RBAC 137 é o marco regulatório fundamental para a segurança, sustentabilidade e profissionalização da aviação agrícola no Brasil. É essencial que empresas, profissionais e pilotos agrícolas estejam familiarizados com o RBAC 137 e sigam rigorosamente suas normas e procedimentos para garantir operações seguras e ambientalmente responsáveis.

O Regulamento traz as definições dos termos técnicos, os requisitos para o licenciamento de empresas de aviação agrícola e pilotos agrícolas, os requisitos para as aeronaves utilizadas em operações aeroagrícolas, as normas para a realização de operações aeroagrícolas (Planejamento da operação, aplicação do produto, monitoramento da operação, comunicação entre o piloto, o observador e o controlador de tráfego aéreo), os requisitos para a utilização de produtos agrotóxicos em operações aeroagrícolas, as normas para a aplicação de produtos agrotóxicos em áreas sensíveis, as medidas para a proteção do meio ambiente durante as operações aeroagrícolas, as medidas para garantir a segurança das operações e os procedimentos a serem seguidos em caso de acidentes e incidentes em operações.



### **3. ÓRGÃOS REGULADORES**

A regulamentação e o controle rigoroso da pulverização aérea de defensivos são conduzidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), enquanto a definição de normas e exigências é atribuição da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

A ANAC, por sua vez, promove recomendações, treinamentos e manuais técnicos por meio do programa denominado Certificação Aeroagrícola Sustentável (CAS). Esse programa visa primordialmente aprimorar a qualidade das aplicações aéreas de defensivos, incentivando a capacitação e qualificação das empresas do setor com base nas boas práticas na aplicação desses produtos. Tal iniciativa visa reduzir os riscos de danos ambientais e promover a sustentabilidade da prática.

É fundamental destacar que o uso inadequado e a violação das normas e técnicas estabelecidas acarretam penalidades conforme a legislação vigente, acarretando significativos prejuízos tanto para os produtores quanto para os aplicadores. Uma aplicação inadequada não apenas falha em alcançar os resultados desejados, mas também implica em custos elevados com profissionais, equipamentos e insumos.

#### **3.1 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA)**

O Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) é o órgão da federação responsável pela gestão das políticas públicas de estímulo à agropecuária, pelo fomento do agronegócio e pela regulação e normatização de serviços vinculados ao setor. O MAPA carrega uma série de competências no que tange à aviação agrícola brasileira.

A fiscalização da aviação agrícola é de responsabilidade dos Auditores Fiscais Federais Agropecuários e auxiliares técnicos do Serviço de Fiscalização de Insumos e Sanidade Vegetal (SISV/DDA/SFA-UF) ou do Serviço de Fiscalização de Insumos Agrícolas,



Inspeção de Produtos de Origem Vegetal e Sanidade Vegetal (SIFISV/DDA/SFA-UF) de cada Superintendência Federal de Agricultura (SFA), presentes em todos os estados e no Distrito Federal (Brasil, 2021). A coordenação central das atividades de fiscalização é realizada pela Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins (CGAA), com o apoio da Divisão de Aviação Agrícola do MAPA (DIAA/CGAA) (Brasil, 2021).

A Autorização de Trabalho Temporário é necessária para pessoas físicas e jurídicas já registradas no MAPA que desejam operar temporariamente em outro estado (UF) diferente do registro inicial (Brasil, 2021). O processo de solicitação é realizado diretamente no sistema SIPEAGRO, disponível online, e exige que os operadores aeroagrícolas de aeronaves tripuladas estejam previamente cadastrados no sistema (Brasil, 2021).

O registro no MAPA é obrigatório para todos os operadores aeroagrícolas que utilizam aeronaves tripuladas ou remotamente pilotadas (drones), incluindo produtores rurais (pessoa física ou jurídica), empresas rurais, cooperativas, órgãos públicos e empresas prestadoras de serviços de aviação agrícola (Brasil, 2021). O registro também é obrigatório para as entidades de ensino que ministram cursos na área de aviação agrícola, e o processo de registro é realizado no SIPEAGRO e exige a apresentação de documentação específica para cada tipo de operador (Brasil, 2021).

As entidades de ensino de aviação agrícola, devidamente registradas no MAPA, podem ministrar cursos relacionados às atividades do setor, como: Curso de Pilotos Agrícolas (CAVAG); Curso de Coordenadores em Aviação Agrícola (CCAA); Curso de Executores em Aviação Agrícola (CEAA); Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR) (Brasil, 2021). Após o registro, as entidades de ensino devem seguir as diretrizes e orientações emanadas pelo MAPA para garantir a qualidade da formação e o cumprimento das normas regulatórias (Brasil, 2021).



### **3.3 AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC)**

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), criada em 2005 pela Lei nº 11.182, assume um papel fundamental na regulamentação, fiscalização e promoção da segurança da aviação civil no Brasil (Brasil, 2005). Vinculada ao Ministério de Portos e Aeroportos, a ANAC atua para garantir a qualidade dos serviços prestados no setor, estimular a concorrência e promover o desenvolvimento da aviação civil brasileira de forma segura e responsável (Brasil, 2005).

Compete à ANAC, a normatização da aviação civil brasileira e o estabelecimento das regras e diretrizes que norteiam as atividades do setor. Através da elaboração e revisão de regulamentos técnicos e normas econômicas, a Agência busca garantir a segurança das operações, a proteção do meio ambiente e a otimização dos serviços prestados (Brasil, 2005).

As normas técnicas e econômicas da ANAC são elaboradas com base em estudos técnicos rigorosos, consultas públicas e análises do potencial impacto no setor. Visam garantir a concorrência saudável no setor da aviação civil, mas que ao mesmo tempo, as atividades estejam em consonância com os mais altos padrões internacionais de segurança e qualidade da aviação (Brasil, 2005).



#### 4. ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA NOS ESTADOS UNIDOS

De acordo com a Associação Nacional de Aviação Agrícola dos Estados Unidos (NAAA), nos Estados Unidos, em 1921, o Departamento de Agricultura de Ohio coordenou a primeira tentativa de utilizar um avião para aplicar defensivos em campos. O Tenente John A. Macready, um piloto militar dos EUA, pilotou um avião do modelo *Curtiss JN-6*, um tipo de biplano conhecido também como “*Super Jenny*”, que foi modificado para permitir a aplicação de defensivos (NAAA, 2024). Já em 1922, biplanos Curtiss foram utilizados para pulverizar defensivos em cultivos de algodão em Tallulah, Louisiana, com o objetivo de combater os bicudos-do-algodão (“*bollweevils*”), praga que causava grandes danos às plantações de algodão.


Desde então, a pulverização vem sendo utilizada para os mais diversos propósitos, para além da sua função original de aplicar herbicidas, inseticidas e fertilizantes. Como na semeadura, na desfolha, no combate a incêndios florestais e em pastagens, na proteção de florestas contra pragas e doenças, na manutenção da vida dos peixes em sistemas de aquicultura, no derretimento de neve em estradas e pistas, e inclusive, no controle de arboviroses que ameaçam à saúde pública (NAAA, 2024).

O 14 CFR (*Code of Federal Regulations*) Parte 137, traz sobre as operações de aeronaves agrícolas nos Estados Unidos e a emissão de certificados de operador de aeronaves agrícolas comerciais e privadas aptos a realizar essas operações (CRF, 2024). Os operadores devem possuir o Certificado de Operador Agrícola (Agricultural Aircraft Operator Certificate) emitido pela *Federal Aviation Administration* (FAA). Para obter este certificado, o solicitante deve comprovar sua capacidade por meio de dois testes, um de conhecimento que avaliará critério como:

- conhecimento sobre o manuseio seguro de defensivos e o descarte adequado dos recipientes usados para esses, garantindo que não haja riscos de contaminação ambiental ou exposição humana desnecessária (14 CFR §137.19(e)(1)(ii));

- entendimento dos efeitos gerais dos defensivos e produtos químicos agrícolas em plantas, animais e pessoas, com ênfase nos produtos químicos normalmente utilizados nas áreas de operações pretendidas e as precauções necessárias ao usar esses produtos (14 CFR §137.19(e)(1)(iii));
- conhecimento sobre os sintomas de envenenamento por defensivos e as medidas de emergência apropriadas e a localização dos centros de controle de envenenamento é essencial para garantir respostas rápidas e eficazes em casos de exposições acidentais (14 CFR §137.19(e)(1)(iv));
- ciência das capacidades de desempenho e limitações operacionais da aeronave utilizada, garantindo operações seguras dentro dos parâmetros operacionais estabelecidos (14 CFR §137.19(e)(1)(v));
- conhecimento dos procedimentos de voo seguro e das técnicas de aplicação que assegurem uma distribuição eficiente e segura dos produtos (14 CFR §137.19(e)(1)(vi));

E outro teste de habilidades, em que o piloto deve demonstrar as seguintes habilidades: (CRF, 2024).

- capacidade de decolar em pistas curtas e suaves, crucial para operações em áreas rurais e improvisadas (aplicável apenas a aviões e giroplanos) (14 CFR §137.19(e)(2)(i)).
  - possuir técnicas eficazes de abordagem para a área de trabalho, garantindo precisão e segurança ao se aproximar da zona de aplicação (14 CFR §137.19(e)(2)(ii));
  - executar arredondamentos adequadamente, fundamental para a aplicação uniforme de produtos químicos sobre a área de cultivo (14 CFR §137.19(e)(2)(iii));
- 

- possuir a capacidade de corrigir a faixa de aplicação para evitar sobreposições ou lacunas na distribuição de produtos químicos (14 CFR §137.19(e)(2)(iv));
- ser capaz de fazer manobras de flexão na barra fixa e curvas com precisão assegurando a continuidade da aplicação (14 CFR §137.19(e)(2)(v));
- capacidade de realizar paradas rápidas (desaceleração rápida) habilidade necessária em situações de emergência ou ajuste de aplicação (14 CFR §137.19(e)(2)(vi))

De acordo com as regulamentações estabelecidas pela 14 CFR Parte 137, especificamente no que se refere às operações com aeronaves agrícolas, os operadores privados não estão autorizados a realizar operações sobre áreas congestionadas, como locais com alta densidade populacional, centros urbanos, áreas residenciais densas, eventos públicos, ou qualquer local onde a concentração de pessoas possa aumentar os riscos (14 CFR §137.35(b)). Ainda, operações sobre qualquer propriedade são restringidas a menos que o operador seja o proprietário ou arrendatário da propriedade, sendo indispensável possuir algum tipo de vínculo direto na área de aplicação (14 CFR §137.35(c)).

Já a seção 137.39 do *Code of Federal Regulations*, Título 14, regula o uso de defensivos registrados no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) sob a *Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act - FIFRA*, (FIFRA, 7 USC 135-135k). É proibida a pulverização aérea de qualquer produto químico para uso diferente daquele para o qual foi registrado no USDA (14 CFR §137.39 (a) (1)). Outro ponto levantado pela Lei é que a pulverização de qualquer defensivo, deve estar em conformidade com todas as leis e regulamentos dos países, incluindo os regulamentos federais, estaduais e locais que governam o uso de defensivos e outros produtos químicos agrícolas (14 CFR §137.39(a)(3)).

A Subparte D da 14 CFR Parte 137 também estabelece a obrigatoriedade de cada titular de um Certificado de Operador de Aeronave Agrícola Comercial em manter registros atualizados na base de operações. Esses relatórios devem indicar o nome e endereço de cada pessoa ou entidade para quem foram prestados serviços de aeronaves agrícolas (14 CFR

§137.71(a)(1)); A data em que cada aplicação foi realizada (14 CFR §137.71(a)(2)); A nomenclatura e a quantidade do material utilizado em cada operação (14 CFR §137.71(a)(3)); e por fim, o nome, endereço e número do certificado de cada piloto envolvido nas operações aeroagrícolas, além da respectiva data em que cada um desses pilotos atendeu aos requisitos de conhecimento e habilidade já elencados acima (14 CFR §137.71(a)(4)).

A EPA (Environmental Protection Agency) é a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, criada em 1970 pelo presidente Richard Nixon com a missão de proteger a saúde humana e o meio ambiente. A Agência é responsável por Programas de monitoramento, conformidade, incentivo à pesquisa, entre outros. dentre eles, o *Drift Reduction Technology (DRT) Program* (EPA, 2024)

Em 2014, a Agência iniciou o, programa voluntário, *Drift Reduction Technology (DRT) Program*, a tradução literal seria “Programa de Tecnologia para Redução de Deriva”, buscando incentivar a identificação e uso de tecnologias de aplicação de defensivos que comprovadamente reduzam a deriva na pulverização de defensivos (EPA, 2022). O objetivo principal do Programa é reduzir incidentes de deriva de pulverização aumentando a conscientização e a adoção de técnicas e tecnologias que reduzem essa deriva.



## 5. PROIBIÇÕES À ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA

De acordo com o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG), é difícil determinar exatamente quantos municípios e estados utilizam essa prática. No entanto, o sindicato destaca que cerca de 90% do arroz irrigado no país é tratado através dessa técnica, com o Brasil sendo o maior produtor de arroz fora da Ásia. A pulverização aérea também é amplamente utilizada em culturas como cana-de-açúcar, soja, banana, milho e em algumas áreas de café, entre outras culturas.

Em 2012, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) deu início à reavaliação de inseticidas neonicotinoides, motivados por resultados de estudos científicos internacionais que indicavam efeitos adversos em abelhas. A partir dessa iniciativa, a Instrução Normativa (IN) 01/2012 foi publicada com o objetivo de minimizar os riscos associados à aplicação aérea de defensivos agrícolas, especialmente para abelhas e outros polinizadores (MAPA, 2012).

A IN estabeleceu uma série de proibições e restrições para a aplicação aérea de defensivos. A aplicação aérea foi proibida durante a fase de floração em diversas culturas, sendo permitida apenas em florestas e áreas com baixo risco para polinizadores, mediante autorização específica do órgão ambiental competente (MAPA, 2012).

Então, em 2012, o legislativo entrou na discussão e o Deputado Padre João (PT-MG) apresentou o Projeto de Lei 3615/2012 que *“Acrescenta dispositivo à Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, para obrigar as empresas de aviação agrícola a enviarem cópias de prescrições de agrotóxicos e relatórios anuais aos órgãos competentes.”*, que buscava tornar obrigatório o envio de cópias das receitas e relatórios anuais pelos aplicadores aéreos de agrotóxicos aos órgãos competentes.


Então, em 2015, o Dep. João Daniel (PT/SE) apresentou na Câmara dos Deputados o Projeto de Lei 1014/2015 que *“Dispõe sobre a proibição da pulverização aérea de agrotóxicos em todo território brasileiro.”*. O PL em questão propõe a proibição da

pulverização aérea de agrotóxicos em todo o território nacional. A proposta argumenta que essa prática representa um risco à saúde humana e ao meio ambiente, contaminando alimentos, água e solo, além de causar intoxicações em pessoas e animais. O projeto foi apensado a diversas outras proposições que tramitam na Câmara dos Deputados com o mesmo objetivo (Câmara dos Deputados, 2015).

No mesmo sentido, o CD PL 4302/2019 que *“Dispõe sobre a proibição da pulverização aérea de agrotóxicos em todo território brasileiro.”*, apresentado pelo Deputado Felipe Carreras (PSB/PE) em 7 de agosto de 2019, propõe a proibição da pulverização aérea de agrotóxicos em todo o território nacional, e ainda estabelece uma multa de 30 mil (trinta mil) Reais, podendo ser reajustada por índice de inflação oficial anualmente, e dobrada em caso de reincidência. O autor também argumenta que a prática representa um risco à saúde humana e ao meio ambiente, contaminando alimentos, água e solo, além de causar intoxicações em pessoas e animais (Câmara dos Deputados, 2019).

Seguindo a mesma lógica, ainda no mesmo ano, a Deputada Luizianne Lins (PT-CE) apresentou o PL 5620/2019 que *“Altera a Lei N° 7.802, de 11 de julho de 1989, para proibir a pulverização aérea de agrotóxicos em todo território brasileiro.”* com a justificativa de proteger a saúde humana e o meio ambiente dos riscos associados à prática aeroagrícola (Câmara dos Deputados, 2019).

Somando-se à lista, de Projetos de Lei que legislam sobre a mesma temática e com a mesma justificativa, temos: o CD PL 5560/2020 apresentado pelo Deputado Bohn Gass (PT/RS) que *“Dispõe sobre territórios livres de agrotóxicos e dá outras providências.”* (Câmara dos Deputados, 2020); O CD PL 1131/2023 que *“Altera a Lei n° 7.802, de 11 de julho de 1989, para proibir a aplicação aérea de agrotóxicos e afins, e dá outras providências.”* apresentado pelo Deputado Tadeu Veneri (PT/PR) (Câmara dos Deputados, 2023); O CD PL 1456/2024 que *“Majora a pena do crime de poluição por uso indevido de substância tóxica, quando aplicada por pulverização aérea sobre área úmida”* apresentado



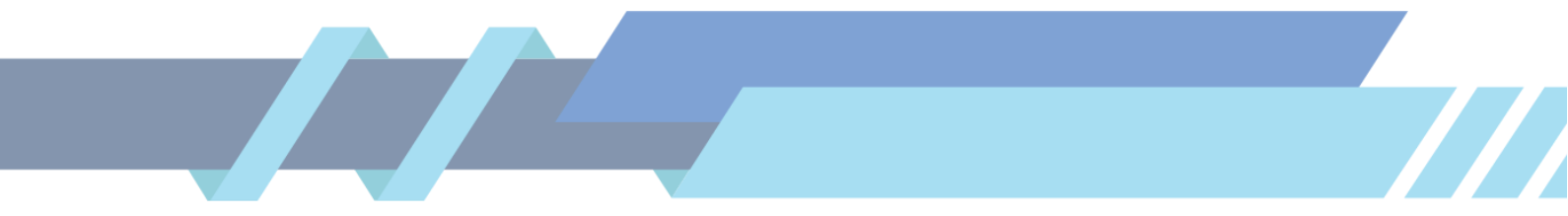
pelos Deputados Federais Camila Jara (PT/MS), Duarte Jr. (PSB/MA), Duda Salabert (PDT/MG) e outros (Câmara dos Deputados, 2024).

A Lei Estadual Nº 16.820/2019, conhecida como "Lei Zé Maria do Tomé", foi aprovada em dezembro de 2018 e sancionada pelo Governador do Ceará em janeiro de 2019, ela proíbe a pulverização aérea de agrotóxicos em todo o território do Estado do Ceará. Com a justificativa de proteger a saúde humana e o meio ambiente, preservar a biodiversidade e promover a agricultura sustentável (Dep. Renato Roseno, 2019).

A Lei Estadual Cearense gerou grande polêmica desde sua aprovação, em dezembro de 2018, e acabou sendo alvo de diversas ações judiciais por parte de entidades do agronegócio, que argumentam que a medida causa prejuízos ao setor e à economia do estado. As empresas argumentaram que a pulverização aérea é essencial para garantir a produtividade das lavouras e controlar pragas e doenças e sua proibição traria uma série de problemas.

Dentre os problemas, está a redução da produção agrícola, uma vez que pulverização aérea é considerada um método eficiente e de baixo custo para aplicação de agrotóxicos, o que contribui para a alta produtividade das lavouras no Ceará. Sem essa prática, os agricultores precisariam investir em métodos mais caros e menos eficientes, o que poderia levar à queda da produção. Além de outros problemas como a elevação dos custos de produção e poderia inviabilizar a atividade para muitos agricultores, a redução da produção agrícola, a queda na produção agrícola que poderia levar ao aumento dos preços dos alimentos e à insegurança alimentar no estado.

E ainda em 2019, a Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) 613, proposta pelo Ministério Público Federal, questiona a constitucionalidade da Lei Estadual Nº 16.820/2019 do Ceará. A ADI argumenta que a lei fere a competência federal sobre a regulação da aviação agrícola. Até o momento, o caso ainda está em andamento no Supremo Tribunal Federal (STF), que reconheceu a constitucionalidade da lei em junho de 2023, mas a decisão ainda pode ser alvo de recursos.

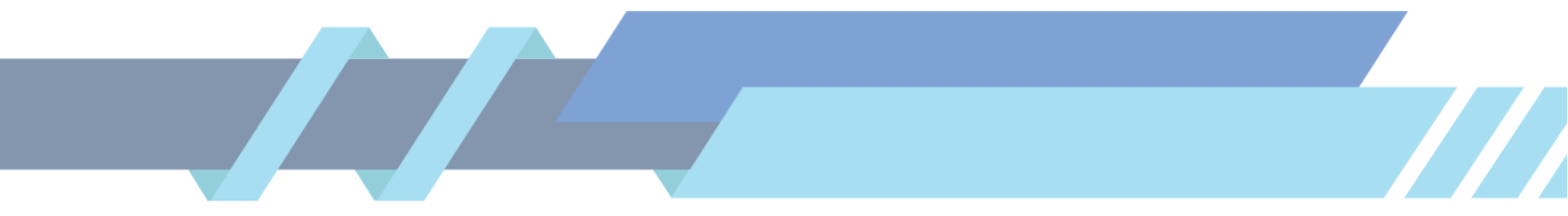


## 6. OBSTÁCULOS DA ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA

Embora o mercado brasileiro de aviação agrícola seja significativo, possuindo a segunda maior frota de aeronaves agrícolas do mundo (ficando atrás apenas dos Estados Unidos), o setor ainda enfrenta diversos desafios. Entre eles, destacam-se o elevado custo da pulverização aeroagrícola e uma alta taxa de acidentes e incidentes, que estão diretamente associados à necessidade de voos próximos ao solo. Esses voos envolvem conhecimento técnico específico, por sua complexidade, devido a obstáculos como árvores e linhas de transmissão elétrica, além de exigirem curvas de reversão frequentes e provocarem considerável fadiga nos pilotos (ANAC, 2015).

Os pilotos de aviação agrícola, durante a execução de suas manobras de pulverização, necessitam de uma combinação de habilidade acentuada e atenção constante ao longo de todo o voo. A cabine de comando das aeronaves agrícolas serve como um centro de operações onde o piloto atua sob pressão contínua. Além de manter o foco nos dispositivos e equipamentos da cabine, o piloto deve estar vigilante a uma série de outros fatores, como condições climáticas, obstáculos no percurso, cálculos de dosagem dos produtos, cronograma das tarefas, e manutenção da aeronave (Abrahão e Pinho, 2002).

Existem numerosas pressões enfrentadas pelos profissionais envolvidos na pulverização aeroagrícola. Estas incluem variáveis meteorológicas, exigências do empregador, demandas do proprietário da lavoura, prazos para o cumprimento das tarefas, obstáculos físicos na área de aplicação, condição precária das pistas, padrões de aeronavegabilidade do equipamento, necessidade de temporização precisa para a aplicação eficaz do produto e a condição física do piloto, entre outros fatores (ATSB 2004-2013).





# NEAAGRI

NÚCLEO DE ESTUDOS EM ATIVIDADES AEROAGRÍCOLAS