

Londrina, PR / Maio, 2025

## Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**  
**Embrapa Soja**  
**Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 2176-2937

# **Documentos 474**

Maio, 2025

## Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática

*Rafael Moreira Soares*  
*Eugênio Passos Schröder*

**Embrapa Soja**  
Londrina, PR  
2025

**Embrapa Soja**

Rod. Carlos João Strass, s/n  
Acesso Orlando Amaral, Distrito da Warta  
CEP 86065-981  
Caixa Postal 4006  
Londrina, PR  
Fone: (43) 3371 6000  
www.embrapa.br/soja

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Soja

Presidente

*Roberta Aparecida Carnevalli*

Secretária-executiva

*Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros

*Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali*

*Santos Seixas, Claudio Guilherme Portela*

*de Carvalho, Fernando Augusto Henning,*

*Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Liliane*

*Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de*

*Oliveira e Norman Neumaier*

Edição executiva

*Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol*

Revisão de texto

*Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Normalização

*Valéria de Fátima Cardoso*

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Marisa Yuri Horikawa*

Foto da capa

*Rafael Moreira Soares*

Publicação digital: PDF

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Soja

---

Soares, Rafael Moreira

Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática / Rafael Moreira Soares,  
Eugênio Passos Schröder – Londrina : Embrapa Soja, 2025.

83 p. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 474)

1. Drone. 2. VANT. 3. UAS. I. Schröder, Eugênio Passos. II. Título. III. Série.

CDD (21. ed.) 623.7469

---

Valéria de Fátima Cardoso (CRB 9/1188)

© Embrapa 2025

# Autores

---

## **Rafael Moreira Soares**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Proteção de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

## **Eugênio Passos Schröder**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitossanidade, diretor da Schroder Consultoria Agro, Florianópolis, SC.



# Apresentação

---

A agricultura do Brasil vem se destacando no cenário mundial pela produção eficiente e sustentável em diversas culturas agrícolas. Muito desse sucesso se deve às tecnologias desenvolvidas ou adaptadas às condições brasileiras, adotadas de forma rápida, porém consciente, pelas diversas cadeias produtivas existentes. O uso de drones agrícolas para pulverização é um exemplo de tecnologia rapidamente incorporada no país, apresentando benefícios que justificam seu crescimento, mas que ainda carece de muitas informações técnicas para ser corretamente utilizada nas diversas situações da diversificada agricultura brasileira, inclusive na cultura da soja.

Dessa forma, esta publicação apresenta um apanhado abrangente — embora não pretenda esgotar o assunto — sobre os aspectos que envolvem a pulverização com drones agrícolas. Aborda os aspectos regulatórios, o uso da tecnologia por prestadores de serviço e agricultores, analisa resultados de pesquisas nacionais e internacionais, e descreve exemplos práticos de sua aplicação em diversas culturas relevantes.

Desde 2019, a Embrapa Soja, sob a liderança do pesquisador Rafael Moreira Soares, vem conduzindo pesquisas sobre a pulverização de produtos fitossanitários com drones na cultura da soja. Nesse período, contou com diversos parceiros em seus projetos, entre eles a Schroder Consultoria Agro, representada por seu diretor Eugênio Passos Schröder. Ambos compartilham a autoria desta publicação, em um esforço conjunto para contribuir com a evolução dessa nova tecnologia, que já é uma realidade no campo.

*Roberta Aparecida Carnevalli*

Chefe-adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento  
Embrapa Soja



# Sumário

---

<b>Introdução - Aspectos gerais no uso de drones agrícolas</b>	9
<b>Legislação - leis, normativas e procedimentos legais relacionados a drones</b>	14
Anatel.....	15
Anac.....	17
Decea .....	18
Mapa.....	20
<b>Equipamentos, infraestrutura e análise econômica do uso de drones agrícolas</b>	25
Montando uma empresa de prestação de serviços.....	25
Utilização direta pelo agricultor.....	28
<b>Resultados de pesquisa na avaliação experimental da pulverização com drones</b>	31
O efeito “downwash” .....	33
Taxa de aplicação .....	38
Tamanho de gotas, altura e velocidade de voo e a faixa de deposição .....	45
<b>Uso de drones agrícolas por cultura</b>	51
Arroz .....	52
Banana .....	53
Cana-de-açúcar .....	54
Milho .....	55
Pastagens.....	56
Silvicultura .....	56
Soja.....	58
<b>Considerações finais</b>	61
<b>Agradecimento</b>	62
<b>Referências</b>	64
<b>Anexo 1</b> .....	73
<b>Anexo 2</b> .....	79
<b>Anexo 3</b> .....	81



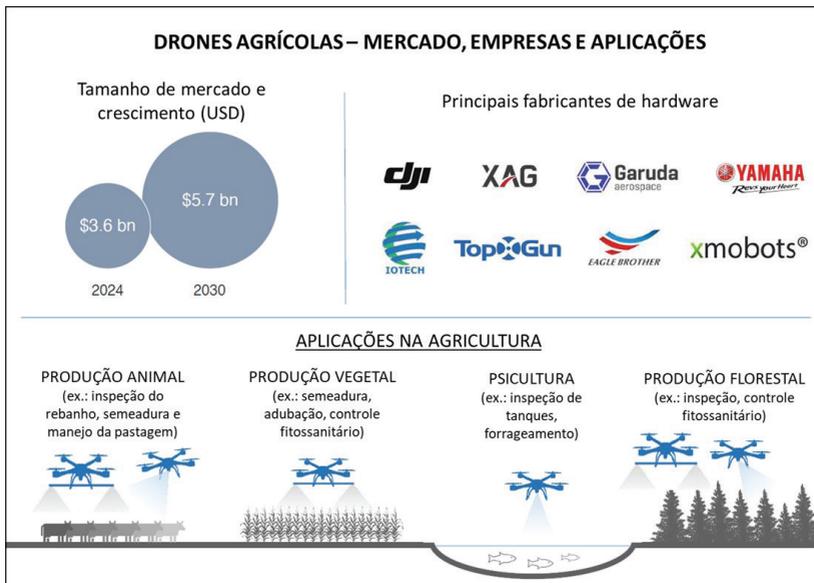
## Introdução - Aspectos gerais no uso de drones agrícolas

---

Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), vinculado ao Ministério da Defesa brasileiro, os Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS - abreviado do inglês *Unmanned Aircraft Systems*) são um novo componente da aviação mundial, para qual operadores, indústria e diversas organizações internacionais estão estudando e trabalhando a fim de compreender, definir e promover sua completa integração ao Espaço Aéreo. De acordo com a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), aeronaves não tripuladas abrangem diversos tipos de equipamento, como balões livres não tripulados, aeromodelos e aeronaves remotamente pilotadas de alta tecnologia.

Entre as aeronaves não tripuladas, estão os aparelhos popularmente conhecidos como **drones**, também chamados de veículos aéreos não tripulados (Vant) ou aeronaves remotamente pilotadas (ARP ou RPA, do inglês *remotely piloted aircraft*), que é o termo mais adotado nos regulamentos oficiais brasileiros. Em um desses regulamentos, estabelece-se a diferença básica entre ARPs e aeromodelos, sendo estes últimos utilizados unicamente para recreação, enquanto os primeiros são utilizados para fins não recreativos, tais como os usos comercial, corporativo e experimental. Nesta publicação, adotaremos o termo drone como padrão.

O uso de drones na agricultura está cada vez mais presente, tanto em quantidade como em diversidade de aplicações (Figura 1). Os modelos mais comuns são os multirrotores e os de asa fixa, com motorização elétrica por baterias. Eles são classificados de acordo com o seu peso e altura máxima de voo permitida, possuindo inúmeros tipos de hardware, software, câmeras e sensores, que permitem a execução de diversos processos, como por exemplo, mapeamento georreferenciado, monitoramento, produção de imagens e, no caso dos drones agrícolas, a aplicação de produtos líquidos e sólidos de forma automatizada.



**Figura 1.** Drones agrícolas: mercado, empresas e aplicações.

Fonte: adaptado de Drone Industry Insights (2024).

A presente publicação tem o objetivo de detalhar o uso dos drones agrícolas na pulverização. No entanto, o emprego de drones de imageamento, que geram, entre outras coisas, ortofotos, ortomosaicos, imagens multiespectrais, modelos digitais de superfície e de terreno, está intimamente ligado a uma aplicação precisa e eficiente dos drones na pulverização. Esses drones são geralmente de menor porte, multirrotores ou monorrotores de asa fixa, e tem seu uso consolidado há mais tempo em atividades profissionais do que os drones agrícolas. Contudo, os detalhes técnicos sobre drones de imageamento não serão abordados neste documento.

Os drones agrícolas possuem características próprias no seu processo de pulverização, diferenciando-se tanto dos pulverizadores terrestres quanto dos aviões agrícolas, representando uma tecnologia intermediária entre esses sistemas. Por isso, é essencial uma análise criteriosa antes de sua adoção, garantindo que a tecnologia agregue

benefícios à atividade agrícola. Algumas vantagens inerentes da pulverização com drone dispensam comprovação por pesquisas, embora a mensuração de algumas dessas vantagens possa trazer informações valiosas sobre o uso da tecnologia. Entre essas vantagens, destacam-se:

- Remoção do aplicador da área a ser pulverizada, diminuindo riscos à saúde deste.
- Independência das condições de tráfego do solo.
- Ausência de compactação do solo.
- Baixo consumo de água.
- Rastreabilidade (registro de dados e do mapa de aplicação).
- Não causa amassamento da cultura.

A questão do amassamento, causado pelas rodas dos pulverizadores terrestres, é uma vantagem frequentemente apontada pelos usuários da aplicação aérea com drones e aviões, uma vez que existem diversos estudos que comprovam perdas de 2 a 7% na cultura da soja (Costa, 2017) e de 4,8 % na cultura do arroz irrigado (Schroder et al., 2023).

Alguns dos principais fatores a serem considerados na utilização de drones agrícolas, em especial para iniciar um negócio de prestação de serviço com pulverização, mas também para o agricultor que pretende adquirir o equipamento, são:

- Legislação: conhecer as regulamentações nacionais, estaduais e municipais para operação de drones, incluindo obrigações específicas relacionadas a pulverização de agrotóxicos.
- Equipamentos: selecionar o tipo de drone, tecnologia embarcada, capacidade de carga e demais especificações técnicas importantes às necessidades da pulverização, de acordo com as pretensões de uso.
- Capacitação técnica: realizar treinamento específico para operação dos drones e aplicação correta de agrotóxicos.
- Investimento financeiro: realizar um planejamento financeiro detalhado, considerando os custos de aquisição dos equipamentos, softwares de gerenciamento, seguros, manutenção (regulares e emergenciais), mão-de-obra entre outros. Para o

agricultor, avaliar se o drone complementar<sup>á</sup> ou substituir<sup>á</sup> as tecnologias de pulverizaç<sup>ã</sup>o j<sup>á</sup> utilizadas.

- Identificaç<sup>ã</sup>o do mercado: analisar o mercado potencial, incluindo caracter<sup>í</sup>sticas predominantes das <sup>á</sup>reas a serem atendidas, a demanda por cultura, a concorr<sup>ê</sup>ncia e as tend<sup>ê</sup>ncias em geral da tecnologia.
- Parcerias estrat<sup>é</sup>gicas: estabelecer colaboraç<sup>õ</sup>es com empresas ou organizaç<sup>õ</sup>es relacionadas ao setor agr<sup>í</sup>cola, como produtores rurais, cooperativas, associaç<sup>õ</sup>es de agricultores, fabricantes de drones, entre outros.

Nos pr<sup>ó</sup>ximos itens, alguns desses fatores ser<sup>ã</sup>o explorados com detalhes, complementados com os resultados de pesquisa que buscam desenvolver a aplicaç<sup>ã</sup>o com drones agr<sup>í</sup>colas no Brasil e no mundo. Obviamente, n<sup>ã</sup>o se pretende esgotar o assunto, visto que, em 2025, essa tecnologia ainda est<sup>á</sup> em plena evoluç<sup>ã</sup>o, seja nos aspectos tecnol<sup>ó</sup>gicos, legislativos, agron<sup>ô</sup>micos ou mercadol<sup>ó</sup>gicos.



## Legislação – leis, normativas e procedimentos legais relacionados a drones

---

Para utilizar um drone no Brasil de forma legal, é necessário seguir as normativas de diversas agências reguladoras que, de acordo com sua área de atuação, fiscalizam e regulamentam as atividades envolvendo drones, visando garantir a máxima segurança no uso da tecnologia.

O responsável pela operação de pulverização pode ser penalizado na esfera civil, caso haja danos, e na esfera penal, se confirmado crime. As penalidades podem recair sobre o profissional, quando houver recomendação equivocada, displicente ou indevida. Além disso, estão previstas sanções ao usuário ou ao prestador de serviço que descumprirem a receita agrônômica ou com recomendações dos fabricantes, bem como ao empregador que não fornecer os equipamentos de proteção individual (EPIs).

A seguir, descreve-se os aspectos legais, normativas e procedimentos impostos pelas principais agências reguladoras, que se relacionam direta ou indiretamente com o uso de drones agrícolas. A Figura 2 mostra um resumo dessas agências e das principais normativas atualmente vigentes.

No site do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag), está disponível o Checklist Drone Legal (Sindag, 2025), que resume os requisitos essenciais para que os produtores rurais ou empresas prestadoras de serviços de pulverização aérea estejam regularizados e em conformidade com a legislação.



**Figura 2.** Esquema de agências reguladoras e suas leis normativas e procedimentos a serem seguidos, para a utilização de drones agrícolas.

## Anatel

Os drones são equipamentos que transmitem radiofrequência, e por isso precisam ser homologados pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), órgão do Governo Federal responsável por regulamentar toda a infraestrutura de telecomunicações no Brasil. A agência busca assegurar um padrão mínimo de qualidade e conformidade com as normas vigentes.

Operar um drone não homologado pode levar à apreensão da aeronave, inclusive com risco de perda definitiva do equipamento. A homologação visa garantir que os equipamentos operem em frequências que não causem interferências em outros serviços já estabelecidos, como o controle de tráfego aéreo e as redes de comunicação (telefonia, internet, TV). Além disso, o processo assegura características construtivas que promovem a segurança dos usuários, minimizando

riscos como: choques elétricos; exposição a campos eletromagnéticos acima dos limites recomendados; vazamento de materiais tóxicos; explosões, entre outros.

Os drones que tiveram um processo de importação oficial e foram comprados em lojas autorizadas, já tem o processo de homologação realizado pelas empresas junto à Anatel, dispensando a preocupação do usuário. No entanto, caso o aparelho seja comprado em lojas no exterior, a homologação será necessária. Obviamente, drones de fabricação nacional também precisam ser homologados.

Em fevereiro de 2024, a Anatel implementou um novo procedimento para a certificação de drones, adaptando-se ao crescimento exponencial da demanda. Dentre as principais mudanças destacam-se:

- A simplificação do processo de certificação para drones considerados de baixo risco técnico:
- Os dispositivos mais complexos deverão passar por uma avaliação mais detalhada.
- Critérios técnicos mais claros em relação a frequência e a potência de transmissão.
- Disponibilização de uma lista de drones previamente analisados, que podem ser homologados por Declaração de Conformidade, e uma lista de drones em não conformidade.

O processo de certificação está descrito no “Manual De Orientações - Homologação de Drones para Uso Próprio”, disponibilizado no site da Anatel na internet (Brasil, 2024a), e contém as orientações sobre todos os procedimentos necessários para homologação de drones para uso próprio via Sistema Eletrônico de Informação (SEI).

## Anac

A Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), vinculada ao Governo Federal, é responsável por regular e fiscalizar as atividades da aviação civil, bem como a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no país. Em 2017, a Anac regulamentou o uso de drones, também denominados de aeronaves remotamente pilotadas (ARP ou RPA), em todo o país. O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94/2017 (Brasil, 2017) apresenta as normas que visam tornar as operações com esses tipos de equipamentos mais viáveis e seguras.

Algumas diretrizes do regulamento seguem padrões definidos por outras autoridades internacionais de aviação civil, como a Federal Aviation Administration (FAA), dos Estados Unidos; Civil Aviation Safety Authority (CASA), da Austrália; e European Aviation Safety Agency (EASA), da União Europeia. Esse regulamento complementou as normas relacionadas às operações de drones, já estabelecidas pelo Decea e pela Anatel. Segundo o regulamento, os drones estão divididos em três categorias:

- Classe 1: drone com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- Classe 2: drone com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;
- Classe 3: drone com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Vale ressaltar que drones com peso máximo de decolagem de até 250 g (incluindo-se o peso do equipamento, de sua bateria e de eventual carga) não precisam ser cadastrados junto à ANAC.

Devido a evolução da tecnologia, com aumento na capacidade de carga e de tipos de utilização dos drones, em março de 2023, a Anac inseriu no RBAC-E nº 94 a resolução nº 710, estabelecendo que: “Os RPAs durante a aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes sobre áreas desabitadas são classificados para fins deste regulamento como Classe 3, independentemente do peso máximo de decolagem da RPA, desde

que operando VLOS ou EVLOS e até 400 pés AGL” (Brasil, 2023a). Essa mudança simplificou as exigências regulatórias para drones de Classe 2, impulsionando sobremaneira o uso de modelos com maior capacidade de carga e eficiência operacional, algo que o mercado aguardava por muito tempo.

A Anac disponibiliza o Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (Sisant), uma plataforma on-line (Brasil, 2022) para o cadastro obrigatório de aeromodelos e drones, com peso máximo de decolagem superior a 250 g. O sistema é de uso gratuito e possui caráter declaratório, ou seja, parte do princípio da boa-fé dos usuários no fornecimento das informações.

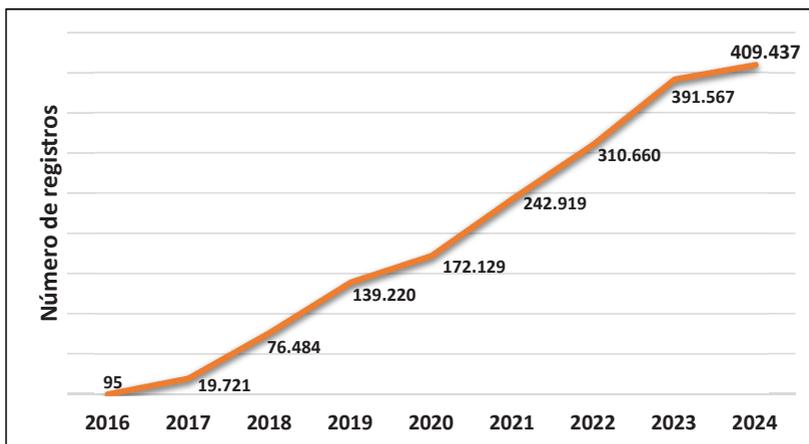
É importante destacar que o uso indevido do Sisant pode acarretar sanções administrativas pela Anac e até mesmo responsabilidade penal (conforme art. 299 do Código Penal). Além do cadastro, a plataforma também permite realizar a transferência de equipamentos diretamente no sistema, cadastrar drones para uso avançado (BVLOS; acima de 400 pés) e emitir Certificado de Aeronavegabilidade Especial de RPA (CAER).

## Decea

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) é responsável por planejar, gerenciar e controlar as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo brasileiro, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento e às telecomunicações do Comando da Aeronáutica. Desta forma, é preciso solicitar autorização desse órgão para voos em áreas restritas, por exemplo. Na internet, o Portal DRONE UAS, do Decea, reúne a legislação vigente e as informações necessárias para que pilotos e operadores de aeronaves não tripuladas possam realizar operações seguras e em conformidade com as normas brasileiras.

O Decea disponibiliza a plataforma Sistema para Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas (Sarpas) (Brasil, 2025), por meio da qual os usuários devem solicitar

as autorizações de voos. O sistema possui integração com o Sisant, da Anac, sendo necessário o cadastro nesse para a solicitação de voos no Sarpas. Em conformidade com a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40, sobre Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, as áreas solicitadas para operação de drones dentro da linha de visada (VLOS), abaixo de 400 pés e fora das Zonas de Restrição de Voo (FRZ), são aprovadas automaticamente em até 30 minutos. Para as demais solicitações, será necessária a análise manual de um controlador de tráfego aéreo, a fim de avaliar os riscos e possíveis interferências com a aviação tripulada. O sistema começou a operar em 2017 e, no ano de 2024, registrou cerca de 409 mil solicitações de voo (Figura 3).



**Figura 3.** Registros da solicitação de voos na plataforma Sistema para Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas (Sarpas).

Fonte: adaptado de Brasil (2025).

## Mapa

O Decreto-Lei 917, de 7 de outubro de 1969 (Brasil, 1969), regulamentado pelo Decreto 86.765, de 22 de dezembro de 1981 (Brasil, 1981), estabelece as diretrizes para o emprego da Aviação Agrícola no país. Em seu artigo primeiro, atribui ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) a competência para propor políticas relacionadas a atividade, incluindo sua coordenação, orientação, supervisão e fiscalização, ressalvadas as competências concorrentes de outros entes da federação. Esta legislação aplica-se tanto à aviação agrícola tripulada (aviões e helicópteros) quanto à remotamente tripulada (drones).

De forma complementar às regulamentações das agências anteriormente descritas, o Mapa publicou a Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021 (Brasil, 2021), que estabelece regras específicas para operação de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) destinadas à aplicação de: agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes.

Com isso, a partir de 1º de outubro de 2021, para a aplicação em lavouras com drones agrícolas, os operadores de empresas de aplicação ou o produtor rural usuário devem ter registro no Mapa, por meio da plataforma do Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários (Sipeagro). Além disso, para o trabalho em campo, é exigido que o aplicador seja maior de 18 anos e tenha Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR), ministrado por entidade ou empresa de ensino autorizada pelo MAPA, com uma grade curricular mínima de aulas estipulado pela entidade (Tabela 1). As instituições de ensino e pesquisa, de nível técnico e superior, públicas e privadas, que utilizarem drones para aplicações com fins educacionais e científicos ficam dispensadas do cumprimento das exigências da Portaria, devendo observar as normas e legislações específicas aplicáveis ao tipo de operação.

Uma importante determinação da Portaria 298 (Brasil, 2021) é a proibição da aplicação aérea de agrotóxicos e afins, adjuvantes,

fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes com drone em áreas situadas a uma distância mínima de vinte metros de povoações, cidades, vilas, bairros, moradias isoladas, agrupamentos de animais, de mananciais de captação de água para abastecimento de população, inclusive reservas legais e áreas de preservação permanente. No caso de aviação agrícola tripulada, esta distância varia entre 250 e 500 metros. Portanto, os drones agrícolas podem realizar aplicações aéreas em locais onde anteriormente só seria possível utilizar equipamentos terrestres.

Outras importantes determinações da Portaria são: obrigatoriedade do receituário agrônomo para aplicação de agrotóxicos; todo produto registrado para aplicação aérea pode ser usado com drone; e obrigatoriedade de monitorar e registrar as condições ambientais no início, durante e ao final das aplicações.

**Tabela 1.** Conteúdo da grade curricular mínima do Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR).

<b>Módulo</b>	<b>Carga Horária (h)</b>
<b>Módulo 1</b>	<b>4h</b>
Características básicas das ARPs	
O mercado de ARP no Brasil	
Usos de ARP na agricultura	
Legislação sobre ARP no Brasil	
Legislação sobre agrotóxicos no Brasil	
Conceitos de boas práticas agrícolas	
<b>Módulo 2</b>	<b>16h</b>
Pragas, doenças e plantas daninhas	
Agrotóxicos	
Toxicologia e uso de EPI	
Ecotoxicologia e contaminação ambiental	
Tecnologia de aplicação	
Teoria da Gota e Deriva	
Preparo de calda, carregamento, tríplice lavagem, descontaminação	
Fatores meteorológicos que influenciam nas aplicações	
<b>Módulo 3</b>	<b>4h</b>
Componentes de uma ARP de aplicação	
Planejamento operacional e segurança	
Calibração da ARP para aplicação	
<b>Prova</b>	<b>4h</b>
<b>Carga horária total (módulos 1, 2, 3 e prova)</b>	<b>28h</b>

Fonte: Brasil (2021).

Além da portaria do Mapa, é de suma importância seguir as determinações da Lei 14.785 (Nova Lei de Agrotóxicos), de 27 de dezembro de 2023 (Brasil, 2023b), que passou a regular de forma específica o tema dos agrotóxicos no Brasil, revogando integralmente a Lei 7.802, de 11 de julho de 1989 (Brasil, 1989). A nova lei dispõe sobre a pesquisa, experimentação, produção, embalagem, rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, importação, exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos e produtos de controle ambiental.

Outra lei que tem conexão com a atividade de aplicação de agrotóxicos é a Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605, de 12 fevereiro de 1998) (Brasil, 1998), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Também a Norma Regulamentadora 31 (NR 31), do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2024b), deve ser observada. Ela tem por objetivo estabelecer os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho rural, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento das atividades do setor com a prevenção de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho rural, e se aplica a quaisquer atividades da agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura.

Nas esferas estadual e municipal, também pode haver normativas próprias, a serem fiscalizadas pelos respectivos órgãos estaduais e municipais de defesa agropecuária, que acrescentem restrições ainda maiores que as exigências já feitas em âmbito nacional. Exemplos de normativas estaduais que definem limitações mais rigorosas que a Portaria 298 são os incrementos das distâncias mínimas a serem mantidas nas aplicações com drones para 50 metros no Estado do Paraná (Paraná, 2023) e 90 metros no Estado do Mato Grosso (Mato Grosso, 2023).

A man with short dark hair, seen from the back, is wearing a bright yellow-green high-visibility vest over a grey long-sleeved shirt. The vest has the text "PILOTO DE DRONE AGRÍCOLA" printed in bold black letters. He is looking towards a drone flying in the sky. The drone is a quadcopter with a white tank and is positioned in the upper right quadrant of the frame. In the foreground, to the right of the man, is a black tripod with a white pole extending upwards, topped with a small white sensor or antenna. The background consists of rolling green and yellow fields under a blue sky with light clouds. Two orange traffic cones are visible on the ground: one in the middle ground and one in the lower right foreground.

**PILOTO DE DRONE  
AGRÍCOLA**

# Equipamentos, infraestrutura e análise econômica do uso de drones agrícolas

---

A Portaria 298 do Mapa define como operador de drone:

- Pessoas físicas ou jurídicas.
- Agricultores individuais ou empresas rurais.
- Cooperativas e consórcios de produtores.
- Empresas prestadoras de serviços especializadas.
- Órgãos governamentais.

O operador pode ser o proprietário ou o arrendatário do drone, com que pretende efetuar operações aeroagrícolas com aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes.

Todos devem possuir registro no Mapa, via o Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários - Sipeagro.

As duas principais categorias de operadores de drones são: operadores privados, que são agricultores que possuem drones para uso exclusivo em suas fazendas; e empresas prestadoras de serviço, que atendem diversos agricultores.

## Montando uma empresa de prestação de serviços

O investimento necessário para uma empresa que deseja iniciar a prestação de serviços de pulverização agrícola com drones pode variar significativamente, dependendo de vários fatores, como: o tipo de drone a ser utilizado; a quantidade de drones (escala da empresa); a capacidade de carga da aeronave; a tecnologia embarcada; a estrutura de apoio; a equipe de trabalho; e o capital de giro para a operação da empresa.

Portanto, o primeiro passo é pensar como empresário, enxergando o drone como um “negócio”, algo que demanda investimento, estrutura e conhecimento da legislação específica. Existem características de mercado diferenciadas e isso precisa ser entendido.

Vale ressaltar que todos os valores em cifras citados a seguir foram baseados em informações tomadas até meados do ano de 2025 e podem se tornar desatualizados com o passar do tempo, tanto devido a índices econômicos (inflação, juros, cotação do dólar), como pela evolução do mercado no setor.

A experiência de algumas consultorias especializadas indica que o investimento necessário para montar um negócio de drones para pulverização pode ser repartido em três partes praticamente iguais: a primeira delas é o valor que será investido no drone; a segunda engloba investimentos em equipamentos e acessórios, veículo para atendimento e, eventualmente, um reboque para colocar atrás do veículo para transportar os equipamentos necessários; a terceira abrange a estrutura do escritório administrativo e o capital de giro. Resumidamente, em um cálculo aproximado, o investimento total equivale a cerca de três vezes o valor do drone que se pretende comprar (Schroder; Burkert, 2023).

Para ilustrar, um drone de pulverização agrícola pode custar entre R\$ 100 mil a R\$ 300 mil, variando conforme especificações e características do equipamento. Além disso, é preciso incluir gastos com a aquisição de gerador de energia para carregar as baterias, baterias sobressalentes, sistemas de pré-mistura e carregamento de calda, softwares de gerenciamento de operações, equipamentos de segurança, contratação e treinamento de pessoal, manutenção dos equipamentos, veículos de transporte, entre outros. Por isso, é importante que a empresa faça um planejamento detalhado de suas necessidades e uma análise financeira cuidadosa para determinar o investimento necessário para iniciar a prestação de serviços de pulverização agrícola com drones.

O custo para contratar uma aplicação de agrotóxicos com drones agrícolas varia significativamente, influenciado principalmente pelo relevo, vegetação da área, complexidade da operação, tecnologia e

os equipamentos utilizados, distância do local de operação e tipo de produto a ser aplicado. Em geral, os preços oscilam entre R\$ 100,00 a R\$ 400,00 por hectare. Essa amplitude reflete fatores como dificuldade de acesso ou exigências técnicas específicas. Alguns prestadores cobram por hora de voo; outros, por serviço completo, incluindo preparo da solução.

Embora o custo da aplicação com drones agrícolas possa ser superior a aplicação com equipamentos convencionais, há vantagens como: não amassamento da cultura, maior precisão, menor estrutura fixa, menor tempo de aplicação e menor risco de contaminação do operador. Com a evolução e popularização da tecnologia, os valores tendem a diminuir, mas é fundamental assegurar o cumprimento das normas legais e das recomendações das bulas dos produtos.

Um segmento ainda mais carente no setor é o de oficinas especializadas em reparo e manutenção de drones agrícolas. A escassez de profissionais qualificados contrasta com a demanda crescente. Em um setor jovem, onde a maioria dos equipamentos possuem menos de 3 anos, imagina-se que, à medida que os equipamentos vão envelhecendo, mais reparos e manutenções serão necessários e o alto custo de manutenção pode ser um dos desafios financeiros enfrentados pelos prestadores de serviço. Nesse sentido, já existem empresas prestando cursos para ensinar como devem ser feitos reparos e manutenções de drones agrícolas.

Outro desafio relevante é o fluxo de caixa irregular, pois a demanda se concentra na safra, dificultando a manutenção da equipe e gerando ociosidade dos equipamentos na entressafra. Uma alternativa é diversificar os serviços, atendendo diferentes culturas e incluindo aplicação de produtos sólidos, como fertilizantes e sementes.

## Utilização direta pelo agricultor

Como qualquer tecnologia nova introduzida no campo, os drones agrícolas também exigem um período de adaptação, divulgação e comprovação de eficácia antes de serem amplamente aceitos pelos agricultores. No entanto, a rápida evolução técnica e a expansão do seu uso aceleraram a demanda por informações que auxiliem na decisão de adotá-los como pulverizadores. Inicialmente, a contratação de prestadores de serviços parece ser a alternativa mais prudente, tanto tecnicamente como economicamente. Contudo, a medida que se conhece melhor a tecnologia e com a tendência esperada de diminuição do custo dos equipamentos, quando algo deixa de ser novidade e passa a ser produzido por mais empresas, com mais modelos e em maior escala, a aquisição e o uso direto pelo agricultor passam a ser mais viáveis.

Devido ao seu porte reduzido em comparação a equipamentos terrestres e aeronaves, drones são inicialmente associados a aplicação em pequenas áreas, em culturas de maior valor agregado, substituindo principalmente o uso do pulverizador costal, que é um equipamento com baixa eficiência, com baixa precisão e com alto risco de contaminação do aplicador. Mas quando se analisa as possibilidades de uso, mesmo a cultura da soja, lavoura mais plantada no Brasil, pode ser atendida pelos drones. Uma pesquisa mostra que em 2017 existiam no país cerca de 236 mil propriedades produtoras de soja, sendo que 172 mil eram propriedades com área colhida de soja abaixo de 50 ha e, na sua maioria, com produção altamente tecnicizada (Moraes et al., 2024). Todas essas propriedades seriam potenciais candidatas a utilizar o drone agrícola. Além disso, já se tem relatos de propriedades acima de 1000 ha que passaram a utilizar o drone como principal ferramenta de pulverização.

A partir de 2022, com o lançamento de modelos com tanques de 40 litros ou mais, tornou-se possível pulverizar mais de 100 hectares por dia com um único drone, ampliando sua atratividade para agricultores que demandam maior autonomia.

Embora dependa do tipo e do porte da propriedade agrícola, o investimento na estrutura de apoio para o uso do drone por parte do agricultor tende a ser menor que a do prestador de serviço. Ele provavelmente já terá um veículo para transportar o drone, um funcionário ou familiar para auxiliar, um misturador de calda do pulverizador terrestre para adaptar no uso com o drone, entre outras facilidades de se estar trabalhando dentro da própria propriedade.

Uma informação que pode ser útil ao agricultor é a comparação entre o drone e outros equipamentos, na eficiência de controle das pragas alvo da pulverização. A seguir, são descritos alguns trabalhos que fazem essa comparação. De forma geral, embora algumas pesquisas mostrem uma maior variabilidade de deposição de calda e um maior risco de deriva do drone em comparação ao pulverizador terrestre, quando são seguidas as boas práticas recomendadas nas aplicações e escolhidos os parâmetros técnicos adequados, o drone tem no mínimo se equiparado ao controle de pragas e as produtividades obtidas quando se utilizam pulverizadores tratorizados e costais.

Portanto, prudência, busca de informações e testes são importantes para o agricultor tomar a decisão sobre adquirir ou não um drone agrícola. O que não é aconselhável é ficar indiferente a uma tecnologia que tem se mostrado disruptiva no setor e que, se está crescendo em adoção, sinaliza que vem trazendo benefícios a seus usuários.



## Resultados de pesquisa na avaliação experimental da pulverização com drones

---

Ainda mais recente do que o uso de drones agrícolas na pulverização, é a obtenção e divulgação de resultados de pesquisas científicas com o uso dessa tecnologia. A partir do início do uso de drones multirrotores pulverizadores no Brasil, a tecnologia se espalhou rapidamente nos últimos anos, principalmente através de empresas prestadoras de serviço de pulverização. Com isso, boa parte do conhecimento inicialmente adquirido sobre a eficiência da tecnologia teve origem de observações do uso na prática. Isso ressalta o importante papel dos pioneiros na utilização de drones agrícolas, que acreditaram e arriscaram em investir numa tecnologia até recentemente desconhecida, que não dispunha de parâmetros técnicos obtidos nas diferentes e peculiares situações agrícolas brasileiras. As observações de resultados sem a adoção de metodologia científica têm sua importância no uso e no avanço da tecnologia, inclusive podendo servir de norteadoras para a realização de pesquisas científicas. Mas é a partir de trabalhos com metodologia científica adequada que se ganha confiança na tecnologia, pois com eles detectamos de forma mais isenta e precisa os problemas, as virtudes, as necessidades de aperfeiçoamento. Além disso, o registro escrito das informações e sua publicação, característica inerente de quem faz pesquisa, permite o maior acesso e compartilhamento da informação.

Um levantamento bibliométrico na base *Scopus* identificou 153 artigos sobre “uso de aeronaves remotamente pilotadas na pulverização agrícola”, durante o período de 2013 a 2023. Os cinco principais países que publicaram artigos científicos nos últimos anos foram China, Estados Unidos, Brasil, Índia e Alemanha. A análise também revelou que a pesquisa e a produção de artigos se tornaram mais visíveis e difundidas a partir de 2019. A China contribuiu com 77% dos artigos encontrados (121) e os Estados Unidos com 10% (16). No

Brasil, foram encontrados nove artigos, mostrando que ainda temos muito que avançar e explorar nessa temática (Ribeiro et al., 2024). Cabe salientar que a maior parte dos trabalhos científicos com drones realizados no Brasil tem sido publicada em anais de eventos científicos, não estando, portanto, na base de dados *Scopus*.

A seguir são descritos e analisados resultados de pesquisas disponíveis na literatura, onde diversas temáticas e metodologias foram testadas, objetivando aumentar os conhecimentos sobre a pulverização com drones. Entre os diversos fatores que podem ser pesquisados, destacam-se a taxa de aplicação de calda, a velocidade e a altura de trabalho, a faixa de pulverização, a deposição e uniformidade de gotas, a deriva, a mistura de produtos e o controle do alvo biológico. Muitos estudos precisam ser feitos e esse é um trabalho incessante, pois os equipamentos estão em plena evolução e a diversidade de culturas, de produtos e de alvos envolvidos aumenta cada vez mais.

Um exemplo de mudança na tecnologia é a tendência da adoção de bicos rotativos nos principais modelos de drones utilizados no mercado, em substituição as tradicionais pontas hidráulicas. O bico rotativo, ou atomizador, consiste numa ponta com disco giratório de alta velocidade que divide o líquido em gotas e oferece a opção de controlar o tamanho de gotas geradas, o que pode aumentar a uniformidade do espectro das gotas em comparação a pontas hidráulicas, pois elimina as gotas muito finas que causam deriva (Oliveira et al., 2010). A uniformidade de gotas gerada pelo bico rotativo é dependente da taxa de aplicação utilizada e a maioria dos bicos rotativos consegue operar desde gotas finas até gotas ultra grossas (Silva et al., 2022).

No entanto, diversos estudos têm mostrado a complexidade associada com os fatores que afetam a distribuição da pulverização com drones multirrotores, dificultando a obtenção de uniformidade dessa distribuição no campo. Como a massa do drone (e, portanto, o empuxo necessário pela rotação das hélices) reduzirá durante uma operação de pulverização, à medida que a calda é dispensada, a largura da faixa de pulverização e a distribuição do fluxo mudarão. Manter uma taxa de aplicação desejada não é, portanto, mais tão simples quanto apenas manter uma velocidade uniforme (Coombes et al., 2022).

## O efeito “downwash”

O efeito “downwash” é a ação do vento das hélices do drone sobre a calda liberada pelos bicos, constituindo-se num dos fatores mais importantes que afetam a pulverização com drone. O fluxo de ar do “downwash” também interage com a cobertura da cultura e forma um vórtice cônico que movimenta a superfície do cultivo (Figura 4). O tamanho e a intensidade do vórtice afetam diretamente o resultado da operação de pulverização, sendo que quanto mais forte o vórtice maior a deposição e a cobertura por área, e melhor a uniformidade de deposição (Guo et al., 2019).

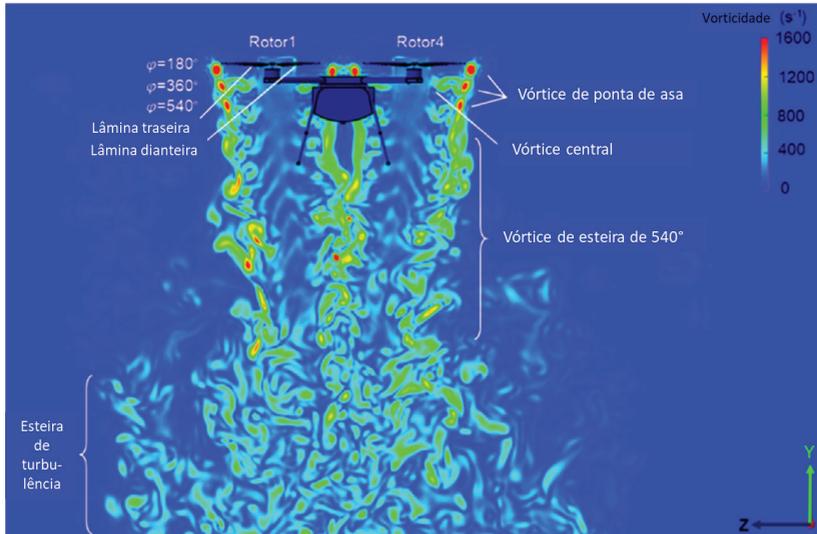
Uma análise do efeito “downwash” mostra um claro sistema de vórtice de ponta de asa e um vórtice central, que emanam das lâminas rotativas (Figura 5). Na sequência, ocorre o efeito do vórtice de esteira com ângulo de 540 graus e os vórtices de ponta de asa gradualmente se tornam instáveis, desintegrando-se e deixando sua forma inicial. A esteira continua na direção axial e espirala para baixo do plano do rotor e os vórtices de ponta de asa desintegrados espalham-se radialmente ao longo do limite de contração (Wen et al., 2019).

Lan et al. (2021), buscaram entender o mecanismo do “downwash” em voos entre 1,5 e 2,5 m de altura, concluindo que com o aumento da altura a deposição de gotas tende a diminuir, mas ao mesmo tempo ocorre deposição mais uniforme. No entanto, a altura máxima de 2,5 m testada nesse ensaio, está abaixo das alturas mais utilizadas atualmente no Brasil, geralmente acima de 3,0 m. O parâmetro altura será melhor analisado adiante.

Foto: Rafael Moreira Soares.



**Figura 4.** Drone agrícola mostrando efeito “downwash”, com formação de vórtice cônico e movimentação da superfície da cultura.



**Figura 5.** Representação computacional do efeito “downwash”.

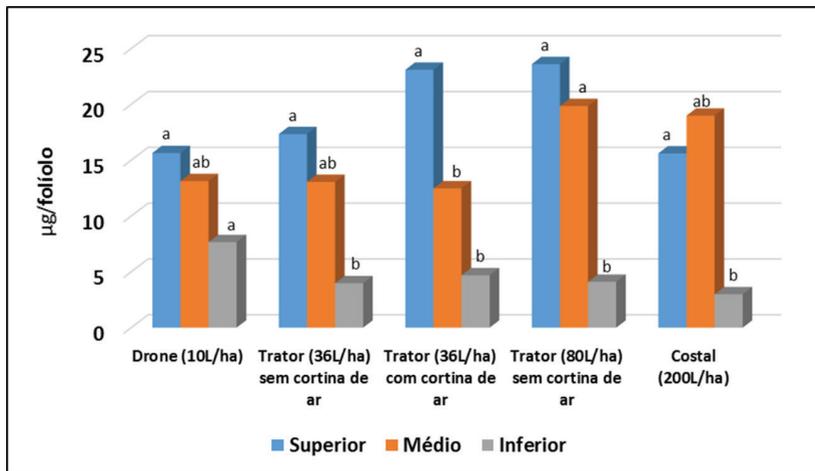
Fonte: adaptado de Wen et al. (2019).

O fluxo de ar descendente gerado pelos rotores do drone ajuda a aumentar a penetrabilidade das gotículas no dossel para melhorar a distribuição de pesticidas, favorecendo maior deposição na camada superior e na camada inferior do que na pulverização tradicional, bem como as taxas de cobertura de gotículas no dossel e a uniformidade de distribuição (Chen et al., 2021). Um experimento na cultura da soja, mostrou que o depósito de ingrediente ativo de inseticida com a pulverização de 10 L/ha com drone (ponta XR 11001, velocidade de voo de 14,4 km/h e altura de voo de 2 m) foi equivalente às aplicações com pulverizadores tratorizado e costal, nos estratos superior e médio das plantas, mas no estrato inferior o depósito com drone foi superior aos demais tratamentos, sendo cerca de 1,9 x maior que do pulverizador tratorizado com taxa de aplicação de 80 L/ha (ponta JFC 80015 e velocidade de 9 km/h) (Figura 6) (Oliveira et al., 2021). De forma semelhante, Soares et al. (2023a) estudaram a cobertura e o depósito de fungicida pulverizado com drone em três diferentes

alturas do dossel da soja, em comparação aos pulverizadores tratorizado de arrasto e costal pressurizado por CO<sub>2</sub>. A cobertura de gotas e a deposição de corante foram menores na pulverização com drone, em relação aos demais pulverizadores, no entanto, a deposição de ingrediente ativo do fungicida foi igual entre as tecnologias no dossel superior e médio, e superior para o drone no baixeiro (Figura 7). Os autores ainda ressaltam que, independentemente do equipamento utilizado, as aplicações realizadas apresentaram grande variabilidade na distribuição da calda.

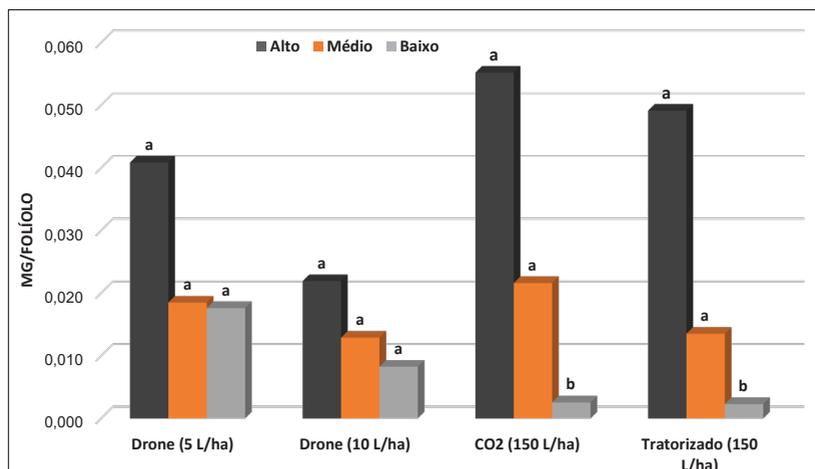
Tang et al. (2017) mediram o movimento e a deposição de gotículas influenciadas pelo “downwash”, em diferentes velocidades de rotação de um multirrotor de oito hélices com pontas hidráulicas cônicas, usando um velocímetro de imagem de partículas de alta velocidade (PIV). Concluíram que a velocidade do fluxo de ar não só pode alterar a zona de deposição das gotículas, mas também influenciar sua distribuição, sendo que o aumento da velocidade pode melhorar a uniformidade de deposição das gotículas.

Outro trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de herbicidas pós-emergentes aplicados com drone com bico rotativo, em comparação com a aplicação terrestre (pulverizadores costais com bico rotativo e com bico hidráulico), no controle de plantas daninhas em área de produção de eucalipto. Todas as pulverizações utilizaram o volume de 15 L/ha. O pulverizador costal com bicos hidráulicos promoveu maior cobertura e deposição em comparação aos outros equipamentos. A aplicação com drone teve maior cobertura e deposição que o pulverizador costal com bicos rotativos, devido à ação do efeito “downwash”. A pulverização com drones demonstrou eficiência similar à aplicação com pulverizador com bicos hidráulicos no controle de plantas daninhas (Angonese et al., 2022).



**Figura 6.** Depósito de calda em folhas de três alturas da planta de soja pulverizada com diferentes tecnologias de aplicação. Comparação de médias entre colunas da mesma cor pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Fonte: adaptado de Oliveira et al. (2021).



**Figura 7.** Deposição de ingrediente ativo do fungicida em três diferentes alturas do dossel de plantas de soja, pulverizadas com diferentes tecnologias de aplicação. Comparação de médias entre colunas da mesma cor pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Soares et al. (2023a).

## Taxa de aplicação

A taxa de aplicação, ou volume de calda, utilizada na pulverização de produtos fitossanitários é um parâmetro muito importante, que pode variar em função de diversos fatores. O volume de calda utilizado com os drones tem sido, majoritariamente, o baixo volume (5 a 30 L/ha); mas também têm sido utilizados o ultrabaixo volume (<5 L/ha) e o médio volume (30 a 50 L/ha). No entanto, além dos fatores técnicos que devem orientar a escolha do volume (como tipos de produto, a cultura, o alvo e o clima), o fator econômico (já que tempo é dinheiro) tem influenciado nessa escolha, pois a baixa capacidade de carga dos drones tem levado a priorização de uso dos menores volumes possíveis para aumentar a autonomia das aeronaves, algumas vezes em detrimento das recomendações técnicas.

Em consonância com isso, Silva (2022) cita que uma das características da aplicação com drone é o uso de taxas reduzidas de aplicação, possibilitando o aumento da autonomia e capacidade operacional do equipamento, mas que também requer maiores cuidados com as aplicações, principalmente em relação a cobertura das plantas para atingir o alvo.

Um trabalho de caracterização da pulverização com drone testando as taxas de 10, 15, 20, 25 e 30 L/ha, mostrou que o coeficiente de variação da distribuição de gotas tende a diminuir com o aumento da taxa de aplicação, o que é desejável. As avaliações também mostraram que a pulverização de inseticidas e herbicidas tiveram parâmetros adequados de eficiência a partir de 20 L/ha, enquanto para fungicidas foram melhores com 25 L/ha (Önler et al., 2023).

Zhang et al. (2020) pesquisaram o efeito da variação da taxa de aplicação de calda na deposição de gotas na cultura da cana-de-açúcar, concluindo que os parâmetros ótimos de aplicação foram 15 L/ha de taxa de aplicação, 3 m de altura de voo e 4 m/s (14,4 km/h) de velocidade de trabalho, podendo-se usar esses valores como referência para a cultura.

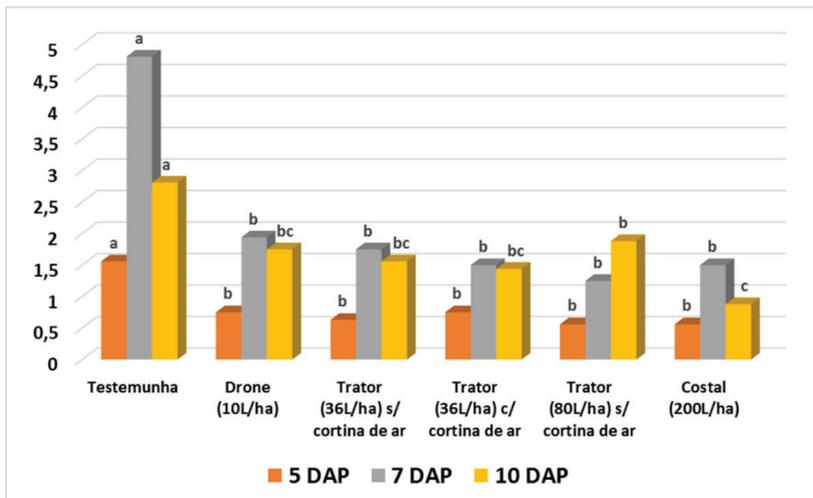
Assim como na cana-de-açúcar, o uso de drones na cultura do milho pode trazer vantagens e facilidades extras devido ao crescimento

vigoroso característico da cultura, que dificulta os controles fitossanitários, especialmente a partir dos estádios intermediários e finais. Com o objetivo de avaliar o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em milho, Shan et al. (2022) pulverizaram inseticida em quatro taxas de aplicação (7,5, 15, 22,5 e 30 L/ha). Foi utilizado um drone com pontas hidráulicas Teejet® XR11001 e XR 110015, voando a 2,0 m de altura e faixa de deposição de 5 m. Os resultados apontaram que a cobertura e densidade de gotas aumentaram linearmente em função do aumento da taxa de aplicação, mas todos os tratamentos apresentaram coeficiente de variação (CV) acima de 60%, indicando baixa uniformidade e a necessidade de ajustes nos parâmetros de aplicação. Mesmo assim, a eficácia de controle dos melhores tratamentos foi considerada satisfatória, já que aos 14 dias após a aplicação variou de 59,4% a 85,4%, sendo o menor controle com a taxa de 7,5 L/ha e os maiores com as taxas de 22,5 L/ha e 30 L/ha, que não se diferenciaram em si.

Em pulverizações visando o controle do pulgão do trigo e do míldio, o uso de drone com taxas de 17 L/ha e 28 L/ha, teve deposição e eficiência de controle comparáveis a obtida com pulverizador costal (225 L/ha), mas o drone com taxa de 9 L/ha teve deposição e eficiência de controle inferior ao costal (Wang et al., 2019). Já Bassetto Filho et al. (2021), avaliaram o controle químico de percevejos na cultura da soja, comparando a aplicação de inseticidas com taxa de 10 L/ha com drone, 200 L/ha com pulverizador costal e 36 e 80 L/ha com pulverizador tratorizado, concluindo que a pulverização com drone apresentou desempenho equivalente a pulverização com os pulverizadores tratorizado e costal (Figura 8).

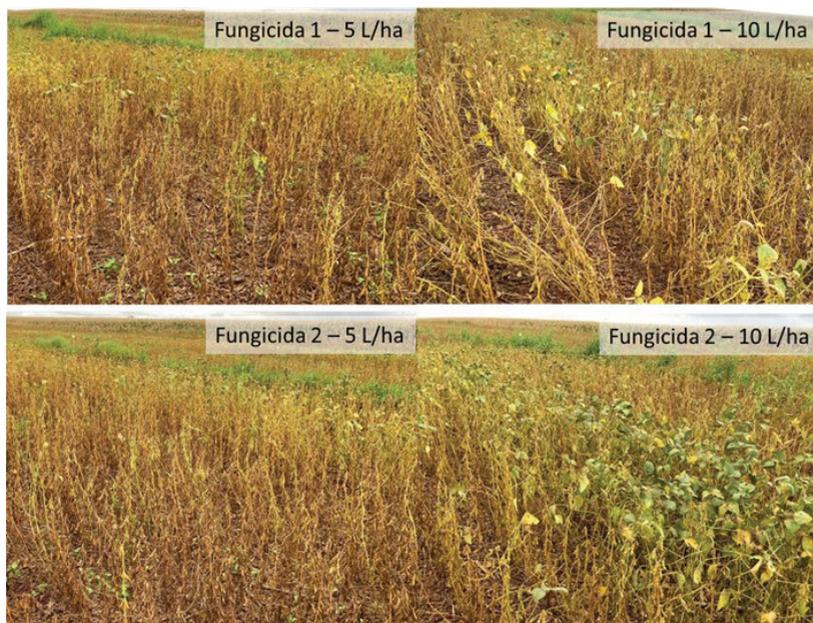
Em experimento com aplicação de dois fungicidas em soja, relatase que a taxa de aplicação de 5 L/ha resultou em maior desfolha (Figura 9) e menores índices de vegetação NDRE (Normalized Difference Red Edge) da soja do que a taxa de 10 L/ha, sendo que fatores como condições de temperatura e de umidade próximas do limite crítico no momento das pulverizações e a alta severidade da ferrugem-asiática, podem ter influenciado na ocorrência dessa diferença. No entanto, não houve diferença significativa entre as produtividades

desses tratamentos e todos mostraram produtividades superiores a testemunha sem aplicação. Os autores ainda comentam que, de forma geral, visualizou-se desuniformidade na desfolha provocada pela ferrugem-asiática nas parcelas, o que indica distribuição desuniforme da calda (Soares et al., 2023b). A propósito do uso de índices de vegetação como o NDRE (Normalized Difference Red Edge) e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), estes podem ser úteis para a avaliação da eficiência de controle de tratamentos fitossanitários, principalmente para pragas que causam desfolha ou menor crescimento das plantas. A Figura 10 mostra uma imagem, obtida através de drone com câmera multiespectral embarcada, de uma área com semeadura de soja, dividida em uma parcela com duas aplicações de fungicida feitas com drone (taxa de aplicação de 10 L/ha, altura de voo de 3 m e velocidade de 16,2 km/h) e outra parcela sem aplicação. Observa-se que a aplicação dos índices NDVI e NDRE permite ver com detalhes a ação da desfolha causada pela ferrugem-asiática, mostrando e quantificando o efeito da aplicação do fungicida em relação a área sem aplicação.



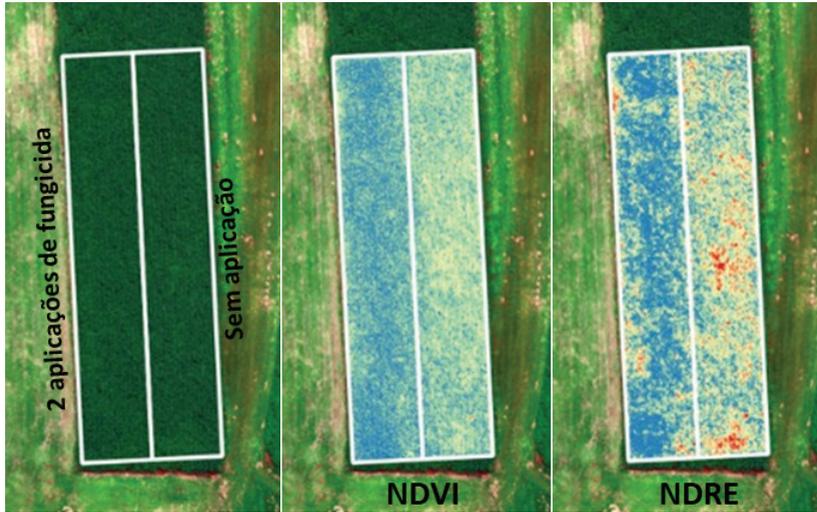
**Figura 8.** Densidade de percevejos em soja pulverizada com diferentes tecnologias de aplicação, em diferentes dias após a pulverização (DAP). Comparação de médias entre colunas da mesma cor pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: adaptado de Basseto Filho et al. (2021).



**Figura 9.** Parcelas com plantas de soja pulverizadas com drone, com duas taxas de aplicação e dois fungicidas.

Fonte: adaptado de Soares et al. (2023b).



**Figura 10.** Parcelas com e sem aplicação de fungicida com drone, fotografadas com câmera multiespectral e com aplicação de índices NDVI e NDRE.

Foto: Julio Cezar Franchini.

Também em soja, um estudo testou a eficiência de drones agrícolas como veículo de pulverização de fungicidas para o controle químico da ferrugem-asiática. Os ensaios foram realizados durante duas safras, com o drone pulverizando 5 e 10 L/ha, comparando com pulverizadores tratorizado de arrasto e costal pressurizado por CO<sub>2</sub> a 150 L/ha. As avaliações estimaram a severidade da ferrugem, calculando-se a área abaixo da curva de progresso da doença, a desfolha, a massa de mil grãos e a produtividade. Os resultados mostraram que não houve diferença entre o drone, nas duas taxas de aplicação, e os pulverizadores terrestres, sendo que todos foram superiores a testemunha para o controle da doença, mas apenas o tratamento com o tratorizado teve produtividade superior a testemunha. Os autores salientam que as severidades da ferrugem ficaram abaixo de 30% na testemunha nas duas safras, sendo consideradas epidemias leves para essa doença (Soares et al., 2025).

Com o objetivo de determinar o volume de pulverização ótimo para dessecar plantas de cobertura do solo usando o herbicida sistêmico glifosato aplicado por drone, Carneiro et al. (2024) testaram as taxas de 5, 10, 15, 20 e 25 L/ha. As variáveis de pulverização foram avaliadas usando papel sensível à água e incluíram porcentagem de área coberta, volume de pulverização recuperado, densidade de impacto de gotas, coeficiente de variação para diâmetro de gotas e amplitude relativa. A eficácia do herbicida e a biomassa seca de plantas de cobertura também foram avaliadas. O aumento da taxa de aplicação melhorou a área coberta, o volume recuperado, a densidade de impacto das gotas e a variação do espectro de diâmetro das gotas, mas não teve efeito na homogeneidade do espectro de gotas, no controle de aveia preta, do nabo e do trigo-sarraceno. Assim, os volumes de pulverização variando de 5,0 a 25 L/ha forneceram porcentagens de dessecação satisfatórias de plantas de cobertura do solo, independentemente da espécie ou localização.

Silva et al. (2023a) avaliaram a faixa de aplicação de um drone em taxas de aplicação de 5,0, 6,5, 8,5 e 10 L/ha, altura de voo de 3 m, velocidade de 5 m/s, utilizando gotas grossas ( $DMV = 369 \mu\text{m}$ ) com pontas de pulverização CVI 110015 e buscando faixa de 6 m de largura. Os resultados mostraram que o coeficiente de variação (CV) da faixa de aplicação em todas as taxas avaliadas foi superior a 20%, limite no qual acima indica desuniformidade. O melhor resultado foi obtido com a taxa de 10 L/ha, onde para CV abaixo de 20% a faixa de aplicação seria de 4 m de largura.

Com o objetivo de avaliar a eficiência da deposição de gotas de fungicida pulverizado em cultivo de café (*Coffea arabica*) e o controle das doenças ferrugem da folha e cercosporiose, Vitória et al. (2023) utilizaram um drone agrícola, voando a 2,5 m acima da copa das plantas, nas taxas de aplicação de 5, 10 e 15 L/ha, em comparação a um pulverizador terrestre pneumático na taxa de 400 L/ha. Os resultados mostraram que a cobertura, densidade e deposição de gotas significativamente aumentam a medida que a taxa de aplicação aumenta, mas considerando o controle das doenças as taxas de aplicação de 10 e 15 L/ha não se diferenciaram da taxa de 400 L/ha, mas a taxa de

5 L/ha proporcionou controle inferior para a ferrugem da folha. Neste contexto, o uso do drone se mostrou eficiente para o controle das doenças estudadas e, ao levar em conta também a autonomia operacional, a taxa de aplicação de 10 L/ha seria a recomendada.

A partir das informações apresentadas, verifica-se que as aplicações com drones podem ser eficientes com diversas taxas de aplicação dentro do espectro do baixo volume. No entanto, existem relatos de problemas de deposição e de eficiência dos produtos em variadas situações de pulverização, com resultados mostrando haver uma tendência de quanto maior for a taxa de aplicação, menores os riscos de problemas na qualidade de aplicação. Mesmo assim, as taxas maiores necessárias normalmente não têm passado de 25 L/ha. O mais importante, como comentado no início, é ter um equilíbrio entre os fatores técnicos e econômicos que permeiam a escolha da taxa de aplicação, para se ter um controle adequado, mas com rentabilidade econômica.

## Tamanho de gotas, altura e velocidade de voo e a faixa de deposição

A altura e a velocidade de voo são dois parâmetros muito relevantes na eficiência das aplicações com drones influenciando, entre outros fatores, a faixa de deposição dos produtos na lavoura. A faixa de deposição, apesar dos diversos parâmetros possíveis de serem estipulados nos sistemas operacionais automatizados dos drones, não tem como ser pré-determinada no sistema, podendo-se apenas determinar a largura entre faixas de deslocamento do drone. Desta forma caso não seja adequadamente dimensionada a partir das características da aplicação a ser executada, a faixa de deposição pode se constituir num gargalo de qualidade na aplicação por drones. Outros fatores que influenciam a faixa de deposição são o tamanho de gota e as características físicas da calda.

Assim como a taxa de aplicação, a faixa de deposição influencia na autonomia dos drones, pois faixas mais estreitas resultam em maior número de passadas, reduzindo a autonomia. Portanto o aplicador pode buscar utilizar faixas mais largas, mas dentro de limites que não comprometam a uniformidade da deposição.

A faixa de deposição efetiva das gotas pulverizadas, ou seja, a faixa onde se deposita produto suficiente para se ter o efeito desejado, é menor que a faixa de deposição total, pois a deposição de produto é maior no centro da faixa e vai reduzindo à medida que se aproxima das extremidades (Carvalho; Cunha, 2019). Por isso, a rota de operação do drone no campo deve consistir em sucessivas passadas paralelas, com sobreposição das extremidades da faixa, para compensar a menor deposição de produto nessas. A largura da rota de operação pode ser estipulada no sistema do drone, mas ela deverá ser escolhida em função de um conhecimento/teste prévio da faixa de deposição, que será em função das características da calda, da velocidade de trabalho, da altura de voo, do tipo de bico e do tamanho da gota. Existem diversos métodos para determinar a largura da faixa de deposição efetiva, sendo que o princípio básico consiste em utilizar fileiras de coletores de gotas, posicionados perpendicularmente

ao sentido de voo do drone. Como coletores, podem ser utilizados cartões hidrossensíveis, lâminas de vidro, faixas de papel (bobina) ou outros alvos artificiais, associados a colocação de traçador colorido na calda. Existe também o método de Inspeção de Faixa de Deposição (IFD), que usa um espectrofotômetro de fio em um sistema eletrônico de análise automatizada (Carvalho; Cunha, 2019).

Devido à altura de voo dos drones, as gotas lançadas estão sujeitas a ação do vento criado pelas hélices, ao efeito da velocidade horizontal de deslocamento e a força do vento natural. Wen et al. (2019), através de uma simulação computacional, analisaram a qualidade da distribuição de gotas testando velocidades de deslocamento entre 1,0 e 7,0 m/s e alturas de voo de 1,0, 1,5 e 2,0 m. Os resultados mostraram que quanto maior a altura e a velocidade, maiores as chances de arrastamento das gotas, deposição irregular e deriva, devido a maior exposição a ação do vórtice das hélices e a efeitos de condições climáticas adversas. Concluíram que a velocidade de 2,0 m/s e a altura de 1,0 m seriam ideais para obter uma pulverização de maior qualidade.

Carvalho et al. (2023) realizaram um estudo da faixa de deposição de um drone hexarrotor (DJI T30) em diferentes volumes de calda (8 e 12 L/ha), velocidades (21 e 25,2 km/h) e alturas de voo (3 e 4 m). Os resultados mostraram que o aumento no volume de calda de 8 L/ha para 12 L/ha resultou em aumento na largura de faixa, devido ao aumento da pressão, o que reduz o tamanho das gotas. O aumento na altura de voo de 3 m para 4 m resultou em maior largura de faixa na aplicação, aumentando a faixa de deposição de 8 m para 9 m (com 8 L/ha) e de 8,5 m para 10 m (com 12 L/ha). As velocidades de voo avaliadas não influenciaram na largura de faixa. Da mesma forma, Cunha e Silva (2021) observaram que não houve diferença entre as velocidades de voo de 15 km/h e 22 km/h, em relação a cobertura, a densidade e o espectro de gotas, em pulverização na cultura da soja com drone com pontas XR11001 e taxa de aplicação de 10 L/ha.

No entanto, um estudo em pessegueiro constatou efeito da velocidade de voo em parâmetros de aplicação com um drone quadrirrotor (Li et al., 2022). Foram testadas velocidades de 3,6, 7,2 e 10,8 km/h,

em pulverização de inseticida e fungicida, e avaliados o tamanho das gotas, a taxa de cobertura no dossel, as perdas no solo e a deriva. Verificou-se aumento no tamanho da gota a medida que aumentou a velocidade de voo. Aumentar a velocidade proporcionou maior cobertura e penetração no dossel das plantas, mas também causou deposição de pesticida mais desuniforme, redução da taxa de cobertura efetiva e da taxa de densidade efetiva. A maior perda no solo foi observada na velocidade de 3,6 km/h e a deriva aérea de campo foi maior a 10,8 km/h.

O tamanho de gotas influencia a faixa de deposição, pois quanto mais finas forem as gotas, mais sujeitas estão ao vento produzido pelas hélices do drone, aumentando a largura da faixa. De forma contrária, quanto mais grossas as gotas, mais pesadas serão e haverá tendência de estreitar a faixa de deposição.

Com o objetivo de avaliar a influência das configurações de voo sobre a deposição e uniformidade de distribuição de calda pulverizados na cultura da soja com drone, Schaidhauer et al. (2022) avaliaram as velocidades de voo de 3 m/s e 4 m/s e os tamanhos de gota de 165, 285 e 550  $\mu\text{m}$ , utilizando taxa de aplicação de 15 L/ha. Concluíram que a alteração do tamanho de gota e da velocidade de voo não apresentaram incremento de deposição no estrato inferior do dossel. O aumento da velocidade de 3 m/s para 4 m/s, com gotas de 165  $\mu\text{m}$  diminuiu a deposição na camada acima do dossel e aumentou a uniformidade da distribuição. Também constataram que a uniformidade de distribuição foi baixa, com coeficientes de variação de 27 % a 121 %, demonstrando elevada variabilidade na distribuição de calda com o drone utilizado.

Silva et al. (2023b) avaliaram a influência de três alturas de voo (4, 5 e 6 m) e de três classes de gotas (fina, média e grossa) de um drone DJI T40 com bico rotativo. Foram utilizadas a taxa de aplicação de 10 L/ha e velocidade de voo de 28 km/h. O aumento da altura de voo de 4 m para 5 m resultou em acréscimo na largura de faixa de deposição para todas as configurações avaliadas, com o coeficiente de variação dentro do limite recomendado de até 20%. No entanto, o aumento da altura de voo de 5 m para 6 m não resultou em aumento na largura

de faixa. Em relação as gotas, quanto menor o tamanho maior foi a faixa de deposição.

As características do sistema de pulverização e da faixa de deposição de sete diferentes drones agrícolas (DJI Agras MG1-P, DJI Agras MG1-S, DJI Agras T16, XAG P20, 2 ARPAC e Skydrones Pelicano) foram avaliadas por Carvalho et al. (2022). Após a coleta de dados, foram gerados valores de altura de voo e de tamanho de gotas, para se ter uma aplicação com deposição uniforme. A largura de faixa de deposição média obtida para aplicações com gotas grossas e muito grossas foi de 4,3 m, para gotas médias 5,1 m e para gotas finas e muito finas 5,2 m, sendo que os maiores coeficientes de variação da deposição foram obtidos para aplicações com gotas grossas e muito grossas, de 16,7%, seguido do obtido para gotas médias, 16% e finas e muito finas, 14,4%. Os autores ressaltam que os valores médios de faixa de deposição obtidos não devem ser adotados para qualquer modelo de drone disponível no mercado, pois isso depende, além da altura de voo e da classe das gotas, do tipo de dispositivo gerador de gotas e características do drone, como aerodinâmica, tamanho, potência, entre outros parâmetros. O ideal é que cada equipamento tenha uma análise da faixa de deposição em função das características e configurações utilizadas.

Um estudo analisou o efeito da altura de voo e dos genótipos de café conilon (*Coffea canephora*) na deposição e distribuição da calda no dossel da planta, utilizando um drone modelo JT-5 da marca Joyance, taxa de aplicação de 10 L/ha, alturas de voo de 2, 3 e 4 m em relação ao dossel do café e três genótipos. A interação entre as variáveis de altura de voo e alcance do dossel foi significativa para as variáveis densidade de gotas e cobertura. O melhor desempenho da pulverização foi na altura de 3 m. Com 4 m, observou-se uma diminuição nas variáveis, e isso pode ser explicado por uma possível deriva causada pela intensidade e direção do vento em maiores alturas. A cobertura nas folhas também foi influenciada pelo genótipo de café, devido aos diferentes tipos de formato do dossel (Vitória et al., 2022).

Pelos estudos aqui analisados e através de informações obtidas junto a prestadores de serviços em atividade, tem-se a percepção

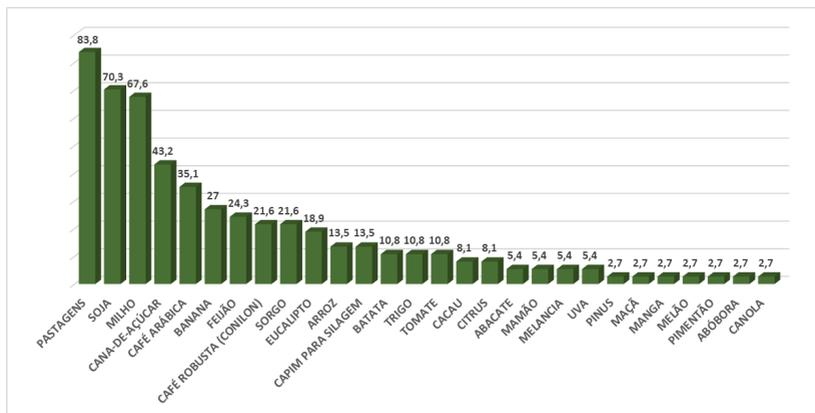
que as velocidades de voo mais usuais para os drones agrícolas multirrotores tem ficado entre 4 m/s e 7 m/s, a altura de voo em relação a copa das culturas tem ficado entre 3 e 6 metros e as faixas de aplicação entre 6 e 10 metros. O tamanho da gota utilizada tem variado bastante, ainda mais com a possibilidade de alguns bicos rotativos de drones poderem produzir gotas entre 60 e 400  $\mu\text{m}$ . Nesse caso, é recomendável utilizar os preceitos já conhecidos na tecnologia de aplicação para escolher o tamanho da gota, que consideram principalmente o tipo de produto (fungicida, herbicida, inseticida, entre outros) e as condições climáticas, associando, no caso da aplicação com drone, à faixa de aplicação almejada.



## Uso de drones agrícolas por cultura

Com o passar do tempo e o avanço da tecnologia, um número maior de culturas vem utilizando o drone agrícola como ferramenta de pulverização e de distribuição de sólidos.

Uma pesquisa realizada pelo Sindag, divulgada no ano de 2025<sup>1</sup>, relata a porcentagem de adoção do uso de drone agrícola por cultura entre 40 empresas prestadoras de serviço entrevistadas em 12 estados brasileiros, registrando o uso da tecnologia em 29 culturas (Figura 11).



**Figura 11.** Porcentagem de uso de drones agrícolas por cultura no Brasil entre 40 empresas prestadoras de serviço<sup>1</sup>.

A seguir, são descritos informações e exemplos sobre o uso de drones agrícolas em algumas das culturas onde a tecnologia mais vem sendo utilizada no Brasil.

<sup>1</sup> Informação extraída da palestra intitulada “O mercado de drones na aviação agrícola - oportunidades e desafios”, proferida por Cláudio Júnior Oliveira Gomes, no evento online “Academia Brasileira de Drones Agrícolas”, promovido pelo Sindag - Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola, no dia 12 de março de 2025.

## Arroz

A cultura do arroz irrigado no sul do Brasil foi uma das pioneiras em adotar o uso de drones agrícolas. Como a irrigação é realizada por inundação, torna-se inviável o trânsito de pulverizadores terrestres convencionais. Aviões agrícolas são a ferramenta mais utilizada na cultura do arroz irrigado nos três estados do Sul e no Tocantins. Porém, existem muitas lavouras próximas a cidades e povoações, ou áreas com obstáculos como redes elétricas e árvores, que limitam o uso dos aviões. Por estes motivos, a adoção dos drones agrícolas permitiu uma significativa melhora na uniformidade de controle das plantas daninhas e doenças do arroz, resultando em maiores tetos produtivos.

Na cultura do arroz irrigado os drones agrícolas são empregados no início do ciclo para realizar duas a três pulverizações de herbicidas dessecantes, além de pré e pós-emergentes seletivos. A partir da floração do arroz, duas a três pulverizações de fungicidas são executadas, muitas vezes com associação de inseticidas.

A semeadura aérea de arroz pré-germinado com drones agrícolas tem sido realizada em lavouras de pequena extensão. Adubações com fertilizantes sólidos, notadamente ureia e cloreto de potássio, também são realizadas na cultura, mostrando vantagens promissoras para a tecnologia.

No estado de Santa Catarina, por exemplo, as lavouras têm dimensões menores, existem poucas empresas de aviação agrícola, forçando o uso de pequenos pulverizadores autopropelidos (chupacabra), mesmo sabendo-se que a perda de produtividades devido ao amassamento da cultura situa-se na faixa de 5% (Schroder et al., 2023). Além disso, as lavouras de arroz estão principalmente na região litorânea do Estado, onde a mão de obra é escassa e cara, o índice de arrendamento das áreas de arroz é alto (demandando dos produtores uma intensa movimentação de máquinas) e o uso de maquinário pesado não é adequado para o tipo de solo da região, prejudicando sua estrutura. Nesse contexto, o uso de drone para a

cultura no Estado tem crescido rapidamente, principalmente para os tratamentos fitossanitários, mas também na sementeira e adubação.

Ao longo do ciclo do arroz irrigado no sul do Brasil são realizadas de cinco a sete aplicações com drones agrícolas, incluindo-se as pulverizações e as dispersões de sólidos.

## Banana

No setor de fruticultura no Brasil o uso de drones agrícolas iniciou pela cultura da banana. Esta já utilizava aplicações com aviões agrícolas, mas com limitações devido ser frequente o cultivo em locais com topografia muito acidentada, presença de moradias dentro dos bananais, proximidades com cidades e povoações e ausência de pistas de pouso próximas a alguns plantios. Restava o uso de pulverizadores terrestres com canhões atomizadores, que também podem sofrer limitações pelos terrenos acidentados e são menos eficientes que o avião, ou o uso de pulverizadores costais, que apresentam baixíssima eficiência e alto risco de contaminação do aplicador. Dessa forma, os drones apresentaram-se como uma excelente opção para a cultura.

Os drones agrícolas possuem fácil manobrabilidade, não precisam de pista de pouso, legalmente podem aplicar próximo a moradias (20 metros na maioria dos estados) e geram menos deriva que os aviões, o que resultou na rápida adoção pelos agricultores e empresas de prestação de serviço de pulverização.

Fungicidas associados a óleo mineral são pulverizados por via aérea frequentemente, ao longo do ano, resultando entre três a dez aplicações na maioria dos bananais. Aplicações aéreas são muito vantajosas na bananicultura, pois as gotas são pulverizadas sobre a cultura, protegendo as folhas mais jovens situadas no topo das plantas. As duas principais doenças foliares da cultura, a sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*) e a sigatoka negra (*M. fijiensis*), iniciam a infecção nas plantas pelas folhas jovens. Por outro lado, aplicações terrestres são muito morosas, mostram dificuldade para recobrir as

plantas alvo com os produtos, resultando em controle deficiente e oneroso. O uso de drones nos bananais é uma novidade que vem promovendo mais renda ao produtor rural, mais saúde ao trabalhador e ganhos na produção, como mostra uma experiência com produtores desenvolvida pelo escritório da Emater-DF iniciada no ano de 2021 onde, após um ano de adoção, os agricultores relatam aumento de produtividade da cultura em cerca de 20% devido ao uso de drone para os tratamentos fitossanitários, em substituição ao pulverizador costal (Costa, 2022).

Outras frutíferas onde os drones estão sendo adotados para aplicações de fungicidas e inseticidas são as culturas da laranja e do café.

## Cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar utiliza drones para imageamento e monitoramento dos talhões há muito tempo. Com a chegada dos drones agrícolas ao mercado, o setor incorporou prontamente a nova tecnologia, principalmente para o controle biológico de pragas.

A prática até então usual de distribuição manual das vespas de *Cotesia* (*Cotesia flavipes*) para controle da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) passou a ser realizada através da dispersão de cápsulas que são lançadas por drones sobre o canavial, com grande uniformidade e rapidez.

Pulverizações com drones agrícolas em cana-de-açúcar são realizadas para aplicar maturadores, especialmente onde existem obstáculos perigosos ao voo, complementando as aplicações feitas por aviões agrícolas. Existe relato de uma empresa do setor sucroalcooleiro que no ano de 2024, após realizar experimento que mostrou ganhos de eficiência com o uso de drones em comparação ao avião na aplicação de maturadores, usou drones em mais de 50 mil hectares de cana-de-açúcar, nas suas áreas localizadas no interior do estado de São Paulo. Apesar dos resultados positivos, a empresa relatou como maior gargalo a falta de prestadores de serviço, tanto em quantidade

como em qualidade do serviço prestado para atender a uma demanda com essa proporção<sup>2</sup>.

Outra prática que cresce nos canaviais é a aplicação localizada de herbicidas no final do ciclo, antecedendo a colheita, através do processo conhecido por “catação”. Plantas daninhas de folhas largas como mucuna, corda-de-violão e mamona surgem tardiamente, quando a cana já está alta, impossibilitando outro método de controle. As reboleiras das invasoras são mapeadas por drones de imageamento, cujas imagens são processadas gerando mapas de prescrição, que indicam onde os drones devem pulverizar. A prática traz significativa economia de herbicidas e possibilita maior facilidade para colheita da cana.

## Milho

Na cultura do milho, a adoção dos drones agrícolas é realizada principalmente para aplicação de fungicidas e inseticidas. A partir do momento que a altura das plantas compromete a aplicação terrestre devido ao amassamento da cultura, como no caso das aplicações pós-pendoamento, as aplicações com drones são consideradas rápidas, não causam amassamento e independem da condição de umidade do solo.

Em muitos casos as aplicações são realizadas em focos de pragas, e não em área total, resultando em economia ao produtor. Em geral, duas a três aplicações de produtos químicos e biológicos são efetuadas a cada safra. Considerando-se a prática de duas safras agrícolas, é frequente a utilização de uma média de cinco aplicações com drones por ano.

Assim como para as demais culturas, a atualização das bulas dos produtos para o uso com drones é imprescindível para que o agricultor utilize os produtos da forma correta.

---

<sup>2</sup> Informação extraída da palestra intitulada “Aplicação com drones em cana-de-açúcar”, proferida por José Carlos Monteiro, no Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital - ConBAP2024, em Ribeirão Preto, SP, no dia 27 de novembro de 2024.

## Pastagens

Um segmento que passou a adotar o emprego de drones agrícolas são os pecuaristas que possuem pastagens para alimentação do gado.

Semeadura aérea de pastagens com drones têm sido efetuadas com espécies como braquiária, azevém e leguminosas, tanto para aumento da quantidade de forragem de pastagens já estabelecidas, quanto para a implantação de novas áreas após a colheita de lavouras de grãos. A sobressemeadura consiste em semear a pastagem antes da colheita de grãos como milho, soja ou arroz. Desta forma, por ocasião da colheita dos grãos a pastagem já está estabelecida, possibilitando antecipar o pastejo em cerca de 30 dias. Com o drone, a sobressemeadura é realizada sem riscos de danos a cultura que está para ser colhida, de forma rápida e prática.

Aplicações de herbicidas para manejo de plantas daninhas de difícil controle, que reduzem de forma expressiva a disponibilidade de forragem para a alimentação animal, também são realizadas através de drones agrícolas, com grande uniformidade de controle e rapidez operacional.

O setor de pecuária, principalmente em pequenas e médias propriedades rurais, por vezes não dispõe de modernas máquinas para semeadura de pastagem e pulverização de herbicidas. Nestes casos, a contratação de serviço de empresas de drones ou a própria aquisição do drone (que possui um custo menor que uma plantadeira e um pulverizador terrestre) por parte do pecuarista, pode proporcionar bons resultados e com baixo custo.

## Silvicultura

A silvicultura é de grande importância para o agro brasileiro, principalmente com extensas áreas cultivadas com eucalipto para a produção de celulose. A cada sete anos, as árvores são colhidas e, alguns meses após, os talhões recebem novo plantio.

Após o novo plantio, é essencial que as plantas daninhas sejam controladas pelo período de cinco a seis meses, tempo necessário para que as jovens mudas de eucalipto se desenvolvam, resultando em futuros maciços florestais uniformes.

Aplicações de herbicidas em áreas recém-colhidas são bastante complexas, pois restos de colheita, como galhos e partes de troncos, comprometem o trânsito de pulverizadores tratorizados. Por este motivo, o uso de pulverizadores costais ainda é uma prática existente.

Talhões com relevo acidentado e dimensões expressivas exigem equipes de 15 a 20 trabalhadores com pulverizadores costais, adotando taxas de aplicação ao redor de 400 litros por hectare. Tal fato resulta em baixo rendimento operacional, pouca uniformidade no controle nas plantas daninhas, inclusive exigindo retrabalhos, e elevado custo das operações devido a logística com os funcionários. Em média, um trabalhador com pulverizador costal aplica apenas um hectare por dia.

O rendimento operacional de um drone pequeno, com tanque de 10 litros de capacidade, equivale a 15 trabalhadores com equipamentos costais. Drones de maior capacidade, com 30 a 40 litros de carga, substituem 30 trabalhadores por apenas um piloto e um auxiliar, trazendo redução de custos e de passivo trabalhista para o contratante.

As aplicações de herbicidas pré-emergentes após o plantio do eucalipto, por vezes associados com herbicidas pós-emergentes seletivos, possibilitam manter a cultura livre da competição das plantas daninhas por até seis meses, desde que a uniformidade de pulverização seja mantida em todo o talhão, o que ocorre quando se utilizam drones agrícolas.

Segundo as empresas florestais, o uso de drones agrícolas tem como principais vantagens a melhor uniformidade de controle das plantas daninhas e a significativa redução do tempo de aplicação, permitindo um melhor planejamento do manejo silvicultural, além da redução de custos que podem superar a cifra de 50%, pois proporciona redução de retrabalhos, economia de herbicidas e maior facilidade de gestão em função dos relatórios emitidos pelos drones.

Outra prática necessária na silvicultura e também viável de ser feita com os drones são as aplicações de iscas formicidas, pois as

formigas são a principal praga do eucalipto. Elevada uniformidade de distribuição, rapidez muito superior aos métodos terrestres e significativa redução de custos são apontados como justificativas para a adoção desta prática. Ainda há necessidade de que algumas formulações comerciais de iscas formicidas recebam a recomendação em bula para aplicação aérea, visando viabilizar a dispersão por drones no setor florestal.

## Soja

A soja é a cultura mais plantada no Brasil, e o uso de drones agrícolas nas diversas etapas de desenvolvimento é muito frequente em todas as regiões do país.

As produtividades de soja são obtidas com o uso de drones devido ao controle eficiente dos problemas fitossanitários e ao não amassamento da cultura que ocorre quando das aplicações terrestres.

Herbicidas são aplicados na dessecação pré e pós-semeadura, além de produtos seletivos em pré e pós-emergência da cultura. Aplicações de herbicidas para controle de plantas daninhas escapes, que ocorrem em reboladeiras, são uma prática muito adotada em todas as regiões produtoras.

Aplicações de fungicidas e inseticidas em soja com drones são cada vez mais frequentes. O efeito *downwash* resulta em superioridade na penetração de gotas em todo o dossel foliar.

Os resultados de pesquisa com uso de drone na soja têm mostrado que os parâmetros técnicos de aplicação (como taxa de aplicação, tamanho de gota e altura de voo) podem variar de acordo com os objetivos. Por exemplo, taxas de aplicação iguais ou menores que 10 L/ha podem ser utilizadas para pulverização de inseticidas, alguns agentes biológicos, herbicidas sistêmicos e fungicidas quando há baixa severidade de doenças como a ferrugem-asiática. Mas em condições favoráveis para alta severidade da doença e também no caso de herbicidas de contato, taxas de aplicação maiores que 10 L/ha trazem maior segurança de controle, devido a maior deposição

de calda e diminuição do risco de perdas por condições climáticas adversas (Soares et al., 2023a, 2023b).

Em média, são realizadas de cinco a sete aplicações de agroquímicos e produtos biológicos durante o ciclo da soja. Com essa quantidade de aplicações, são frequentes situações de impossibilidade de entrar com pulverizadores terrestres devido a solo encharcado, o que pode comprometer a realização da pulverização no momento ideal. Com drone, não existe essa limitação.



## Considerações finais

---

Conforme descrito nesta obra, o uso legal, seguro e eficiente de drones agrícolas para pulverização de defensivos agrícolas demanda uma série de procedimentos e conhecimentos, constituindo-se numa atividade altamente técnica, mas que vem de encontro com as tendências de modernização do setor, como a agricultura digital e a agricultura de baixo carbono. Ao mesmo tempo que já é uma realidade no campo, é uma tecnologia que ainda está em plena e rápida evolução, tanto em relação aos equipamentos como em relação aos procedimentos agrônômicos e regulatórios. Portanto, é comum que existam muitas dúvidas, carência de informações, sucessos e fracassos na adoção da tecnologia; mas com certeza ela veio para ficar.

A análise dos trabalhos de pesquisa feita aqui, esclarece muitos aspectos da pulverização com drones, aponta pontos positivos e negativos, mas mostra que novos estudos serão sempre necessários, assim como acontece com a pulverização terrestre e com aviões. A deposição de produtos fitossanitários pulverizados nas plantas normalmente é irregular nos estratos da cultura, constituindo-se em um desafio para se obter um controle adequado dos alvos biológicos. Os melhores resultados normalmente são obtidos com uma boa penetração das gotas de pulverização no interior do dossel, objetivo mais fácil de ser alcançado com gotas finas e muito finas, entretanto, essas gotas estão sujeitas a um maior risco de deriva e evaporação, influenciando negativamente a qualidade da aplicação. A aplicação com drones utilizando gotas grossas é menos influenciada pelas condições meteorológicas do que quando utilizado a classe de gotas média e fina, mas pode trazer problemas de qualidade da aplicação pela menor penetração ou o estreitamento de faixa de deposição. Diversos estudos apontam a ocorrência de alta variabilidade na deposição de produtos com drones, embora isso não seja uma exclusividade destes, podendo ocorrer com pulverizadores terrestres e aviões. No entanto, é um alerta para que cuidados maiores sejam tomados,

buscando evitar problemas e erros que, caso aconteçam, sejam identificados e corrigidos.

Neste contexto, independente da tecnologia de aplicação utilizada, mas em especial nas aplicações com baixo e ultrabaixo volume com drone, é importante utilizar os diversos ajustes e tecnologias disponíveis para garantir a qualidade adequada da pulverização, tais como: análise do espectro de gotas e da sobreposição de faixas, escolha da ponta de pulverização, adição de óleos adjuvantes, adição dos produtos na ordem adequada para formação da calda, taxa de aplicação, altura e velocidade de voo adequadas, horário de aplicação de acordo com as condições climáticas mais favoráveis, entre outros aspectos.

A evolução da tecnologia, com lançamentos de aeronaves com diferentes portes e novas tecnologias embarcadas, irá influenciar as características e a qualidade das aplicações. Com isso, é essencial a constante realização de testes e a busca de informações para se manter atualizado à medida que o setor avança, ou melhor, decola!

## Agradecimento

---

Agradecimento ao CNPq pelo apoio através de Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (Processo: 304222/2021-6)



## Referências

---

- ANGONESE, P.; SCHAIDHAUER, W.; SULZBACH, E.; TURRA, G. M.; MENEGAZ, C.; FERREIRA, E.; MARCZWSKI, E.; EBELING, G.; TASCA, V.; MEROTTO JUNIOR, A. Eficiência de herbicidas pós-emergentes aplicados com drone. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 10., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2022. p. 316-319.
- BASSETTO FILHO, J. J.; ESTABELE, D. L.; OLIVEIRA, T. L. de; GOMES, L. R. O.; PINHO, C. A.; MATULAITIS, A. K. Y.; ADEGAS, F. S.; SOARES, R. M.; ROGGIA, S. Controle do percevejo *Euschistus heros* em soja com inseticidas químicos pulverizados com drone. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 16., 2021, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2021. p. 124-130. (Embrapa Soja. Documentos, 440).
- BRASIL. Decreto 86.765, de 22 de dezembro de 1981. Regulamenta o Decreto-Lei nº 917, de 07 de outubro de 1969, que dispõe sobre o emprego da aviação agrícola no País e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1, p. 24561, 23 dez. 1981. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/atos/decretos/1981/d86765.html](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos/decretos/1981/d86765.html). Acesso em: 29 abr. 2025.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 917, de 7 de outubro de 1969. Dispõe sobre o emprego da Aviação Agrícola no país e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1, p. 8489, 8 out. 1969. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1960-1969/decreto-lei-917-7-outubro-1969-375251-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- BRASIL. Lei 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins. **Diário**

**Oficial da União:** seção 1, p. 40, 28 dez. 2023b. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2023/Lei/L14785.htm#art65](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14785.htm#art65). Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Lei 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização, de agrotóxicos, seus componentes, e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil:** seção 1, p.11459, 12 jul. 1989. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=7802&ano=1989&ato=501MTR61EeFpWT452>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Lei 9.605, de 12 fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil:** seção 1, p. 1, 13 fev. 1998. Disponível em: [https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha/?/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%209.605-1998&OpenDocument](https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha/?/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%209.605-1998&OpenDocument). Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **SARPAS:** Sistema para solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas. 2025. Disponível em: <https://servicos.decea.mil.br/sarpas/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério das Comunicações. Agência Nacional de Telecomunicações. **Formulários e Manuais.** 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/certificacao-de-produtos/formularios-certificacao>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. Agência Nacional de Aviação Civil. **Guia Rápido Novo SISANT.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/sistemas/sisant/novo-sisant>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC-E) nº 94/2017, de 3 de maio de 2017. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 52, 3 mai. 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 710, de 31 de março de 2023. Aprova a Emenda nº 03 ao RBAC-E nº 94. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 72, 3 abr. 2023a. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2023/resolucao-710>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora 31 (NR 31) – Portaria MTE nº 342, de 21 de março de 2024. Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura. **Diário Oficial da União**: 22 mar. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-31-atualizada-2024-1.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 14, 24 set. 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: 29 abr. 2025.

CARNEIRO, R. P.; GARCIA, L. C.; DALAZEN, G.; GOMES, J. A.; RAETANO, C. G.; BOLLER, W. Variation of glyphosate spray volume in the drying of ground cover plants with an unmanned aerial vehicle. **Crop Protection**, v. 181, 106694, 2024. DOI: 10.1016/j.cropro.2024.106694.

CARVALHO, F. K.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; CORNAGO JUNIOR, V. M.; MONIZ, A. Características do sistema de pulverização e faixa de deposição de aplicações com drones no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 10., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2022. p. 93-96.

CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. Estudo das faixas de deposição nas aplicações aéreas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 213-222.

CARVALHO, F. K.; VIEIRA, M. T.; SANTOS, M. L. M.; CARVALHO, M. G.; SILVA, G. G.; ANTUNIASSI, U. R. Estudo da faixa de deposição de um drone dji t30 com diferentes volumes de calda, alturas e velocidades de voo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 11., 2023, Goiânia. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2023. p.163-166.

CHEN, H. B.; LAN, Y. B.; FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; LIU, S. B. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 38-49, 2021. DOI: 10.25165/ijabe.20211401.5714.

COOMBES, M.; NEWTON, S.; KNOWLES, J.; GARMORY, A. The influence of rotor downwash on spray distribution under a quadrotor unmanned aerial system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 196, 106807, 2022. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106807.

COSTA, C. C. da. **Custos e benefícios do uso da pulverização aérea de agrotóxicos na agricultura**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. 22 p. (Embrapa Instrumentação. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 39).

COSTA, R. **Experiência com uso de drones na produção de banana tem elevado produtividade da lavoura**. EMATER-DF, 27 jun. 2022. Disponível em: <https://emater.df.gov.br/experiencia-com-uso-de-drones-na-producao-de-banana-tem-elevadoprodutividade-da-lavoura/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Deposition of spray applied to a soybean crop using unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 4, p. 8-13, 2021. DOI: 10.33440/j.ijpaa.20210402.167.

DRONE INDUSTRY INSIGHTS. **Navigating innovation**: the leading source for independent drone market intelligence. 2024. Disponível em: [www.droneii.com](http://www.droneii.com). Acesso em: 29 abr. 2025.

GUO, S.; LI, J.; YAO, W.; ZHAN, Y.; LI, Y.; SHI, Y. Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multi-rotor UAV. **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, 220024, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0220024.

LAN, Y.; QIAN, S.; CHEN, S.; ZHAO, Y.; DENG, X.; WANG, G.; ZANG, Y.; WANG, J.; QIU, X. Influence of the downwash wind field of plant protection UAV on droplet deposition distribution characteristics at different flight heights. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 2399, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11122399.

LI, L.; HU, Z.; LIU, Q.; YI T, HAN, P.; ZHANG, R.; PAN, L. Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 981494, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.981494.

MATO GROSSO (Estado). Decreto nº 452, de 15 setembro de 2023. **Diário Oficial [do] Estado do Mato Grosso**, n. 28.585, p. 4, 18 set. 2023. Disponível em: <https://www.iomat.mt.gov.br/portal/visualizacoes/pdf/17497/#p:4/e:17497>. Acesso em: 29 abr. 2025.

MORAES, A. S.; FASIABEN, M. do C. R.; OLIVEIRA, O. C. de; ALMEIDA, M. M. T. B. **Características principais dos estabelecimentos agropecuários produtores de soja do Brasil segundo estratos de área colhida**. Londrina: Embrapa Soja, 2024. 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 204).

OLIVEIRA, J. R. G. di; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 92-99, 2010. DOI: 10.1590/S0100-69162010000100010.

OLIVEIRA, V. R.; BASSETO FILHO, J. J.; ESTABELE, D. L.; OLIVEIRA, T. L.; GOMES, L. R. O.; MATULAITIS, A. K. Y.; ADEGAS, F.; SOARES, R. M.; ROGGIA, S. Depósito de inseticida em diferentes estratos da planta de soja obtido na pulverização com drone. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 16., 2021, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2021. p. 157-163. (Embrapa Soja. Documentos, 440).

ÖNLER, E.; ÖZYURT, H. B.; ŞENER, M.; ARAT, S.; EKER, B.; ÇELEN, I. H. Spray characterization of an unmanned aerial vehicle for agricultural spraying. **The Philippine Agricultural Scientist**, v. 106, n. 1, p. 39-46, 2023. DOI: 10.62550/AR007022.

PARANÁ (Estado). Agência de Defesa Agropecuária do Paraná. Portaria nº 129, de 28 de abril de 2023. **Estabelece distâncias mínimas para a aplicação de agrotóxicos.** Disponível em: [https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2024-11/portaria\\_adapar\\_129\\_2023.pdf](https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2024-11/portaria_adapar_129_2023.pdf). Acesso em: 29 abr. 2025.

RIBEIRO, M. E. A.; RIBEIRO, L. F. O.; SANTOS, T. G.; NUNES, J. G. P.; VITÓRIA, E. L. Análise bibliométrica da produção científica sobre uso de aeronave remotamente pilotada na pulverização agrícola. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 10, n. 1, p. 94-104, 2024. DOI: 10.47456/bjpe.v10i1.43199.

SCHAIDHAUER, W.; ANGONESE, P.; CUTTI, L.; MESQUITA, F.; DIAS, G.; PACINI, B.; HEIN, N.; MARKUS, C.; MEROTTO JUNIOR, A. Influência de configurações de voo de um drone sobre a deposição e uniformidade de distribuição de calda. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 10., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2022, p. 237-240.

SCHRODER, E. P.; BURKERT, V. G. Relato sobre experiência de uso de drones agrícolas no Brasil. In: SOUZA, W. J. O.; SANCHES, A. G. (org.). **Tecnologia e Inovação na Agricultura**: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa. São Paulo: Científica Digital, 2023. p. 227-238. DOI: <https://10.37885/230312454>.

SCHRODER, E. P.; BURKERT, V. G.; ZAMBRANO, V.; SOUZA, C. T.; SILVA, A. V. Estudo comparativo entre aplicação terrestre e com drone em arroz irrigado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 11., 2023, Goiânia. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2023. p. 118-122.

SHAN, C.; WU, J.; SONG, C.; CHEN, S.; WANG, J.; WANG, H.; WANG, G.; LAN, Y. Control efficacy and deposition characteristics of an unmanned aerial spray system low-volume application on corn fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 900939, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.900939.

SILVA, A. S.; TANAKA, R. K.; SILVA, M. C. L.; LEMES, G. S.; ARAÚJO, C. L.; OLIVEIRA, R. B. Faixa de aplicação de um modelo de aeronave remotamente pilotável utilizando gotas grossas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 11., 2023, Goiânia. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2023a. p. 16-19.

SILVA, A. S.; THEODORO, J. G. C.; CAMPOS, J. V.; TANAKA, R. K.; CARONARO, H. M.; FERREIRA, P. G. R. O.; LEMES, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Espectro de gotas e de deriva na pulverização com bico rotativo de aeronave remotamente pilotável. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 10., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2022. p. 16-19.

SILVA, G. G.; CARVALHO, F. K.; CHECHETO, R. G.; ROMANI, V. V.; SOUZA, L. G. P.; ANTUNIASSI, L. R. Interferência da altura de voo e classe de gotas na faixa de deposição de um drone DJI T40. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 11., 2023, Goiânia. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2023b. p. 182-184.

SILVA, M. R. A. **Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja**. 2022. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.169>.

SINDAG - Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola. **Clique aqui para ter acesso ao Checklist Drone Legal**. Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://sindag.org.br/aeroagricola-reomotamente-pilotada/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SOARES, R. M.; ADEGAS, F. S.; ROGGIA, S. Drone spraying of fungicides to control Asian soybean rust. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 5, n. 1, 2025. 8 p. DOI: 10.22533/at.ed.973512507017.

SOARES, R. M.; ADEGAS, F. S.; ROGGIA, S.; FRANCHINI, J. C. Controle da ferrugem-asiática da soja com fungicidas pulverizados com drone agrícola. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 38., 2023, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2023b. p. 131-134. (Embrapa Soja. Eventos técnicos & científicos, 1).

SOARES, R. M.; ROGGIA, S.; ADEGAS, F. S. Cobertura e depósito de fungicida pulverizado com drone na cultura da soja. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 11., 2023, Goiânia. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2023a. p. 341-344.

TANG, Q.; ZHANG, R. R.; CHEN, L. P.; XU, M.; YI, T. C.; ZHANG, B. Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural UAV in downwash flow field. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 47-56, 2017. DOI: 10.3965/j.ijabe.20171003.3075.

UAPASTF - Unmanned Aerial Pesticide Application System Task Force. **Best Management Practices for Safe and Effective Application of Pesticides Using Unmanned Aerial Spray Systems (UASS)**. September 20<sup>th</sup>, 2024. Disponível em: <https://uapastf.com/wp-content/uploads/2024/09/MASTER-UAPASTF-BMP-final-Sept-2024.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

VITÓRIA, E. L. da; KROHLING, C. A.; BORGES, F. R. P.; RIBEIRO, L. F. O.; RIBEIRO, M. E. A.; CHEN, P.; LAN, Y.; WANG, S.; MORAES, H. M. F. E.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Efficiency of fungicide application using an unmanned aerial vehicle and pneumatic sprayer for control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in Mountain Coffee crops. **Agronomy**, v. 13, 340, 2023. 18 p. DOI: 10.3390/agronomy13020340.

VITÓRIA, E. L. da; OLIVEIRA, R. F. de; CRAUSE, D. H.; RIBEIRO, L. F. O. Effect of flight operative height and genotypes on conilon coffee spraying using an unmanned aerial vehicle. **Coffee Science**, v. 17, e172003, 2022. 9 p. DOI: 10.25186/v17i.2003.

WANG, G.; LAN, Y.; QI, H.; CHEN, P.; HEWITT, A.; HAN, Y. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, p. 1546-1555, 2019. DOI: 10.1002/ps.5321.

WEN, S.; HAN, J.; NING, Z.; LAN, Y.; YIN, X.; ZHANG, J.; GE, Y. Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 166, 105036, 2019. DOI: 10.1016/j.compag.2019.105036.

ZHANG, X. Q.; SONG, X. P.; LIANG, Y. J.; QIN, Z. Q.; ZHANG, B. Q.; WEI, J. J.; LI, Y. R.; WU, J. M. Effects of spray parameter of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, p. 583-588, 2020. DOI: 10.1007/s12355-019-00792-z.

## Anexo 1

---

### **CHECKLIST 1 - Lista de verificação ao fazer aplicações de produtos fitossanitários com drones agrícolas.**

#### **Pré-aplicação**

- Certifique-se de que o piloto e/ou responsável técnico pela operação seja profissionalmente treinado, autorizado e qualificado para pilotar a aeronave e para fazer a aplicação de acordo com os regulamentos locais.

- Cumpra todos os requisitos exigidos pelos regulamentos regionais, se houverem.

- Confirme se a(s) operação(ões) cumpre(m) totalmente com as condições e limitações de qualquer certificado(s) de operação da sua autoridade de aviação e outros regulamentos aplicáveis. Conforme necessário, registre o alerta apropriado para informar outros aviadores sobre sua missão planejada.

- Utilize os produtos apropriados, autorizados para aplicação com drone, na dose e taxa de aplicação recomendada para o alvo a ser controlado, com clima adequado, seguindo as recomendações técnicas, com base no estágio da cultura e do inseto/doença/erva daninha.

- Leia e siga as instruções/direções da bula para uso eficaz e seguro dos produtos selecionados, incluindo zonas de amortecimento necessárias, precauções, impacto potencial em organismos não-alvo como polinizadores e habitats de polinizadores, restrições e equipamentos de proteção individual (EPI) necessários. Cumpra todas as recomendações de EPI exigidas por regulamentos regionais, se houver.

- Se misturar vários produtos, realize um teste de compatibilidade antes de misturar, pois misturas de baixo volume de água usadas na aplicação com drone podem ampliar quaisquer incompatibilidades

entre produtos. Verifique a compatibilidade de todos os componentes da mistura do tanque e observe quaisquer requisitos para procedimentos de dosagem e mistura, sistemas de agitação, etc. Se misturar em pequenas quantidades, certifique-se de usar o equipamento de dosagem apropriado (cilindro de medição, seringa, etc.). Certifique-se também de que o tanque do drone esteja limpo para evitar contaminação cruzada.

- Certifique-se de que o equipamento esteja devidamente calibrado. A frequência mínima de calibração deve ser no início da temporada, antes de iniciar um novo trabalho que exija uma configuração de equipamento diferente (diferente safra, praga, produto, etc.) e quando alterações ou reparos no equipamento forem feitos (alterações na configuração da lança, bico/atomizadores substituídos, nova bomba, etc.).

- Siga a lista de verificação pré-voo do fabricante, incluindo sinal de GPS, satélite, internet ou download de um mapa de trabalho antes de pulverizar e verifique a integridade estrutural e de comunicação do veículo. Além disso, consulte as recomendações do fabricante para quaisquer outros parâmetros de segurança necessários para outros equipamentos, como proteção auricular para geradores barulhentos e precauções de segurança no torno. Além disso, certifique-se de entender a capacidade da sua equipe e os requisitos regulatórios locais de quanto controle manual versus modo assistido por satélite deve ser utilizado.

- Monitore as condições climáticas esperadas e durante a aplicação, evite pulverizar se a velocidade do vento estiver abaixo de 3 km/h ou acima de 15 km/h (de preferência medida no ponto de liberação), ou conforme o rótulo determinar, se houver inversões de temperatura na superfície local ou se a chuva estiver se aproximando. Não pulverize se a velocidade do vento exceder os parâmetros de voo para o drone ou para risco em áreas sensíveis e não-alvo. Altas temperaturas e/ou baixa umidade podem exigir aumentos em taxas de aplicação, aumentos no tamanho da gota ou uso de adjuvante para reduzir a evaporação.

- Garanta a sanidade mental de toda a tripulação, permissão(ões) legal(ais) adequada(s) para voar e que equipamentos para primeiros socorros e emergências (por exemplo, curativos, desinfetantes, extintor de incêndio) estejam disponíveis.

- Realizar “briefing” da tripulação:

- Revisar e confirmar a compreensão dos procedimentos de emergência.
- Revisar funções e responsabilidades para proteger a área de aplicação/lidar com não participantes.
- Revisar planos para documentar a aplicação e registros de voo.
- Revisar procedimentos de gerenciamento e eficiência de bateria.
- Usar coletes de voo de material de alta visibilidade, sugerir exibir o nome da empresa e algo como “piloto de drone, por favor, não perturbe” nas costas, também usar qualquer outro EPI necessário.
- Revisar os procedimentos de mistura, carregamento e prontidão de produtos químicos, incluindo seguir todas as instruções da bula.

- Mapeie claramente os obstáculos no controle remoto ou usando o software do drone antes do voo para evitar quedas de drones.

- Para áreas sensíveis, como escolas, aeroportos, edifícios altos, multidões densas, animais, canteiros de obras, etc., siga todos os requisitos/recomendações do rótulo em termos de evitar áreas/amortecedores/espectadores sensíveis para reduzir o potencial de exposição humana e ambiental. Não voe acima das pessoas.

- Defina a trajetória de voo, altura de voo, direção de voo, tamanho da gota e volume de pulverização do drone usando a largura da faixa visada, a geometria do campo, direção do vento, obstáculos, áreas sensíveis, amortecedores, etc. Evite um padrão de voo em zigue-zague, pois ele pode causar aplicação excessiva em cada ponto de virada.

- Teste e verifique a deposição fazendo uma passagem com o drone no padrão de voo desejado e todas as configurações selecionadas

e verifique se a cobertura e a deposição são uniformes e fornecerão o resultado desejado. Usar corante na água com fita de recibo ou papéis sensíveis à água é uma etapa opcional que ajudará a visualizar a deposição. Faça isso no mínimo uma vez por configuração de calibração.

- Carregue as baterias, verifique o desempenho do gerador e da bomba, o nível de combustível e as condições do reboque de mistura, se estiver usando um. Certifique-se de que, se houver algum manuseio de produtos químicos ou manuseio de equipamentos que tenham resíduos potenciais de químicos, como as baterias, use luvas e que as mãos enluvadas não toquem nos resíduos de transferência para novas superfícies (como as telas do controlador do drone). Isso depende do fluxo de trabalho ideal para a operação e pode ser realizado acordando e removendo as luvas no momento certo ou tendo pessoas diferentes realizando essas tarefas.

- Verifique o espaço aéreo e certifique-se de ter autorização para voar e cumprir com qualquer relatório necessário às autoridades locais.

## **Durante e após a aplicação**

- Siga as instruções de uso da bula do produto e o EPI adequado a ser usado para os procedimentos iniciais e subseqüentes de mistura e carregamento. Se possível, prepare a mistura de pulverização em um tanque em uma área delimitada e demarcada, longe de áreas sensíveis, animais, pessoas, etc. Se a mistura for feita no local, garanta o uso de equipamentos de segurança ambiental de precaução, como bandejas de derramamento.

- Ao recarregar produtos químicos, certifique-se antes de se aproximar do drone de que o rotor esteja inativo, verifique o nível de carga da bateria e troque as baterias se necessário (tenha várias baterias recarregadas disponíveis, se possível). Troque a bateria antes de recarregar o líquido, para evitar respingos na parte de conexão de energia do drone.

- Durante a pulverização, o operador e os observadores (aqueles que auxiliam o piloto) devem manter a linha de visada com o drone. Em alguns terrenos de campo (por exemplo, colinas, declives, etc.), isso pode exigir que eles se desloquem ao longo da lateral do campo ou subam em local mais elevado (elevação natural ou plataforma). Evitar ficar a favor do vento do drone, mas no caso de isso não ser possível, o EPI adequado deve ser usado nessas situações.

- Durante uma aplicação, monitore a pulverização para qualquer mau funcionamento ou problemas no equipamento (perda de potência, falha do rotor, bico/atomizador entupido, vazamento etc.), também rastreie a direção do vento e a mudança de velocidade para reduzir o movimento fora do alvo, monitore a temperatura e a umidade do ar para evitar inversões e pare a aeronave (e sistemas de pulverização) imediatamente se um problema for detectado.

- Fazer pausas conforme necessário e evitar fadiga durante as operações é importante.

- Limpeza e manutenção: descarte o líquido restante no tanque de pulverização e equipamento em um local longe de valas e fontes de água para evitar contaminar águas superficiais ou subterrâneas e de acordo com o rótulo do produto fitossanitário ou regulamentações locais (por exemplo, pulverizando em uma área de cultivo). Quando a operação de pulverização for concluída no dia, o equipamento de aplicação deve ser limpo e os resíduos removidos interna e externamente, novamente seguindo a bula, incluindo o uso de EPI adequado. O sistema de pulverização deve ser lavado e encharcado com um agente de limpeza adequado (água e detergente para sprays à base de água ou solvente adequado para sprays à base de óleo). Siga quaisquer instruções adicionais fornecidas pelo seu fabricante ou fornecedor de drone, como monitorar a integridade dos tanques de plástico, especialmente se usar solventes.

- Após a limpeza, verifique todos os equipamentos para quaisquer possíveis reparos ou necessidades de manutenção necessárias antes da próxima aplicação.

## Manutenção de registros

- Cumpra todos os requisitos exigidos pelos regulamentos regionais, se houver, em relação à manutenção de registros por usuários profissionais de produtos fitossanitários.

- Antes de deixar o local da aplicação, todos os registros de atividade de voo e aplicação do produto devem ser preenchidos e entregues ao proprietário do campo tratado e às autoridades competentes, se assim for exigido pelos regulamentos regionais. A manutenção de registros é um dos meios mais importantes de rastrear informações sobre a aplicação.

- Os registros de voo devem incluir data e hora de cada voo, piloto no comando, bem como uso e consumo da bateria para cada voo.

- As aplicações do produto devem incluir no mínimo o seguinte:

- nome da empresa;
- data, hora, local e duração da aplicação;
- tipo de cultura, estágio de desenvolvimento da cultura, objetivo da aplicação;
- nome do aplicador e número da licença;
- nome(s) do(s) assistente(s) e função(ões);
- condições ambientais (temperatura, velocidade do vento, direção do vento, umidade relativa, tipo de solo e umidade, nível de nuvens e uso do solo ao redor) e a altura/localização/equipamento usado para coletar essas informações;
- equipamento de drone usado, incluindo modelo, configuração, tipos de bico/atomizador, entre outras informações;
- parâmetros operacionais (por exemplo: altura de voo, velocidade de trabalho, tamanho da gota, ângulos de pulverização, taxa de rotação para tipos de atomizador rotativo, taxa de aplicação);
- produto usado;
- volume total aplicado;
- produto total aplicado;
- mapa de voo da área pulverizada.

## Anexo 2

### CHECKLIST 2 – Planilha.

Obs.: alguns itens são específicos para alguns tipos de drones.

Data da operação: \_\_\_\_\_ Horário: \_\_\_\_\_

Protocolo voo SARPAS: \_\_\_\_\_ Código do piloto: \_\_\_\_\_

#### VERIFICAÇÃO PRÉ-VOO

Instruções para a equipe

- Operação de celulares no modo NÃO PERTURBAR
- Verificar o espaço aéreo
- Confirmar o método de comunicação (controle/celular, RCN)
- Confirmar o método de posicionamento (RTK, GPS)
- Discutir o plano de voo e objetivos, funções e responsabilidades
- Observar as condições: geografia, clima, estado mental do pessoal
- Observar os perigos: pessoas, objetos, animais, limitações visuais, etc.
- Condições climáticas: \_\_\_\_\_
- Outras notas: \_\_\_\_\_

#### VERIFICAÇÃO DA BATERIA

- Bateria de voo: carga mínima de 90%
- Bateria do controle remoto: carga mínima de 75%
- Controle/smartphone/tablet: carga mínima de 75% (se aplicável)
- Antena RTK: carga mínima de 80% (se aplicável)
- Gerador: combustível suficiente para a operação e o nível de óleo do motor adequado.

#### CONFIGURAÇÃO BASE RTK (SE APLICÁVEL) E CONTROLE REMOTO

- Encontre um local que forneça uma linha de visão aberta entre RTK, drone e controle.
- Escolha um local limpo e plano com espaço aberto acima. Não deve haver obstáculos acima do ângulo de elevação de 15° para rastreamento e observação contínuos dos satélites e sinal de satélite de alta qualidade.
- Configure o tripé com segurança com o nível de bolha centralizado.
- Conecte a haste de extensão RTK e a antena e ligue.
- NÃO MOVA A ESTAÇÃO BASE RTK!
- Abra o aplicativo no controle.
- Abra os dispositivos.
- Selecione o dispositivo RTK.
- Clique em Definir Datum, selecione o Tipo de Datum desejado.
- Confirme se o RTK está FIXO e ativo.
- Defina a estação base RTK (drone e controle remoto)

#### MECÂNICO

- As baterias não apresentam luzes de erro e não há danos físicos ou inchaço.
- A bateria em operação está bem presa ao drone.

- O GPS e as antenas de voo estão conectados e livres de defeitos
- Os atomizadores giratórios não apresentam defeito, obstrução ou barulho anormal.
- A folga de aperto das hélices (calço do motor) é aceitável.
- As hélices estão limpas e em boas condições de uso.
- As hélices estão na posição rotacional correta: braço direito – CCW e esquerdo – CW.
- Os protetores de hélice foram retirados.
- Trem de pouso seguro, sem rachaduras ou danos.
- Certifique-se de que o sensor de prevenção de obstáculos, o sensor de terreno e a lente da câmera estejam limpos.
- O sistema de pulverização / Atomizadores calibrado e testado.
- Realizado o teste de motor para garantir que esteja funcionamento normalmente:  
Diferença de rotação entre motores < 50 rpm; Corrente (A) < 2A; Temperatura < 90°C.

#### LINHA DE VOO

- Reconfirme o isolamento da área de pouso/decolagem (30 m), verifique a presença de pessoas não anuentes à operação.
- LIMPE A LINHA DE VOO e garanta uma distância segura de pelo menos 10 m de operadores e obstáculos.
- Coloque a aeronave em uma superfície nivelada com a cauda voltada para o operador, numa distância segura de pelo menos 10 m de operadores, espectadores e obstáculos
- Certifique-se de que o controle esteja emparelhado com a aeronave e pronto para operar manualmente durante uma emergência.
- Certifique-se de que o tanque de pulverização esteja totalmente inserido, cheio e que o cabo do sensor de nível esteja conectado.
- Certifique-se de que todos os dispositivos estejam online sem erros.

#### CONFIRME TODOS OS SISTEMAS PRONTOS

- Confirme o tipo de operação (manual ou automatizada).
- GARANTA DE QUE TODOS OS SISTEMAS FUNCIONEM - Notifique os não participantes para permanecerem atrás da linha de voo.
- Operação manual: segure ambos os gatilhos do controle por 3s para iniciar a decolagem.
- Operação automatizada: clique em "Iniciar operação" e siga as instruções para a decolagem.
- Garanta o manuseio e comportamento adequados da aeronave.
- Conduza a missão de voo desejada.

#### OPERAÇÕES PÓS-VOO - O PILOTO EM COMANDO DEVE PERMANECER NA POSSE DO CONTROLE REMOTO/APLICATIVO

- Pouso manual (caso perceba necessidade, como desvio de rota, risco inesperado, etc).
- Pouso automático: monitore o pouso e esteja preparado para intervir com o controle, se necessário; deixe a aeronave pousar e os rotores pararem completamente.
- Desligue a bateria de voo e remova
- Fazer o processo de limpeza das bombas, mangueiras e atomizadores com água e detergente neutro sempre no final do dia deixando todos os sistemas sem resto de defensivos.

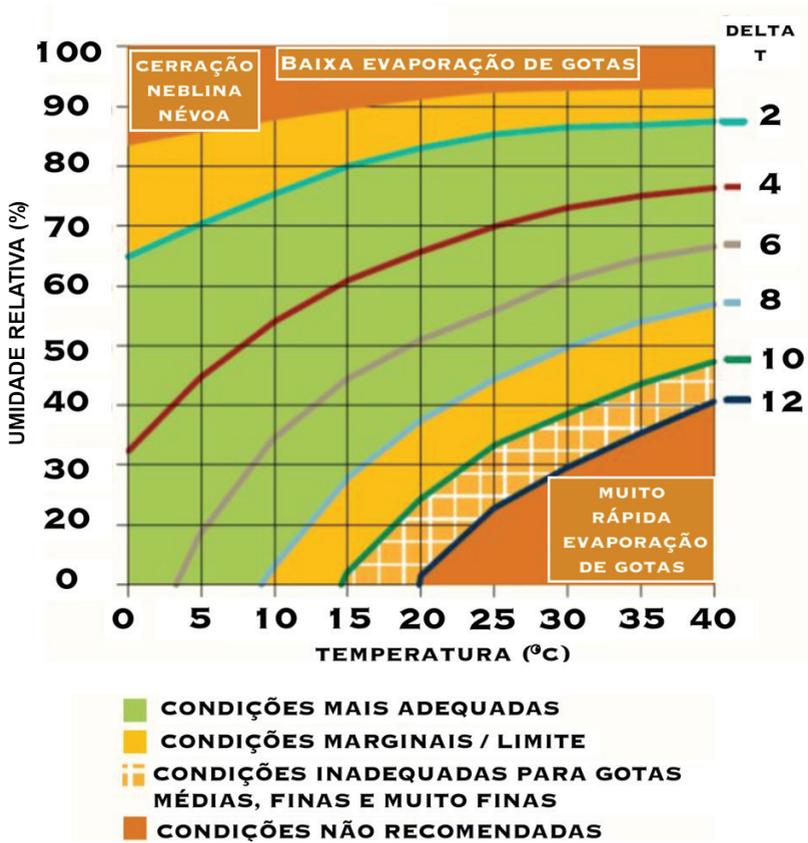
## Anexo 3

---

### Delta T

O Delta T é uma medida que leva em conta os efeitos combinados da temperatura e da umidade relativa, indicando se as condições climáticas são adequadas para a pulverização, a fim de maximizar o desempenho dos produtos aplicados.

O cálculo do Delta T requer um sensor que meça a temperatura do ar e a umidade relativa, ou pode ser obtida a partir da diferença entre as temperaturas de termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. O Gráfico 1 indica as recomendações para a aplicação segundo o Delta T. Comumente indica-se pulverizar quando o Delta T está entre 2 e 8. Um valor de Delta T acima de 8 está associado a temperaturas mais altas e umidade relativa mais baixa, se inferior a 2 está relacionado com valores elevados de umidade relativa. Para uma pulverização mais eficaz combine o Delta T com mais parâmetros meteorológicos, como por exemplo, velocidade e direção do vento, evitando condições de vento acima de 10 km/h (com rajadas acima de 15 km/h) ou demasiado calmas, abaixo de 3 km/h.



## **DELTA T DEMASIADO BAIXO**

- A sobrevivência das gotas será muito longa, levando ao aumento do potencial de deriva - evite pulverizar com umidade relativa > 95%.

- A pulverização pode escorrer da folha por causa do orvalho ou do nevoeiro.

- Evitar a pulverização durante condições de vento calmo, devido a possibilidade de camada de inversão térmica, que aumenta risco de deriva.

## **DELTA T DEMASIADO ALTO**

- Evitar valores superiores a 10.

- Impacto potencial na sobrevivência das gotas e na taxa de evaporação: as gotas de pulverização evaporarão no ar ou da superfície da planta antes que esta tenha tempo de entrar no tecido vegetal.

- Situações de estresse, desfavoráveis para a absorção dos produtos pela planta.

