

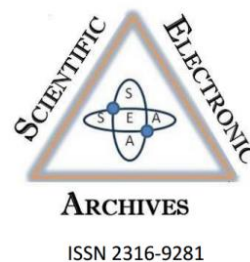
Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 18 (1)

January/February 2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/18120252017>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/2017>



Tecnologia de drones voltada para pulverização agrícola

Drone technology aimed at agricultural pulverization

Corresponding author

Felipe Salis de Oliveira

Universidade do Estado da Bahia

felipesalis@yahoo.com

João Pedro de Santana Junior

Universidade do Estado da Bahia

Luan de Jesus Rosa

Agroindústria Do Vale Do São Francisco

Acácio Figueiredo Neto

Universidade Federal do Vale do São Francisco

Flávio José Vieira de Oliveira

Universidade do Estado da Bahia

Resumo. O uso de drones na pulverização agrícola está se tornando uma alternativa sustentável e eficiente em comparação aos métodos tradicionais. A pulverização aérea com drones oferece várias vantagens, incluindo maior uniformidade na aplicação de produtos químicos, menor impacto ambiental e redução de danos às culturas. Além disso, os drones podem operar em áreas de difícil acesso, otimizando o tempo e minimizando a exposição dos trabalhadores a substâncias tóxicas. Essa tecnologia utiliza sensores e câmeras multiespectrais para ajustar a quantidade e o tipo de produto aplicado, aumentando a precisão e reduzindo o uso excessivo de insumos. Estudos destacam que a pulverização por drones reduz significativamente a deriva de pesticidas, garantindo uma aplicação mais controlada e diminuindo o risco de contaminação ambiental. A eficiência energética também é uma vantagem, com a diminuição do consumo de água e produtos químicos. Contudo, a implementação de drones enfrenta desafios, como a curta duração da bateria, limitações regulatórias e a necessidade de infraestrutura tecnológica para processar grandes volumes de dados. Condições climáticas adversas também podem afetar a operação dos drones, impactando a eficácia da pulverização. No geral, a adoção de drones na agricultura representa um avanço significativo rumo a práticas mais seguras e sustentáveis, mas ainda requer ajustes e regulamentações específicas para maximizar sua eficiência.

Palavras-chave: Drone, pulverização agrícola, eficiência, insumos

Abstract. The use of drones in agricultural spraying is becoming a sustainable and efficient alternative to traditional methods. Aerial spraying with drones offers several advantages, including greater uniformity in the application of chemicals, lower environmental impact, and reduced damage to crops. In addition, drones can operate in areas that are difficult to access, optimizing time and minimizing worker exposure to toxic substances. This technology uses sensors and multispectral cameras to adjust the amount and type of product applied, increasing precision and reducing the excessive use of inputs. Studies show that drone spraying significantly reduces pesticide drift, ensuring more controlled application and reducing the risk of environmental contamination. Energy efficiency is also an advantage, with reduced consumption of water and chemicals. However, the implementation of drones faces challenges, such as short battery life, regulatory limitations, and the need for technological infrastructure to process large volumes of data. Adverse weather conditions can also affect drone operations, impacting spraying effectiveness. Overall, the adoption of drones in agriculture represents a significant step forward towards safer and more sustainable practices, but it still requires specific adjustments and regulations to maximize its efficiency.

Keywords: Drone, agricultural spraying, efficiency, inputs

Contextualização e análise

A busca por abordagens mais sustentáveis e eficazes para mitigar as ineficiências das metodologias tradicionais de pulverização, bem como para enfrentar os desafios ambientais associados a essas práticas, está se tornando uma prioridade crescente no setor agrícola. As técnicas convencionais de pulverização, como o uso de tratores e pulverizadores terrestres, ainda predominam no cenário agrícola atual, porém, apresentam limitações significativas, incluindo a dispersão desigual dos produtos químicos, o risco de exposição dos operadores a substâncias tóxicas e danos mecânicos às culturas.

Nesse contexto, a adoção de veículos aéreos não tripulados (VANT), como os drones, desponta como uma alternativa viável, com um potencial considerável para responder a esses desafios de forma mais eficiente e precisa (NIKAM et al., 2024).

A pulverização aérea agrícola envolve a dispersão de produtos como fertilizantes, pesticidas, fungicidas e outros agentes de proteção diretamente sobre as plantações, utilizando aeronaves especializadas (YUBIM et al., 2010). Comparada aos métodos tradicionais, essa técnica apresenta vantagens substanciais, incluindo maior uniformidade na aplicação dos insumos e redução do impacto físico sobre as culturas, evitando danos que frequentemente ocorrem quando se utilizam maquinários terrestres. A eficácia na deposição dos pesticidas é também aumentada, uma vez que a pulverização aérea proporciona uma cobertura mais homogênea e uma melhor penetração dos produtos químicos nas folhagens (YAN et al., 2021). Também se destacam pelo seu design modular e escalável, que permite a adaptação de diversos tipos de bicos e sensores para ajustar a aplicação conforme a necessidade específica do campo, como variabilidade de culturas e condições climáticas. Essas aeronaves não tripuladas são capazes de operar em terrenos irregulares e áreas inacessíveis para maquinários tradicionais, aumentando significativamente a eficiência da pulverização em grandes extensões de terra e em menos tempo. Essa tecnologia facilita a realização de aplicações mais precisas e reduzidas, minimizando o uso excessivo de produtos químicos e, conseqüentemente, o impacto ambiental (LEE; PHANG; MUN, 2020; RAGIMAN, 2023).

Além disso, a pulverização adaptável dos VANTs permite uma resposta em tempo real às condições do campo, utilizando dados capturados por câmeras multiespectrais e outros sensores embarcados para ajustar automaticamente a quantidade e o tipo de insumo a ser aplicado. Isso não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis, com menor contaminação ambiental e redução dos custos associados ao desperdício de insumos. Por outro lado, a pulverização terrestre, apesar de ainda amplamente utilizada, apresenta

problemas críticos, como a exposição direta dos operadores aos pesticidas, que é um fator de risco à saúde, e a distribuição desigual dos produtos devido às variações no terreno e na densidade das plantas.

A integração de drones na pulverização agrícola está se consolidando globalmente como uma inovação disruptiva, proporcionando um controle mais preciso sobre as operações de campo e elevando a produtividade agrícola. A adoção dessa tecnologia pode transformar significativamente as práticas de manejo de culturas, promovendo uma agricultura de precisão que responde de maneira mais eficaz às crescentes demandas por eficiência, sustentabilidade e segurança alimentar (BORYSENKO et al., 2023).

Esta revisão de literatura traz como objetivo analisar os avanços tecnológicos no uso de drones para pulverização agrícola, comparando sua eficiência e impacto ambiental em relação aos métodos tradicionais, avaliando os benefícios econômicos, os desafios regulatórios e técnicos.

Métodos

A presente revisão apresenta um exame exploratório de caráter qualitativo e informativo, concentrando-se nas características associadas ao conceito fundamental da eficiência drones agrícolas. A análise de dados qualitativos desempenha um papel crucial na disseminação de evidências científicas pertinentes ao assunto da investigação (PEREIRA et al., 2018).

A análise bibliográfica que reforça esta pesquisa foi realizada por meio de exploração eletrônica utilizando a plataforma Scispace, Google Scholar, periódicos CAPS e artigos Scielo. Para a identificação de trabalhos relevantes, os seguintes descritores foram empregados como fontes de pesquisa: agricultura de precisão, pulverização aérea e drones agrícolas. No critério de seleção, foram priorizadas referências que abordassem questões relativas à pulverização aérea envolvendo drones em sistemas agrícolas. Por outro lado, fontes que não estavam em conformidade com os objetivos do estudo, estavam fora do prazo designado ou foram apresentadas em um idioma diferente do especificado foram sistematicamente excluídas.

Em termos de análise e interpretação dos resultados, uma avaliação metódica foi realizada para organizar e sintetizar as informações encontradas nas fontes. Essa metodologia foi projetada para facilitar a extração de respostas ao problema central de pesquisa.

Início da pulverização aérea

A primeira vez que a aviação agrícola foi utilizada no mundo foi em 1911, idealizada pelo agente florestal alemão Alfred Zimmermann, com o objetivo de proteger florestas de pinheiros em seu país. No entanto, a ideia foi colocada em prática somente em 3 de agosto de 1921, em Troy, nos Estados Unidos, quando ocorreu o primeiro voo

experimental organizado pela Aviação do Exército e pelo Departamento de Agricultura dos EUA, visando proteger florestas de catalpa contra infestações de larvas de mariposas (MAPA 2023)

O uso de aviões para fins agrícolas teve início na Europa e nos Estados Unidos após a Primeira Guerra Mundial, mas foi somente após a Segunda Guerra que essa tecnologia se consolidou globalmente no setor agrícola, incluindo o Brasil. Com o término da Segunda Guerra Mundial, houve um excedente de aviões e pilotos disponíveis. Esse cenário, combinado com o avanço da indústria agroquímica, o progresso das tecnologias náuticas e o aumento da demanda por alimentos, fibras e energia, fez com que a aviação agrícola se tornasse economicamente viável para os produtores e essencial para a economia (FURTADO; HOFF, 2017).

A aviação agrícola no Brasil teve seu início em 1947, na cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul. Naquele período, a região enfrentava uma severa infestação de gafanhotos, que frequentemente destruía a produção agrícola. Diante da ineficácia das técnicas convencionais de combate, o agrônomo Leôncio Fontelles, do Ministério da Agricultura, em colaboração com o piloto Clovis Candiota, instalou um equipamento encomendado por Fontelles em um biplano Muniz M-9, pertencente ao Aeroclube de Pelotas, com base em experiências de operações aeroagrícolas de outros países (MAPA 2023)

Com a ampliação da fronteira agrícola, especialmente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Bahia, entre outros, surgiram oportunidades promissoras para a aviação agrícola. Essa modalidade de agricultura se desenvolveu nessas áreas, principalmente devido ao tipo de relevo predominante e ao tamanho das propriedades, que têm como foco principal o cultivo da soja (SCHMIDT, 2006).

E com o incremento da agricultura de precisão há maior eficiência no que diz a respeito das técnicas de manejo adotadas, como a pulverização, é cada vez mais comum adoção deste tipo de aplicação em função da disponibilidade de drones, que evidentemente vem facilitando este trabalho pela facilidade e menor custo em relação ao uso de aviões bem como maior segurança.

Vantagens dos drones em relação aos métodos tradicionais

A utilização de veículos aéreos não tripulados (UAVs) comumente chamados de drones) no setor agrícola para fins de proteção de plantas é cada vez mais reconhecida como uma ferramenta inovadora que ganhou destaque substancial em várias nações do mundo. Esse aumento na popularidade pode ser atribuído às inúmeras vantagens oferecidas por essa tecnologia quando justaposta às metodologias de tratamento convencionais. A aplicação aérea de pesticidas é predominantemente empregada em culturas extensivas e expansivas, particularmente em

cenários em que a aplicação no solo se mostra impraticável ou ineficaz, bem como nos casos em que a implantação de equipamentos terrestres é inviável devido a condições climáticas adversas, características específicas do terreno e outros fatores semelhantes. (BORYSENKO et al., 2022; WANG et al., 2019) Os pulverizadores convencionais utilizados em pomares geralmente distribuem a pulverização horizontalmente sobre o dossel da cultura, resultando em uma parte significativa do volume aplicado sendo dispersa por deriva. Em contraste, os UAVs realizam a pulverização de forma vertical, direcionando o produto para baixo sobre a cultura com o auxílio do fluxo de ar descendente gerado pelos rotores. Esse fluxo de ar descendente pode facilitar a penetração da pulverização no dossel, reduzindo a deriva aérea. Em situações específicas, a adoção de pulverizadores UAV pode contribuir para a diminuição do uso de defensivos agrícolas, protegendo e ampliando áreas de interesse ambiental adjacentes às zonas agrícolas (SANCHEZ-FERNANDEZ et al.,)

Os drones são amplamente utilizados na agricultura para auxiliar na aplicação de insumos agrícolas. Essa tecnologia permite cobrir vastas áreas em um curto período, o que pode aumentar a produtividade e diminuir os custos com mão de obra (Dayana et al., 2022). A aplicação aérea de defensivos agrícolas proporciona soluções econômicas, flexíveis e eficazes, evitando danos às culturas e à estrutura física do solo durante o processo, quando comparada às tecnologias de pulverização terrestre (Lan et al., 2017; Zhang et al., 2019).

De acordo com o estudo de Ramesh et al., (2024) que buscou aumentar a dosagem do herbicida e da solução de pulverização para obter o manejo ideal de ervas daninhas na agricultura de feijão-mungo, por meio da aplicação da tecnologia de drones. Observou-se que a eficiência de utilização de energia associada à aplicação de herbicida assistida por drones indicou que o tratamento da pendimetalina a uma taxa de 0,75 kg/ha combinado com um volume de pulverização de 60 litros/ha exibiu eficiência energética superior, em comparação com tratamentos alternativos, atribuível principalmente à redução nas entradas de energia, incluindo herbicida, água e mão de obra, para controle de ervas daninhas, em oposição à aplicação manual de pendimetalina a 1,0 kg/ha com um volume de pulverização de 500 litros/ha. Da mesma forma, Paul et al., (2023) também documentaram as eficiências energéticas associadas à utilização de drones para aplicação de herbicidas no cultivo de arroz.

Adaptação e tecnologia de aplicada a drones

Uso de equipamentos que fornece ajuste dinâmico da aplicação de insumos conforme a variabilidade das condições de campo e culturas, é fundamental quando busca eficiência das atividades agrícolas.

A pesquisa conduzida por Wang et al. (2023) busca elucidar a influência de vários tipos de bicos em drones para pulverização na deriva de gotículas durante a aplicação em túneis de vento submetidos a velocidades de 1,5 m/s, 2,5 m/s e 3,5 m/s. No caso de bicos hidráulicos operando em faixas de pressão de 0,2 a 0,3 MPa, com variações na vazão e nas dimensões das gotículas, e já os bicos centrífugos que trabalha entre 4.000 rpm e 12.000 rpm, em variados de gotas, e onde todos os bicos foram ao uso condicionado adjuvantes, observou-se que um bocal hidráulico caracterizado pelo seguinte parâmetros: Pressão: 0,3 MPa, vazão: 0,39 L/min e tamanho de gotícula: $266,3 \pm 0,7 \mu\text{m}$ produziram resultados superiores em todas as condições de vento, em conjunto com um auxílio de pulverização que contribuiu significativamente para a minimização da deriva. Ao avaliar vários adjuvantes, foi determinado que os óleos vegetais exibiram as propriedades anti-deriva mais eficazes. Estudos anteriores indicam que o desempenho da pulverização é influenciado por fatores como o tipo de bico, a calda utilizada e a pressão aplicada durante o processo. A composição do líquido de pulverização, especialmente quando adjuvantes são adicionados, também impacta significativamente o desempenho e a eficácia contra a deriva, modificando propriedades como viscosidade, tensão superficial e homogeneidade da solução (SCHAMPHELEIRE et al., 2009; SPANOGHE et al., 2007)

Contudo é importante ressaltar que durante a avaliação da deriva, os experimentos de campo representam um método importante, complementando os testes realizados em túnel de vento (WANG et al., 2018).

Atualmente, a pesquisa sobre as características de deriva em aplicações de pulverizadores UAV tem focado, principalmente, nos efeitos das diferentes condições meteorológicas, parâmetros de voo e modelos de pulverização sobre essa deriva. (WANG et al. 2021) apontaram que o uso de bicos de leque plano reduziu a porcentagem de deriva de pulverização em 81 a 95%, além de melhorar a eficiência na utilização de pesticidas, quando comparado aos bicos cônicos. Ademais, para bicos de leque plano, verificou-se que a deriva gerada pelos bicos de leque plano padrão foi aproximadamente duas vezes maior em relação àqueles equipados com indução de ar (JOMANTAS et al., 2023).

Impactos ambientais

É necessário capacitar os agricultores com métodos agrônômicos seguros para impulsionar a produção agrícola e o desempenho operacional. A utilização de fertilizantes e inseticidas constitui um esforço notavelmente trabalhoso. (WAQAS et al., 2016)

Aqueles que se dedicam à agricultura devem demonstrar notável atenção, principalmente ao manusear pesticidas, o que envolve o emprego de roupas de segurança, máscaras, luvas e

ferramentas relacionadas, para evitar efeitos nocivos em seu bem-estar (SADHANA et al., 2017). Já que a deriva de pulverização pode resultar na contaminação da água superficial e do ar, deixando resíduos químicos e impondo riscos tanto ao meio ambiente quanto à saúde dos operadores, transeuntes e animais (EL-ZAEMEY ET AL., 2013; SULTAN ET AL., 2023).

A aplicação manual de agrotóxicos apresenta várias desvantagens para os indivíduos envolvidos nessa atividade. Os sintomas de exposição podem incluir irritação dérmica leve, anomalias congênitas, condições cancerígenas, mutações genéticas, distúrbios hematológicos e neurológicos, disfunções endócrinas, perda de consciência ou até mortalidade (RANA, 2018). No entanto, os processos de triagem de campo, aplicação de pesticidas e distribuição de fertilizantes podem ser automatizados por meio da implementação da tecnologia de drones (VEROUSTRAETE, 2015).

A adoção de veículos aéreos não tripulados no setor agrícola promove uma maior precisão nas operações, aumenta a eficiência operacional, amplia a acessibilidade e a viabilidade econômica, assegura maior segurança e proporciona uma coleta de dados superior, incluindo a possibilidade de monitoramento em tempo real. Elaboramos recomendações destinadas a simplificar a implementação de drones agrícolas, uma prática inovadora no contexto agroindustrial, ao mesmo tempo que buscamos mitigar os riscos potenciais para os trabalhadores, a população em geral e o ecossistema. (BORYSENKO et al., 2023).

Desafios e limitações

A duração limitada da bateria dos drones restringe a área que podem cobrir em um único voo. Para grandes propriedades agrícolas, é necessário realizar múltiplos voos e substituições frequentes de baterias, o que aumenta a complexidade operacional e os custos. Tal limitação representa um desafio considerável para a adoção generalizada da tecnologia de drones na agricultura. (DOGALLI et al., 2024).

A operação de drones em ambientes agrícolas exige o cumprimento dos regulamentos locais de aviação. Restrições relacionadas à altitude de voo, proximidade de áreas urbanas e zonas de exclusão aérea podem limitar o uso desses dispositivos. Além disso, o processo de obtenção das permissões e licenças necessárias pode ser complexo (BENSON, 2016).

Nos países onde as tecnologias de aplicação de pesticidas por UAV estão em fase de implementação ativa, os pesticidas prioritários para registro são, geralmente, aqueles previamente autorizados para uso em métodos aéreos convencionais. As autoridades reguladoras responsáveis avaliam a adequação dos produtos fitossanitários para aplicação por drones agrícolas, estabelecendo diretrizes adicionais ou requisitos específicos que assegurem sua utilização de forma

segura e eficiente. Além disso, desenvolvem instruções detalhadas para o uso, identificam fatores ambientais restritivos e definem as medidas de segurança necessárias para a operação. (BORYSENKO et al., 2023).

Imagens de alta resolução exigem uma capacidade substancial de armazenamento e processamento. A administração e análise de grandes quantidades de dados podem constituir um desafio significativo, especialmente para agricultores que carecem de recursos computacionais avançados. Essa dificuldade se intensifica devido à necessidade de processar os dados em tempo real, com o objetivo de possibilitar decisões rápidas e eficazes (DI GENNARO et al., 2022; SAURA et al., 2019).

As operações de drones são fortemente influenciadas pelas condições climáticas. Ventos intensos, chuvas e neblina podem comprometer a realização dos voos e prejudicar a qualidade das imagens obtidas. Essa limitação pode retardar a detecção e a intervenção em doenças, afetando a eficácia das estratégias de manejo de patologias (DOGGALLI et al., 2024)

O investimento inicial em drones, câmeras e softwares podem ser significativos. Para fazendas de pequeno e médio porte, pode ser difícil justificar esses gastos sem uma comprovação clara de retorno econômico. (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON 2019)

Incorporação de tecnologia no aporte do manejo de pragas e doenças

A tecnologia de drones desempenha um papel fundamental no monitoramento e gerenciamento de doenças em ambientes agrícolas, facilitando a aquisição de imagens aéreas de alta resolução e empregando sensores para a detecção de populações de pragas. Esse aprimoramento tecnológico apoia o uso ambientalmente criterioso de pesticidas, equipando os agricultores com informações cruciais para realizar intervenções oportunas contra infestações (ANEJA; CHOPRA 2019)

O potencial dos drones de incorporar câmeras, sensores e mecanismos de dispensação facilita a coleta e análise de dados, em conjunto com a entrega precisa e oportuna de tratamentos. Eles conferem inúmeras vantagens, incluindo maior precisão, eficiência de tempo, redução de custos e promoção da sustentabilidade (FILHO et al., 2019)

A abordagem utilizada para a detecção de doenças de plantas é caracterizada por uma metodologia sistemática que inclui aquisição de imagens, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação. Na fase preliminar, os drones capturam imagens que são essenciais para o desenvolvimento de um conjunto de dados abrangente (VAIRAVAN et al., 2024; SUTHAN et al., 2021)

As técnicas de processamento de pré-imagem, que envolvem redução e redimensionamento de ruído, melhoram

significativamente a qualidade da imagem, facilitando assim a análise precisa da doença (ZHANG et al., 2020; JIANG et al., 2019)

Os sistemas de imagem térmica montados em drones são capazes de identificar discrepâncias de temperatura dentro da copa das plantações. As plantas doentes normalmente exibem perfis de temperatura distintos atribuíveis a alterações na transpiração e nas atividades metabólicas (DOGGALLI et al., 2024)

As imagens RGB podem ser processadas para gerar representações detalhadas da saúde das culturas. Algoritmos computacionais podem avaliar essas imagens para identificar indicadores de doenças como manchas foliares, infestações de pragas e míldio (HUNT; DAUGHTRY 2018)

Os esforços de mapeamento e monitoramento ajudam os agricultores e agrônomos a rastrear a progressão de doenças e a elaborar intervenções direcionadas. Por exemplo, mapas georreferenciados podem ilustrar a disseminação da ferrugem da soja, facilitando a aplicação precisa de fungicidas (WEST et al., 2015). Dados de séries temporais também podem ser utilizados para prever futuros surtos e otimizar estratégias de gerenciamento de doenças (KAMILARIS et al., 2018).

O uso de drones na pulverização agrícola tem se mostrado uma alternativa eficiente em relação aos métodos tradicionais, trazendo diversas vantagens e alguns desafios. Em termos de precisão e eficiência, a pulverização com drones oferece uma aplicação mais uniforme de produtos químicos, o que evita danos às culturas e aumenta a qualidade do processo. Uma das principais vantagens é a capacidade de operar em áreas de difícil acesso, como terrenos irregulares, otimizando o tempo e reduzindo a exposição dos trabalhadores a produtos tóxicos, já que o drone realiza o trabalho remotamente.

Diversas pesquisas indicam que a aplicação de UAVs para pulverização oferece várias vantagens em relação aos sistemas tradicionais de pulverização terrestre, principalmente quando se faz uma comparação com os pulverizadores de pomar (FERNÁNDEZ ET AL., 2023; WANG ET AL., 2018; SARRI ET AL., 2019; XIAO ET AL., 2020). Além disso, a redução do impacto ambiental é outro ponto importante, já que os drones minimizam a deriva de pesticidas. Isso ocorre porque eles ajustam automaticamente a quantidade e o tipo de produto aplicado de acordo com dados capturados por sensores e câmeras multiespectrais, o que garante um controle mais preciso da pulverização. Com isso, o risco de contaminação ambiental é reduzido significativamente.

A implementação de UAVs para pulverização em pomares de oliveiras pode reduzir o impacto ambiental dessas práticas em determinadas condições, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Vários estudos têm sido realizados sobre a deriva gerada

por pulverizadores de UAV (LIU et al., 2020; WANG et al., 2021; DENERU et al., 2022; LI et al., 2022)

Outro benefício identificado nos estudos é a economia no uso de insumos, pois os drones utilizam menos água e produtos químicos, otimizando o processo e tornando-o mais sustentável.

Por outro lado, a implementação dessa tecnologia ainda enfrenta alguns desafios. A curta duração da bateria dos drones limita a área que pode ser coberta em um único voo, exigindo múltiplas substituições de bateria em propriedades maiores, o que pode aumentar os custos e a complexidade operacional. Outro obstáculo está relacionado às regulamentações.

O uso de drones na agricultura precisa atender às normas de aviação locais, o que pode ser um processo burocrático e demorado. Além disso, fatores climáticos, como vento e chuva, podem interferir na operação dos drones, afetando a qualidade da pulverização e dificultando o planejamento.

O potencial dessa tecnologia para o monitoramento em tempo real das condições de campo, promovendo uma agricultura de precisão que responde de forma mais eficaz às demandas atuais por segurança alimentar e sustentabilidade. A utilização de sensores e câmeras embarcadas permite que o drone ajuste a pulverização conforme a necessidade específica de cada plantação, promovendo uma abordagem personalizada e eficiente.

Considerações finais

Em conclusão, o uso de drones na pulverização agrícola tem se destacado como uma solução inovadora e eficiente, capaz de transformar práticas agrícolas tradicionais. Essa tecnologia oferece maior precisão, reduz o impacto ambiental e otimiza o uso de insumos, proporcionando benefícios econômicos e sustentáveis. Contudo, apesar dessas vantagens, a implementação generalizada ainda enfrenta desafios, como a curta duração da bateria, limitações regulatórias e a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada. À medida que a tecnologia de drones continua a evoluir e a regulamentação se adapta, é possível que essa abordagem se torne cada vez mais comum e acessível, contribuindo para um futuro agrícola mais sustentável e eficiente.

Referências

ANEJA M, CHOPRA S. Precision Agriculture: A Sustainable Approach for Smart Farming. (org) In Wireless Sensor Networks: Theory to Applications. Academic Press. p. 81-101, 2019

BENSON, A. Drones in Agriculture: Implications of a New FAA Decision for Aerial Imagery. Farm Journal, 2016.

BORYSENKO, A. A. ANTONENKO, A. M. OMELCHUK, S. T. et al. rationale for

recommendations for safe aerial application of pesticides used by unmanned aerial vehicles (uav). National Medical University Bulletin. Vinnytsia. v. 27, 2023.

BORYSENKO, A. ANTONENKO, A. OMELCHUK, S. BILOUS, S. MELNYCHUK, F. Ecological and hygienic assessment and regulation of innovative technology of pesticide application by means of unmanned aerial vehicles. Rawal Medical Journal, n. 47, v. 1, p. 213-213, 2022.

DAYANA, K. RAMESH, T. AVUDAITHAI, S. SEBASTIAN, S. P. RATHIKA, S. Feasibility of using drone for foliar nutrient spraying in irrigated greengram. Ecology, Environment and Conservation v. 28, p. 548–553, 2022.

DENERU, Y. et al. Study on spray deposition and drift characteristics of UAV agricultural sprayer for application of insecticide in redgram crop (Cajanus cajan L. Millsp.). Agronomy, v. 12, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12123196.

DE SCHAMPHELEIRE, M. NUYTTENS, D. BAETENS, K. CORNELIS, W. GABRIELS, D. SPANOGHE, P. Effects of pesticide spray drift on the physicochemical properties of the spray solution. Precise. Ag, v.10, p, 409–420. 2009

DI GENNARO, S. F.; TOSCANO, P.; GATTI, M.; PONI, S.; BERTON, A.; MATESE, A. Spectral comparison of UAV-Based hyper and multispectral cameras for precision viticulture. Remote Sensing, v. 14, n. 3, p. 449, 2022.

DOGGALLI, G. SANTHOSHINII, E. MANOJKUMAR, H. G. SRIVASTAVA, M. GANESH, H. S. BARIGAL, A. ANITHAA, V. AMEEN, A. KUNDU, R. Drone Technology for Crop Disease Resistance: Innovations and Challenges. Sci. Res. Rep., vol. 30, no. 8, pp. 174-180, 2024

EL-ZAEMEY, S.; HEYWORTH, J.; FRITSCHI, L. Noticing pesticide spray drift from agricultural pesticide application areas and breast cancer: a case-control study. Australian and New Zealand Journal of Public Health, v. 37, n. 6, p. 547-555, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12111>.

FILHO F H. L. HELDENS, W. B. KONG, Z. D. E LANGE, E. S. Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. Journal of Economic Entomology. n. 1, v. 113, p. 1-25, 2019.

FURTADO, R. D.; HOFF, R. B. Pátio de descontaminação de aeronaves agrícolas Evolução técnica e legal 1. p. 74–85, 2017.

História da aviação agrícola, Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), disponível em. <https://encurtador.com.br/8eGHQ>. Acesso em 20 set, 2024.

- JIANG, X. ZHANG, C. YANG, C. et al. Plant disease identification method based on deep learning and convolutional neural network. In 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). P. 659-663, 2019.
- JOMANTAS, T. et al. The Influence of Newly Developed Spray Drift Reduction Agents on Drift Mitigation by Means of Wind Tunnel and Field Evaluation Methods. *Agriculture*, v. 13, n. 2, 349, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020349>
- KAMILARIS, A. et al. A review on the use of unmanned aerial vehicles and artificial intelligence to study crop growth in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 147, p. 128-141, 2018.
- LAN, Y.; CHEN, S.; FRITZ, B. K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 10, n. 3, p. 1-17, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3088>
- LEE, C. H. S. PHANG, S. K. MUN, H. K. Design and Implementation of Agriculture UAV with optimized spray mechanism. *MATEC Web of Conferences*. Subang Jaya. v. 335, p. 1-18, 2021.
- LIU, Y. et al. Assessment of spray deposition and losses in an apple orchard with an unmanned agricultural aircraft system in China. *Transactions of the ASABE*, v. 63, p. 619–627, 2020. DOI: 10.13031/TRANS.13233.
- LI, L. et al. Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.981494.
- LOWENBERG-DEBOER J, ERICKSON B. Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*. 2019 n. 111, v. 4, p. 1552-1569, 2019.
- NIKAM, R. K. NADKAR, A. U. PRAJAPATI. Development of agricultural spraying drone. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*. v. 8, p. 1-6, 2024.
- PAUL, R. A. ARTHANARI, P. M. PAZHANIVELAN, S. KAVITHA, R. E. DJANAGUIRAMAN, Drone-based herbicide application for energy saving, enhanced weed control and cost-effectiveness in direct-seeded rice. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. n, 7. v. 93. p.04–09, 2023
- PEREIRA, A. S, SHITSUKA, D. M, PARREIRA, F. J. SHITSUKA, R. Metodologia da Pesquisa Científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. 1, UAB/NTE/UFSM, 2018.
- RAGIMAN, S. et al., Evaluation of pesticide mixtures for Unmanned Aerial Spraying in Rice: The Physical Compatibility Perspective. *Internal. j. Environment. Climate. Change, Hyderabad* v. 13, n. 9, p. 2848-2858, 2023.
- RAMESH, T. MADHUSREE, S. RATHIKA, S. MEENA, S. RAJA, K. Drone based herbicide application in greengram (*Vigna radiata*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. Delhi, India, v. 94, n. 3, p. 329–332, 2024. DOI: 10.56093/ijas.v94i3.144541
- SARRI, D. et al. Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 50, p. 38–47, 2019. DOI: 10.4081/jae.2019.853.
- RANA, M. A. Reshaping agriculture using the nuclear techniques. *The Pakistan case. Agricultural Science*, n. 9, v. 9, p. 1168-1172, 2018.
- SADHANA, B. NAIK, G. MYTHRI, R. J. HEDGE, P. G. SHYAMA, K. S. B. Development of quad copter based pesticide spraying mechanism for agricultural applications. *Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng.* n. 5, v. 2, p, 121-123. 2017.
- SAURA, J. R.; REYES-MENENDEZ, A.; PALOS-SANCHEZ, P. Mapping multispectral Digital Images using a Cloud Computing software: applications from UAV images. *Heliyon*, v. 5, n. 2, 2019.
- SANCHEZ-FERNANDEZ, L.; BARRERA-BAEZ, M.; MARTÍNEZ-GUANTER, J.; PEREZ-RUIZ, M. Reducing environmental exposure to PPPs in super-high density olive orchards using UAV sprayers. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2023.1272372.
- SPANOGHE, P. DE SCHAMPHELEIRE, M. VAN DER MEEREN, P. STEURBAUT, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. *Pest Manage. Science. Old. Pest. Science*. v. 63, p. 4–16, 2007
- SULTAN, M.; HAMID, N.; JUNAID, M.; DUAN, J. J.; PEI, D. S. Organochlorine pesticides (OCPs) in freshwater resources of Pakistan: A review on occurrence, spatial distribution and associated human health and ecological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 249, 114362, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114362>.
- SUTHAN, H. H. B. JAGANNATH, S. M. NARASIMHAN, H. M. SASIKALA T. Detection of Crop Diseases Using Agricultural Drone. In: PRIYADARSHI, N., PADMANABAN, S., GHADAI, R.K., PANDA, A.R., PATEL, R. (eds) *Advances in Power Systems and Energy Management*. ETAEERE, 2020. Lecture Notes in Electrical

- Engineering, v. 609. Springer, Singapore. 2020
https://doi.org/10.1007/978-981-15-7504-4_50
- SCHMIDT, F. A aviação agrícola no Brasil: Um modelo para seleção de aviões com uso da programação linear. Dissertação mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2006.
- VAIRAVAN, C. KAMBLE, B. M. DURGUDE, A. G. SNEHAL, R. INGLE, K. PUGAZENTHI, Hyperspectral Imaging of Soil and Crop: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International*. n. 1, v. 46, p. 48-61, 2024.
- VEROUSTRAETE, F. The rise of the drones in agriculture. *EC agriculture*, n. 2, v. 2, p. 325-327, 2015.
- WANG, G. ZHANG, T. SONG, C. YU, X. SHAN, C. GU, H. LAN, Y. Evaluation of Spray Drift of Plant Protection Drone Nozzles Based on Wind Tunnel Test. *Agriculture*. n.13, v. 3, p. 628, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030628>
- WANG, J.; LAN, Y.; ZHANG, H.; ZHANG, Y.; WEN, S.; YAO, W.; DENG, J. DRIFT and deposition of UAV-applied pesticide on pineapple plants under different meteorological conditions. *Intern. J. Agric. Biol. Eng.* n. 6, v.11, p. 5–12, 2018
- WAQAS, M. S. CHEEMA, M. J. M. WAQAS, A. HUSSAIN, S. Enhancing water productivity of potato *Solanum tuberosum* L. through drip irrigation system. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Horticultural Sciences*, Faisalabad, Pakistan p. 16-18, 2016.
- WANG, L., LAN, Y., ZHANG, Y., ZHANG, H., TAHIR, M. N., OU, S & CHEN, P. Applications and prospects of agricultural unmanned aerial vehicle obstacle avoidance technology in China. *Sensors*, n. 19, v. 3, p. 642, DOI: <https://doi.org/10.3390/s19030642>. 2019.
- WANG, C.; HERBST, A.; ZENG, A.; WONGSUK, S.; QIAO, B.; QI, P.; BONDS, J.; OVERBECK, V.; YANG, Y.; GAO, W.; HE, X. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. *Science of The Total Environment*, v. 777, 146181, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>
- WANG, G. et al. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, v. 1, p. 65–72, 2018. DOI: [10.33440/j.ijpaa.2020030](https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.2020030).
- WEST, J. S. et al. Emerging technologies for crop disease management. *Crop Protection*. v. 70, p. 89-94, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.12.018>
- XIAO, Q. et al. Comparison of droplet deposition control efficacy on *Phytophthora capsica* and aphids in the processing pepper field of the unmanned aerial vehicle and knapsack sprayer. *Agronomy*, v. 10, 2020. DOI: [10.3390/agronomy10020215](https://doi.org/10.3390/agronomy10020215).
- YUBIN, L. THOMSON, S. J. HUANG, Y. et al. Current status and future directions of precision aerial application for site-specific crop management in the US. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 74, p. 34–38, 2010
- YAN, X. J. CHU, S. H. YANG, D. B. YUAN, H. Z. Agriculture on the Wings of Science and Technology: Unmanned aerial vehicle (UAV) low-volume spray technology for Plant protection reduces pesticide use and increases control effectiveness. *Magazine of Plant Protection*. Beijing. v. 48, n. 3, p. 469–476, 2021
- ZHANG, K. F.; ZHANG, Z.; ZHANG, Y. H.; LI, H. Experimental study of single-rotor UAV on droplet deposition distribution in soybean field. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17, n. 6, p. 13833-13844, 2019. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1706_1383313844.
- ZHANG, L. ZHANG, L. M. A. W. et al. Application of UAV remote sensing technology in monitoring and management of crop diseases and insect pests. *J Integr Agric*. n. 12, v. 19, p. 3057-3071, 2020.