



**Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**

*Technical and Scientific Journal Green Cities*

ISSN 2317-8604 Suporte Online / Online Support

Edição em português e inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 42, 2025

## **O potencial dos drones na Sustentabilidade Agrícola – Uma Revisão Sistemática**

**Cléria Regina do Nascimento Mossmann**

Mestranda em Agronegócios, UFGD, Brasil

cleriareginamossmann@hotmail.com

ORCID iD <https://orcid.org/0009-0005-9770-4454>

**Erlaine Binotto**

Professora Doutora, UFGD, Brasil

erlainebinotto@ufgd.edu.br

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-0349-4566>



### O potencial dos drones na Sustentabilidade Agrícola – Uma Revisão Sistemática

#### RESUMO

**Objetivo** - Analisar o papel estratégico dos drones na agricultura, destacando sua eficiência produtiva e contribuição para a sustentabilidade ambiental, social e econômica.

**Metodologia** - Abordagem teórica baseada em revisão sistemática, explorando avanços tecnológicos, desafios e benefícios do uso dos drones na agricultura de precisão (AP).

**Originalidade/relevância** - O estudo preenche a lacuna sobre a integração de drones e tecnologias emergentes na sustentabilidade agrícola, avançando pesquisas em AP, inovação e impacto produtivo-ambiental.

**Resultados** - Os drones melhoram o monitoramento agrícola, otimizam a aplicação de insumos e reduzem custos operacionais, enquanto promovem práticas agrícolas mais sustentáveis.

**Contribuições teóricas/metodológicas** - As principais contribuições incluem um panorama atualizado sobre a tecnologia e sua aplicação agrícola.

**Contribuições sociais e ambientais** - Social e ambientalmente, destaca-se a contribuição dos drones para práticas agrícolas mais sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de Precisão. Drones. Sustentabilidade Agrícola.

### The potential of drones in Agricultural Sustainability – A Systematic Review

#### ABSTRACT

**Objective** – Analyze the strategic role of drones in agriculture, highlighting their productive efficiency and contribution to environmental, social and economic sustainability.

**Methodology** – Theoretical approach based on a systematic review, exploring technological advances, challenges and benefits of using drones in precision agriculture (PA).

**Originality/Relevance** – The study fills the gap on the integration of drones and emerging technologies in agricultural sustainability, advancing research in AP, innovation and productive-environmental impact.

**Results** – Drones improve agricultural monitoring, optimize the application of inputs and reduce operational costs, while promoting more sustainable agricultural practices.

**Theoretical/Methodological Contributions** – The main contributions include an updated overview of the technology and its agricultural application.

**Social and Environmental Contributions** – Socially and environmentally, the contribution of drones to more sustainable agricultural practices stands out.

**KEYWORDS:** Precision Agriculture. Drones. Agricultural Sustainability.

### El potencial de los drones en la Sostenibilidad Agrícola – Una Revisión Sistemática

#### RESUMEN

**Objetivo** – Analizar el papel estratégico de los drones en la agricultura, destacando su eficiencia productiva y su contribución a la sostenibilidad ambiental, social y económica.

**Metodología** – Enfoque teórico basado en revisión sistemática, explorando avances tecnológicos, desafíos y beneficios del uso de drones en la agricultura de precisión (AP).

**Originalidad/Relevancia** – El estudio llena el vacío sobre la integración de drones y tecnologías emergentes en la sostenibilidad agrícola, avanzando en la investigación en AP, innovación e impacto productivo-ambiental.

**Resultados** – Los drones mejoran el monitoreo agrícola, optimizan la aplicación de insumos y reducen los costos operativos, al tiempo que promueven prácticas agrícolas más sustentables.

**Contribuciones Teóricas/Metodológicas** – Los principales aportes incluyen una visión actualizada de la tecnología y su aplicación agrícola.



**Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**

*Technical and Scientific Journal Green Cities*

ISSN 2317-8604 Suporte Online / Online Support

Edição em português e inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 42, 2025

**Contribuciones Sociales y Ambientales** – A nivel social y ambiental destaca la contribución de los drones a prácticas agrícolas más sostenibles.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura de precisión. Drones. Sostenibilidad Agrícola.



### 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a *Food and Agricultural Organization (FAO)* das Nações Unidas, mais de 790 milhões de pessoas ao redor do mundo sofrem de insegurança alimentar, ou seja, não têm alimentos para levar sua vida diária (Kakani *et al.*, 2020; Hafeez *et al.*, 2023). A agricultura desempenha um papel essencial na garantia da segurança alimentar e no fortalecimento econômico global (Pathmudi *et al.*, 2023; Brenya; Zhu; Sampene, 2023; Papadopoulos *et al.*, 2024). Esse setor é responsável por suprir as demandas alimentares de uma população mundial em constante crescimento, além de impulsionar economias, especialmente em países de base agrícola (Sridhar *et al.*, 2023).

Apesar de sua importância econômica, o agronegócio enfrenta desafios cada vez mais complexos. A crescente demanda global por alimentos, impulsionada por uma população mundial que deve atingir mais de nove bilhões de pessoas até 2050, exige não apenas o aumento da produtividade, mas também a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que preservem os recursos naturais e atendam à pressão por sustentabilidade nos âmbitos social, econômico e ambiental (Kakani *et al.*, 2020; Brenya; Zhu; Sampene, 2023; Amertet, Gebresenbet e Alwan, 2024; Canicattì e Vallone, 2024). Esses desafios impulsionam uma transformação no setor, marcada pela agricultura de precisão (AP), que alia tecnologia e sustentabilidade, promovendo eficiência em todas as etapas da produção agrícola (Boursianis *et al.*, 2022; Jafarbiglu; Pourreza, 2022; Rejeb *et al.*, 2024; Papadopoulos *et al.*, 2024).

Nesse contexto, ferramentas digitais e inteligentes têm desempenhado um papel central. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), sensores avançados e softwares de análise têm sido amplamente integrados às práticas agrícolas, revolucionando o setor (Boursianis *et al.*, 2022; Brenya; Zhu; Sampene, 2023). Entre essas inovações, os drones se destacam como uma solução emergente e promissora (Cunha *et al.*, 2021; Nobre *et al.*, 2023), permitindo o monitoramento, planejamento e a execução de tarefas com alta precisão, uma vez que utilizam câmeras de alta resolução, sensores sofisticados e sistemas de inteligência artificial para análise de dados (Jafarbiglu; Pourreza, 2022; Boursianis *et al.*, 2022), possibilitando aos produtores decisões mais assertivas (Javaid *et al.*, 2022; Rejeb *et al.*, 2022).

Essa tecnologia tem sido utilizada em diversas atividades aeroagrícolas, como monitoramento de culturas, aplicação de insumos, mapeamento de solo e irrigação de precisão (Chamuah e Singh, 2019; Tsouros, Bibi e Sarigiannidis; 2019, Jafarbiglu; Pourreza, 2022; Nobre *et al.*, 2023), potencializando a eficiência na agricultura (Jafarbiglu; Pourreza, 2022; Hafeez *et al.*, 2023; Papadopoulos *et al.*, 2024). Considerados ferramentas estratégicas, os drones oferecem vantagens econômicas e ambientais que ajudam a enfrentar os desafios do setor agrícola, contribuindo não só para a modernização da agricultura contemporânea, mas para o desenvolvimento sustentável (Boursianis *et al.*, 2022; Cencinatí; Valone, 2024).

No entanto, a inserção dessas tecnologias levanta questões sobre seu impacto real na transformação das práticas agrícolas e na promoção de um agronegócio mais equilibrado e sustentável. Estudos mais recentes indicam que as tecnologias emergentes, como os drones, têm se destacado como uma ferramenta inovadora, cuja aplicação vai além do aumento da produtividade. E é neste sentido que esta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) contribui para atualizar o conhecimento a respeito do potencial desses dispositivos na promoção de práticas



agrícolas sustentáveis, seja na preservação dos recursos naturais seja na redução dos impactos ambientais.

Dada a relevância do tema e a necessidade de um setor agrícola alinhado aos princípios de sustentabilidade, este estudo busca analisar como os drones podem desempenhar um papel estratégico, não apenas ampliando a eficiência produtiva, mas também promovendo a sustentabilidade na agricultura. O artigo também destaca as vantagens ambientais, sociais e econômicas do uso de drones no setor agrícola.

## 2 METODOLOGIA

Este estudo adota uma revisão sistemática, com abordagem qualitativa e quantitativa. A RSL é uma metodologia estruturada que permite reunir e analisar evidências de forma rigorosa, envolvendo etapas claras e sistemáticas para identificar, selecionar e avaliar criticamente as pesquisas relevantes, além de coletar e sintetizar os dados extraídos dos estudos incluídos (Moher *et al.*, 2015). Embora historicamente associada à prática clínica (Cronin *et al.*, 2008; Moher *et al.*, 2015), essa metodologia tem ganhado espaço em outras áreas do conhecimento, incluindo o setor agrícola, onde tem sido amplamente empregada para responder a questões complexas relacionadas às ciências agrárias (Koutsos *et al.*, 2019).

A revisão por pares promovida na RSL desempenha um papel importante na identificação de lacunas no conhecimento que ainda não foram abordadas, servindo como um mecanismo essencial para áreas pouco exploradas e para o progresso da ciência de maneira geral (Moher *et al.*, 2015). Neste artigo, a lacuna de pesquisa está relacionada à escassez de estudos recentes que explorem de forma integrada o uso de drones com tecnologias emergentes para promover a sustentabilidade no setor agrícola. Embora a literatura existente destaque diversas aplicações dos drones nas práticas agrícolas, os estudos são limitados no que tange a abordagem ampla de como essas tecnologias podem contribuir simultaneamente para o aumento da eficiência produtiva e a preservação dos recursos naturais. Em um cenário de crescente pressão por práticas agrícolas mais responsáveis, uma abordagem integrada faz-se necessária para atender às demandas de sustentabilidade ambiental, econômica e social.

### 2.1 Seleção dos artigos

Para este estudo foram selecionados, extraídos, qualificados e quantificados dados de uma amostra de estudos publicados em periódicos científicos. A busca ocorreu no período de 26 de dezembro de 2024 a 20 de janeiro de 2025. Para identificar os aspectos que envolvem o tema, foi formulada a seguinte questão de pesquisa: Como a adoção de drones pode influenciar a produtividade ao mesmo tempo que promove a sustentabilidade no setor agrícola?

A *Science Direct* serviu como base de dados para as buscas. Esta base indexa aproximadamente 4.000 revistas que publicam nas mais diversas áreas, bem como permite uma busca avançada por meio de descritores previamente delimitados, tendo como foco identificar estudos já realizados sobre o tema, possibilitando a construção da RSL na temática escolhida. A estratégia de pesquisa consistiu em雇用 uma única consulta na base de dados. As palavras-chave compostas foram colocadas entre aspas ("") para garantir a precisão da busca. Além disso,



para incluir as diferentes variações em inglês de um mesmo termo, foram utilizados os operadores booleanos AND e OR. A query utilizada foi: ("Agricultura de Precisão") OR ("Precision Agriculture") OR ("Agricultura sustentável") OR ("sustainable agriculture") AND ("Unmanned Aerial Vehicles") OR ("Drone").

No processo de busca dos artigos, a sequência das palavras-chave foi aplicada aos campos título, resumo e palavras-chave. Após esta primeira análise, passou-se à leitura do artigo completo afim de verificar o seu aproveitamento. Para garantir maior cobertura dos estudos e representatividade dos artigos científicos, a pesquisa foi delimitada às áreas ligadas à Agricultura e às Ciências Agrárias, e considerados somente os artigos de acesso público. A busca também incluiu critérios de inclusão e exclusão, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
i) Artigos de revisão completos;	i) Artigos publicados antes de 2014;
ii) Acesso aberto;	ii) Acesso indisponível;
iii) Artigos publicados entre 2014 e 2024;	iii) Livros, capítulos de livros, artigos de congressos e conferências, e outros;
iv) Publicações no idioma em inglês e português;	iv) Artigos duplicados;
v) String presente no título, resumo e/ou palavras-chave;	v) Artigos não escritos em inglês e/ou português.

Fonte: Elaborado pelas autoras

O protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols 2015 (PRISMA-P 2015)* foi adotado como suporte para a realização deste estudo. O uso do protocolo PRISMA facilita a condução de uma revisão mais completa e transparente de estudos previamente publicados (Moher *et al.*, 2015).

## 2.2 Análise da amostra

Os artigos selecionados na base de dados foram baixados e inseridos no software Mendeley®, um gerenciador de referências que facilita a coleta, organização, construção das citações e o compartilhamento das pesquisas listadas (Mendeley, 2024). Na sequência, os artigos foram transferidos para o Windows Excel® para serem analisados.

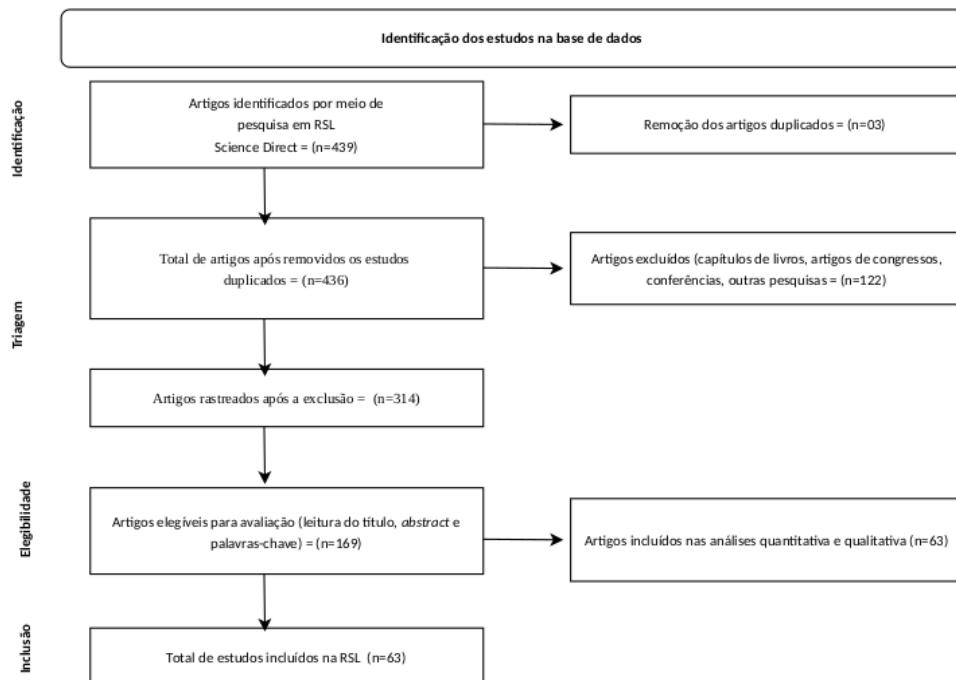
A string utilizada na busca resultou em uma totalidade de 439 artigos. Com a ajuda do software, três artigos foram removidos por duplicidade. Aplicando-se os critérios de exclusão foram excluídos 122 artigos, destes 22 atendendo ao critério (ii), 97 atendendo ao critério (iii) e outros três ao critério (v).

Os 314 artigos restantes tiveram seus resumos e palavras-chave avaliados, com o intuito de verificar se correspondiam aos termos definidos no protocolo de pesquisa (Moher *et al.*, 2015), bem como aderência ao objetivo deste estudo e pudessem, assim, ser analisados, restando 169 artigos. Dentre estes, 106 documentos foram excluídos por desalinhamento, ou porque não atendiam completamente aos critérios de inclusão.

Restaram 63 artigos que foram incluídos nesta RSL (Figura 1) e seus resultados apresentados na Seção 3, dividida em duas subseções: i) análise quantitativa, que apresenta

entre outros dados, a quantidade de artigos publicados por ano, por periódico e por tema, também os artigos com o maior número de citações e a classificação Qualis dos periódicos; e ii) análise qualitativa, onde utilizou-se o procedimento de análise temática, conforme recomendado por Braun e Clarke (2006) e empregue no estudo de Choruma *et al.* (2024), para examinar de forma sistemática os estudos selecionados.

Figura 1 - Fluxo metodológico da RSL



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Moher *et al.* (2015)

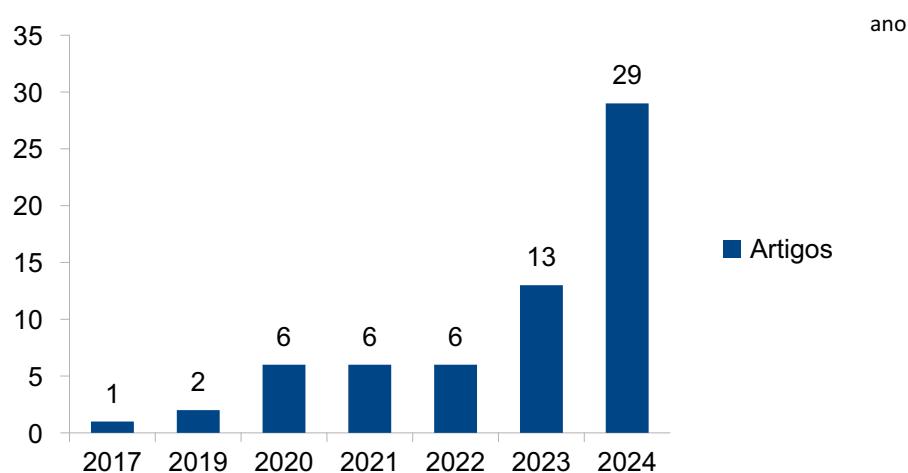
O processo de codificação sistemática revelou três categorias principais de informações: i) a sustentabilidade como um paradigma na agricultura moderna; ii) a agricultura de precisão e as ferramentas emergentes; e iii) a aplicação de drones na agricultura de precisão e na promoção da sustentabilidade.

### 3 RESULTADOS

A Figura 2 mostra a distribuição por ano dos artigos publicados no período analisado.



Figura 2 - Número de artigos publicados por ano (2017 – 2024)



Fonte: Resultados da pesquisa

O período selecionado para o estudo foi entre 2014 a 2024, contudo, a Figura 2 mostra a produção científica entre 2017 a 2024, uma vez que em 2014, 2015 e 2016 não foram encontrados estudos que se encaixassem nos descritores determinados. Em 2017 foi publicado um artigo, em 2019 dois, e entre 2020 a 2022 seis artigos por ano. Em 2023, a publicação de artigos mais que dobra os anos anteriores, chegando a treze, e em 2024, têm-se um total de 29 artigos publicados, demonstrando um avanço das publicações na temática escolhida.

Do total de periódicos que publicaram, 24 possuem a classificação no sistema Qualis (Tabela 2). Chama-se a atenção para os periódicos com a classificação A1 e A2, tendo sido inclusive, os que mais publicaram no período analisado, evidenciando a relevância acadêmica dos periódicos incluídos. Na classificação A1, foram publicados 24 artigos e na classificação A2 sete artigos.



Tabela 2 - Classificação Qualis dos periódicos (2017 – 2024)

Periódicos	Classificação Qualis								
	C	B4	B3	B2	B1	A4	A3	A2	A1
Computer Networks									1
Forest Ecol. and Management									1
Ecological Informatics									1
Information Proc. in Agric.									3
Computers and Elec. in Agric.									5
Journal of Agric. and Food Res.								4	
Agricultural Water Manag.									3
Rice Science								1	
Current Plant Biology								1	
Trends in Plant Science									2
Scientific African	1								
Science of The Total Envir.									1
Journal of Hydrology									1
Food Control									1
Journal for Nat. Conservation								1	
NJAS – Wag. J. of Life Sciences									1
Agricultural Systems									1
Ecological Indicators									2
Internet of Things						1			
Envir. and Sust. Indicators		1							
SN Applied Sciences					1				
Journal of Cleaner Production									1
Engenharia Agrícola						1			
Information	1								
<b>Totais em cada classificação</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>24</b>

Fonte: Resultados da pesquisa

As áreas cobertas pelos periódicos classificados como A1 e A2 abrangem temas como agricultura e manejo sustentável, ecologia e indicadores ambientais, ciências ambientais e sustentabilidade, tecnologias aplicadas à agricultura e biologia de plantas e conservação. Os resultados evidenciam a relevância do tema abordado, reforçando o uso de tecnologias avançadas nas práticas agrícolas. A predominância de periódicos A1 evidencia a alta qualidade científica das pesquisas que integram agricultura, tecnologia e sustentabilidade, com destaque, também, para a abordagem multidisciplinar desses temas. O total de periódicos não classificados na Qualis foi nove, que publicaram 26 artigos.

No total, 33 periódicos publicaram os artigos participantes da pesquisa, com destaque para o *Smart Agricultural Technology* e o *Artificial Intelligence in Agriculture*, que publicaram 12 e seis artigos, respectivamente (Figura 3).

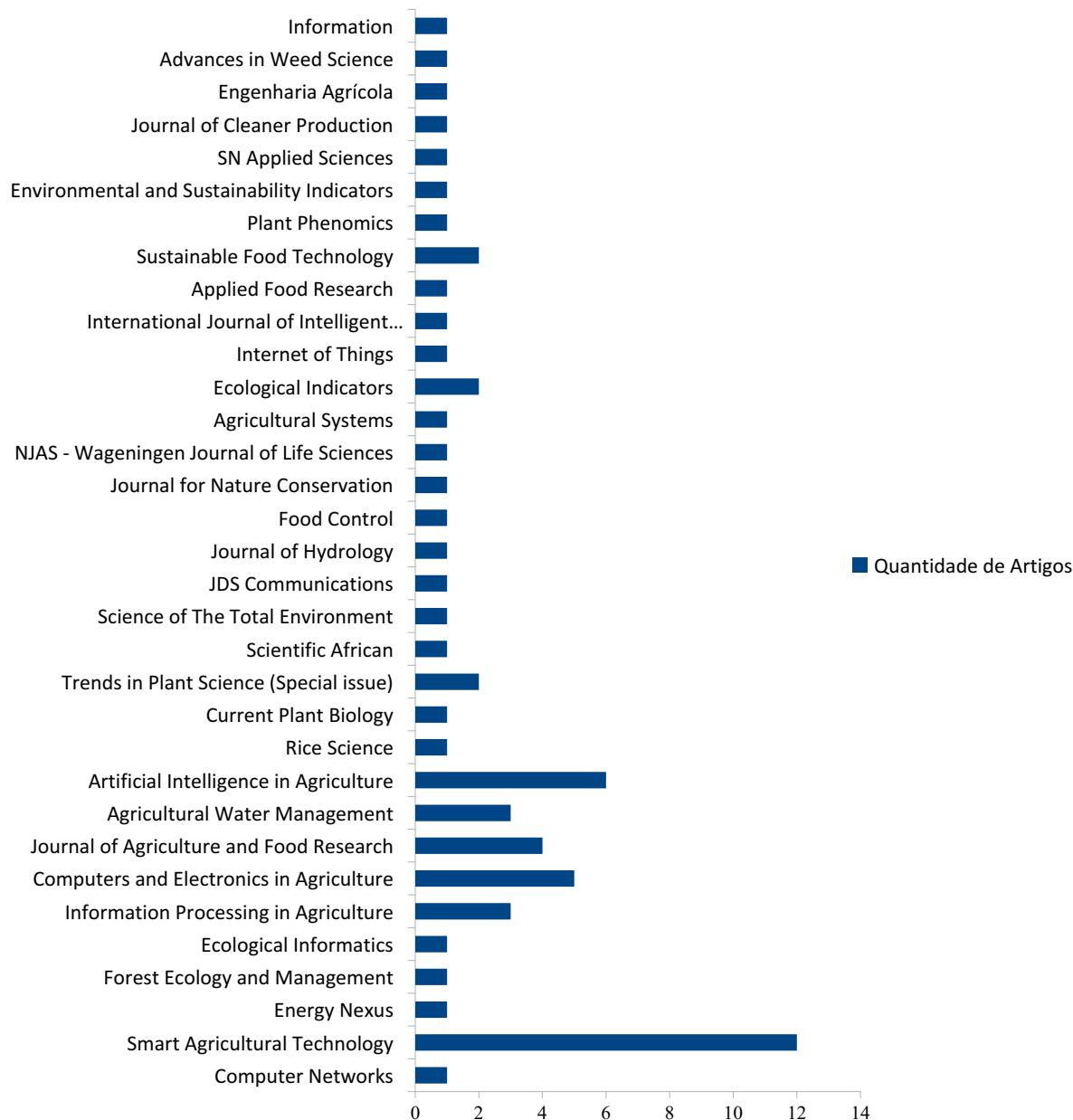


Figura 3 - Quantidade de artigos publicados por periódico (2017 – 2024)

Fonte: Resultados da pesquisa

A Tabela 3 mostra os 10 artigos mais citados na base de dados da *Science Direct*. O artigo “*A compilation of UAV applications for precision agriculture*”, publicado em 2020 no periódico *Computer Networks*, foi o mais citado, mantendo 632 citações.

Tabela 3 - Artigos mais citados – *Science Direct*

N.	Autores	Ano de publicação	N. de citações	N.	Autores	Ano de publicação	N. de citações
1	Radoglou-Grammatikis et al.	2020	632	6	Rejeb et al.	2022	282
2	Talaviya et al.	2020	542	7	Javaid et al.	2022	265
3	Boursianis et al.	2022	487	8	Abbas et al.	2022	224
4	Tian et al.	2020	459	9	Subeesh e Mehta	2021	191
5	Kakani et al.	2020	301	10	Hafeez et al.	2023	150

Fonte: Resultados da pesquisa

A nuvem de palavras gerada a partir das *keywords* dos 63 artigos mostra os temas centrais e recorrentes na pesquisa, evidenciando as combinações mais relevantes na temática (Figura 4).

Figura 4 - Nuvem de palavras-chave



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos resultados da pesquisa

### **3.2 Análise qualitativa**

### 3.2.1 A sustentabilidade como paradigma da agricultura contemporânea

A sustentabilidade agrícola é um conceito amplo e multifacetado, originado nos estudos florestais do século XVIII e amplamente discutido desde a década de 1970. Segundo De Luca *et al.* (2017), a sustentabilidade no setor agrícola é abordada por meio do modelo dos Três Pilares, que busca equilibrar aspectos ambientais, como a preservação do solo e da água, com questões econômicas e sociais, incluindo geração de empregos, condições de trabalho e preservação cultural. O objetivo é atender às necessidades presentes sem comprometer os recursos das futuras gerações.

O modelo intensivo de produção adotado no pós-guerra, caracterizado pelo uso extensivo de produtos químicos e pela especialização agrícola, gerou significativos desequilíbrios ambientais. Frente a esse cenário, a agricultura sustentável surge como uma alternativa, pois promove práticas que alinhem saúde ambiental, viabilidade financeira e equidade social. Neste sentido, a abordagem requer a integração da ciência, do conhecimento



prático e da colaboração entre agricultores, pesquisadores, consumidores e formuladores de políticas (Gamage *et al.*, 2024). Como resultados, seus benefícios incluem a preservação dos recursos naturais, a promoção da biodiversidade e a segurança alimentar, além de melhorias socioeconômicas para áreas rurais (Talukder *et al.*, 2020; Pathmudi *et al.*, 2023).

A agricultura inteligente vai além do uso isolado de tecnologias. Ela promove a integração de dados digitais e sistemas baseados em sensores, que elevam o desempenho ambiental e econômico, contribuindo para a resiliência e a sustentabilidade do setor agrícola (Gebresenbet *et al.*, 2023). Neste ponto de vista, a abordagem sustentável é intrinsecamente importante pois há um esforço crescente para equilibrar o aumento da produtividade com a limitação de danos ambientais e a redução da pegada ecológica, desafios historicamente negligenciados nas práticas agrícolas convencionais (Brenya *et al.*, 2023).

A sustentabilidade na agricultura contemporânea, impulsionada por inovações tecnológicas e conscientização ambiental, consolida-se como um paradigma fundamental na promoção do equilíbrio entre produção e conservação, estabelecendo as bases para um futuro mais sustentável e resiliente (Gamage *et al.*, 2024). A inovação, neste caso, consiste na adoção das tecnologias avançadas, que visa transformar as práticas agrícolas tradicionais em sistemas mais eficientes e sustentáveis, melhorando não apenas a produtividade, mas promovendo uma gestão mais responsável dos recursos naturais (Gebresenbet *et al.*, 2023).

### 3.2.2 A agricultura de precisão e as ferramentas emergentes

Historicamente, o setor agrícola enfrentou desafios significativos relacionados à adoção de ferramentas inteligentes. No entanto, uma revolução tecnológica vem transformando as etapas de pré-colheita e pós-colheita, com destaque para o uso crescente de tecnologias de informação e comunicação (Gebresenbet *et al.*, 2023). A digitalização na agricultura tem evoluído rapidamente, integrando soluções tecnológicas inovadoras como IoT, sensores inteligentes, sistemas ciberfísicos e Inteligência Artificial (IA), que contribuem para a eficiência e a sustentabilidade nas práticas agrícolas (Javaid *et al.*, 2022; Konfo *et al.*, 2023; Lassoued; Phillips; Smyth, 2023; Aierken *et al.*, 2024; Choruma *et al.*, 2024).

A AP emergiu como um conceito inovador na agricultura moderna, com suas raízes datando de 1990, quando o termo foi utilizado pela primeira vez em um *workshop* organizado pelo *State College of Montana*. Em 1991, os primeiros receptores de GPS foram instalados em tratores, e, na metade da década de 1990, o Departamento de Defesa dos EUA eliminou a disponibilidade seletiva para o GPS diferencial (DGPS), aumentando a precisão do posicionamento (Petrovic *et al.*, 2024). A literatura apresenta a evolução da AP em cinco estágios principais (Sridhar *et al.*, 2023; Petrovic *et al.*, 2024; Hosny; El-Hady; Samye, 2024) (Figura 5).

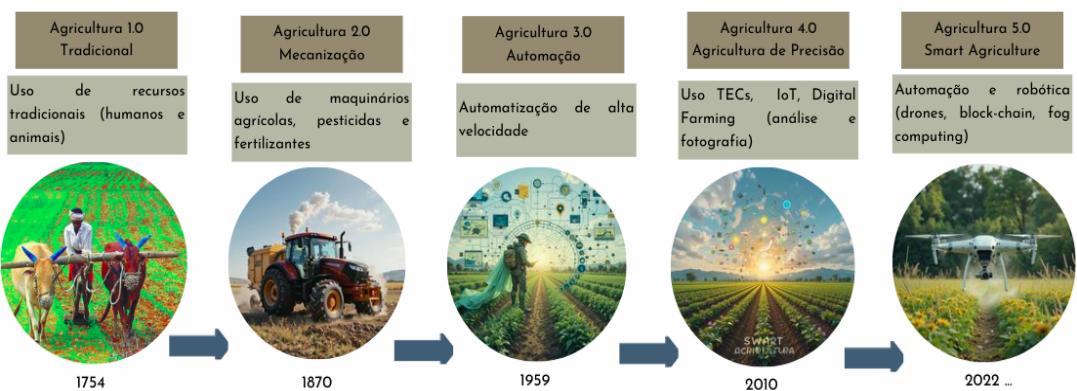


Figura 5 - Evolução da AP (da Agricultura 1.0 para a Agricultura 5.0)

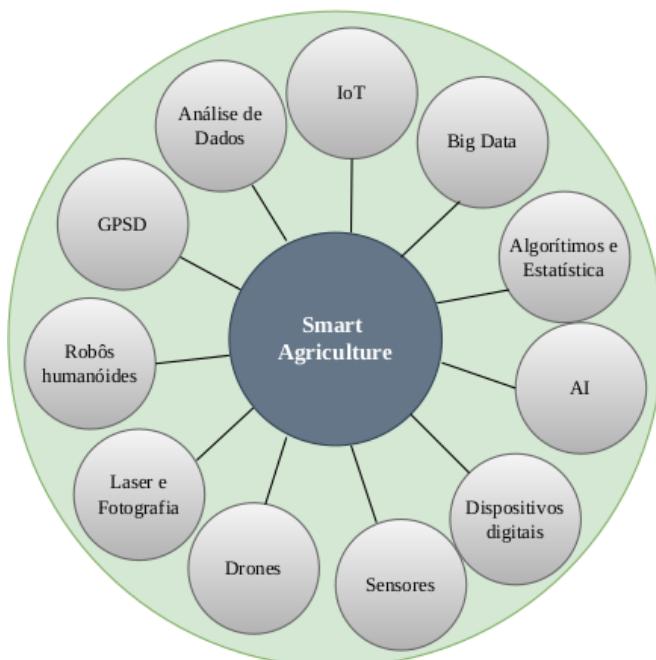
Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Petrovic et al. (2024, p. 4) e Hosny, El-Hady e Samye (2024, p. 03)

O primeiro estágio, denominado Agricultura 1.0, representa o período tradicional, com alta dependência de mão de obra e ferramentas rudimentares, resultando em baixa produtividade. O segundo estágio, Agricultura 2.0, entre os séculos XVIII e XIX, introduziu fertilizantes, pesticidas e mecanização, aumentando a eficiência, mas também causando danos ambientais. O terceiro estágio, Agricultura 3.0, inicia na década de 1950 com a Revolução Verde, período que se incorporou tecnologias como navegação por satélite e sensores, permitindo automação e foco na saúde do solo. O quarto estágio, Agricultura 4.0, alinha-se ao conceito de Indústria 4.0, adotando tecnologias avançadas, como fotografia aérea e análise de dados, para otimizar a produção. O último estágio é a Agricultura 5.0, caracterizada pelo uso massivo de robôs, dispositivos autônomos e IA representando um estágio avançado da AP.

Computadores e dispositivos digitais abrangem desde a automação de maquinários até sistemas avançados de apoio à decisão. Robôs, sensores e algoritmos desempenham um papel essencial na modernização da agricultura (Abbas; Martinez; Ahmad, 2022; Brenya; Zhu; Sampene, 2023), enquanto tecnologias como aprendizado de máquina e análise de *Big Data* permitem uma tomada de decisão mais precisa e baseada em dados (Lassoued; Phillips; Smyth, 2023; Konfo et al., 2023; Aierken et al., 2024; Choruma et al., 2024).

Métodos observacionais e inferências estatísticas têm sido utilizados para criar sistemas espaciais de informações sobre o solo, auxiliando na estimativa de requisitos de calagem, no enfrentamento de problemas como acidez do subsolo e na melhoria da capacidade do solo, permitindo decisões mais assertivas na agricultura, como o uso adequado de recursos (Brenya et al., 2023; Aierken et al., 2004; Ram et al., 2024; Petrovic et al., 2024).

O GPS garante precisão centimétrica no manejo agrícola, permitindo localizar animais (Axford et al., 2024), monitorar culturas (Ghazal; Munir; Qureshi, 2024) e otimizar recursos com dados georreferenciados (Petrovic et al., 2024). Essa tecnologia promove a eficiência no uso de insumos e sustentabilidade (Brenya et al., 2023; Konfo et al., 2023; Hosny; El-Hady; Samye, 2024). Lasers contribuem para o nivelamento do solo, distribuição hídrica e menor uso de fertilizantes, aumentando a sustentabilidade e a renda agrícola (Brenya et al., 2023). A Figura 6 ilustra ferramentas da *Smart Agriculture*.

Figura 6 - Rol de ferramentas da *Smart Agriculture*

Fonte: Elaborado pelas autoras baseado

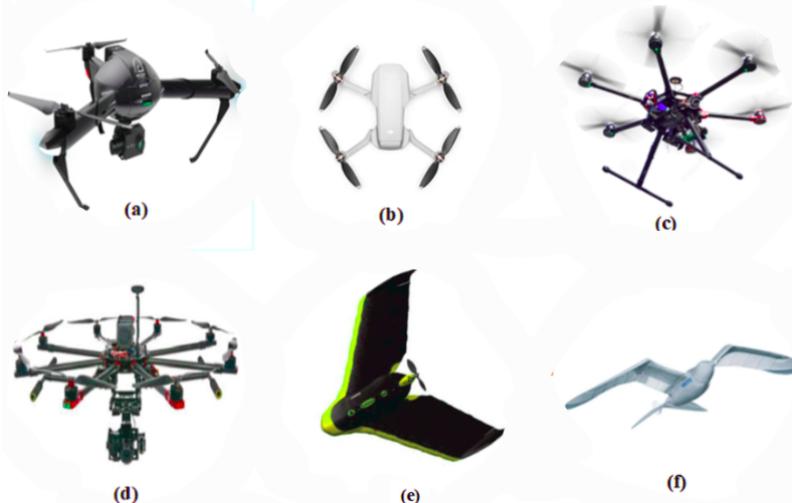
em Pathmudi *et al.* (2023)

A adoção de tecnologias de AP varia globalmente, influenciada por fatores socioeconômicos, financeiros, agroecológicos e institucionais (Petrovic *et al.*, 2024). No entanto, essas inovações são fundamentais para enfrentar a insegurança alimentar e aumentar a produtividade de maneira sustentável (Jafarbiglu; Pourreza, 2022; Gebresenbet *et al.*, 2023; Lassoued; Phillips; Smyth, 2023; Pandey; Mishra, 2024). Elas ajudam a reduzir o desperdício de recursos, como água e fertilizantes (Brenya; Zhu; Sampene, 2023; Nobre *et al.*, 2023; Choruma *et al.*, 2024; Papadopoulos *et al.*, 2024), além de reduzir a poluição (Chamuah; Singh, 2019; Pathmudi *et al.*, 2023) e promover a biodiversidade e a diversidade alimentar (Gamage *et al.*, 2024).

### 3.2.3 Os drones e sua aplicação na AP e na promoção da sustentabilidade

Os *Unmanned Aerial Systems* (UASs), ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) em português, são destaques na transformação da AP. Mais conhecidos por drones, são caracterizados como uma tecnologia emergente (Tsouros; Bibi; Sarigiannidis, 2019), que complementa e expande as capacidades da aviação agrícola tradicional. Os drones, inicialmente utilizados para fins militares no século XIX, evoluíram ao longo das décadas, e hoje desempenham papéis significativos nas mais diversas áreas, inclusive na AP (Radoglou-Grammatikis *et al.*, 2020; Hafeez *et al.*, 2023; Nobre *et al.*, 2023) (Figura 7).

Figura 7 - Drones mais populares na AP



Fonte: Shahi et

al. (2023, p. 06).

(Asas rotativas: (a) tricóptero; (b) quadricóptero; (c) hexacóptero; (d) octocóptero; Asas fixas: (e) eBeeTM; (f) asa oscilante SmartBird.)

Os drones mais utilizados na AP são classificados com base em suas características técnicas de aerodinâmica e autonomia (Radoglou-Grammatikis *et al.*, 2020). Aerodinamicamente, dividem-se em três tipos principais: asa fixa, asa rotativa e híbridos. Os drones de asa fixa, eficientes e de manutenção simples, possuem maior autonomia e cobrem áreas extensas graças às asas estáticas que geram sustentação pelo movimento do ar. Já os drones de asa rotativa, que utilizam rotores para decolagem vertical e maior facilidade de manobra, suportam cargas mais pesadas, mas possuem autonomia reduzida. Os híbridos combinam rotores para decolagem e pouso com asas fixas para alcance ampliado, reunindo vantagens de ambos os modelos. Quanto à autonomia, os drones podem ser: operados manualmente, com controle total pelo operador; delegados, com autonomia restrita a decisões específicas; supervisionados, onde o operador e o sistema compartilham decisões baseadas em dados; e totalmente autônomos, que realizam operações independentes, mas permitem intervenção humana em emergências. Os drones de asa fixa são adequados para pesquisas em larga escala, pois voam rapidamente e cobrem grandes áreas, mas precisam de espaço amplo para decolagem e pouso. Já os drones de asa rotativa, que decolam e pousam verticalmente, são mais populares devido à sua facilidade de operação e flexibilidade.

A literatura mostrou que, na AP, os drones são principalmente aplicáveis no monitoramento de culturas (Boursianis *et al.*, 2020; Noshiri *et al.*, 2023) e vegetação (Seier *et al.*, 2021), estimativas de altura de colheitas (Guo *et al.*, 2021), pulverização de pesticidas (Cunha *et al.*, 2021; Nobre *et al.*, 2023; Hafeez *et al.*, 2024) dentre outras atividades (Tabela 4).



Tabela 4 - Resumo das várias aplicações dos drones na agricultura – estudos analisados

N.	Aplicação	Metodologia	Resultados das pesquisas	Referências
1	<b>Imagens digitais / multidimensionais</b>	Revisão de literatura	Alta resolução das Imagens hiperespectrais baseadas em Matese <i>et al.</i> , VANTs, aprimorando significativamente as capacidades de monitoramento de culturas;	
2		Revisão de literatura	Aprendizado profundo em imagens de VANTs para Epifan e detecção de pragas e doenças, monitoramento da saúde das plantas e mapeamento da biodiversidade;	
3		Revisão sistemática	Imagen hiperespectral em drones para detecção precoce Ram <i>et al.</i> , de estresse hídrico, monitoramento de nutrientes e identificação de pragas e doenças, permitindo uma gestão mais precisa e eficiente;	
4	<b>Monitoramento de culturas</b>	Revisão de literatura	Comparação da eficácia das técnicas de 3D CNN com Noshiri <i>et al.</i> , outras metodologias de aprendizado de máquina e redes neurais em drones;	
5		Revisão de literatura	Uso de drones no monitoramento em tempo real das culturas;	Hafeez <i>et al.</i> , 2024;
6		Revisão de literatura	Combinação de IoT e VANTs para monitoramento mais preciso e em tempo real das culturas, melhorando a tomada de decisões e a eficiência no uso de recursos;	Boursianis <i>et al.</i> , 2020
7		Revisão sistemática	Integração de VANTs e IA para detecção mais precisa e em tempo real de doenças e pragas, no manejo mais eficiente de ervas daninhas, contribuindo para a sustentabilidade e produtividade agrícola;	Anam <i>et al.</i> , 2024
8		Revisão sistemática	Combinação de VANTs e aprendizado de máquina para Aierken <i>et al.</i> , monitoramento das culturas de algodão. Drones com sensores multiespectrais e térmicos permitem avaliação precisa de características das plantas;	
9	<b>Irrigação de solo</b>	Revisão de literatura	Drones para monitoramento da umidade do solo e Zhang <i>et al.</i> , sensoriamento remoto;	
10		Revisão de literatura	Drones no monitoramento mais preciso da umidade do solo e das necessidades hídricas das culturas, resultando em um agendamento de irrigação mais eficiente e sustentável;	Yadav <i>et al.</i> , 2024;
11	<b>Aplicações diversas</b>	Revisão de literatura	Ampla gama de aplicações de VANTs na agricultura Tsouros; Bibi; (monitoramento de saúde das plantas, avaliação de Sarigiannidis, umidade do solo, mapeamento de nutrientes e gestão de irrigação);	
12		Revisão de literatura	Ampla gama de aplicações dos drones na cultura de Canicattì e hortaliças (monitoramento da saúde das plantas, Vallone, 2024; aplicação precisa de fertilizantes e pesticidas, e mapeamento de variabilidade no solo);	
13		Análise bibliométrica	Ampla gama de aplicações dos drones agrícolas Rejeb <i>et al.</i> (monitoramento da saúde das plantas, aplicação de fertilizantes e pesticidas, gestão de recursos hídricos);	
14		Revisão de literatura	Ampla gama de aplicações de VANTs na AP Radoglou-(monitoramento da saúde das plantas, avaliação de Grammatikis umidade do solo, mapeamento de nutrientes e gestão de irrigação), vantagem para a coleta de dados em tempo real, melhora da eficiência do uso de insumos e redução dos custos operacionais;	
15	<b>Pulverização</b>	Revisão de literatura	O uso de drones na agricultura melhora significativamente Hafeez <i>et al.</i> , a eficiência na aplicação de pesticidas, reduzindo o desperdício e o impacto ambiental;	
16		Revisão de literatura	Os drones oferecem uma aplicação mais precisa e eficiente, reduzindo o desperdício de insumos e minimizando o impacto ambiental. Necessidade de regulamentação adequada e formação para operadores;	Cunha <i>et al.</i> , 2021



17		Revisão sistemática	Drones mais precisos na aplicação e redução do Nobre <i>et al.</i> , desperdício de produtos químicos, práticas agrícolas mais sustentáveis. Desafios são os investimentos iniciais em tecnologia e a capacitação dos operadores;
18	<b>Mapeamento/monitoramento</b>	Revisão de literatura	de <i>Framework</i> desenvolvido para sistemas VANTs ideais para Müllerová <i>et al.</i> , 2021; : caracterizar a complexidade da vegetação;
19	<b>vegetação</b>	Revisão literatura	de VANTs para gestão de áreas protegidas (dados em tempo real, monitoramento e mapeamento da biodiversidade, 2021; estudo de caso detecta atividades ilegais). Necessidade de regulamentação técnica e de privacidade, formação de operadores;
20		Revisão literatura	de <i>Framework</i> para drones, eficiência na coleta de dados em alta resolução espacial e temporal; Müllerová <i>et al.</i> , 2021;
21	<b>Gestão florestal</b>	Revisão literatura	de Integração de IA com tecnologias de drones na Buchelt <i>et al.</i> , + classificação automática de espécies, na detecção de 2024; algoritmos IA doenças e na avaliação da estrutura da vegetação;
22	<b>Sensoriamento remoto</b>	Revisão literatura	de Uso de drones na fenotipagem de plantas, as imagens por Guo <i>et al.</i> , + drones permitem avaliar características como altura, 2021; e biomassa, saúde das plantas e resposta a estresses ambientais;
23		Revisão literatura	de Os drones para sensoriamento remoto e hidrogeofísica em Lubczynski et modelos hidrológicos (coleta de dados em alta resolução espacial e temporal);
24		Revisão sistemática	Drones equipados com sensores e câmeras Jafarbiglu e multiespectrais e infravermelhas na monitorização e Pourreza, gestão de culturas de nozes (detecção de estresse hídrico, 2022 avaliação da saúde das plantas e estimativa de produtividade);
25		Estudo campo	de Sistemas de drones no sensoriamento remoto (detecção Dong <i>et al.</i> , do estresse hídrico em culturas, coleta de dados em alta resolução espacial e temporal);
26	<b>Governança tecnológica</b>	Revisão literatura	de VANTs no contexto indiano, eficientes na aplicação de Chamuah e + insumos, monitoramento preciso das culturas, redução do Singh, 2020; estudo de caso uso de água e pesticidas, práticas agrícolas mais sustentáveis, aumento da produtividade e redução dos impactos ambientais. Governança para suportar a tecnologia (regulamentação, inclusão, acesso, ética e responsabilidade);
27	<b>Monitoramento animal</b>	Revisão sistemática	Imagens de drones por <i>deep learning</i> na detecção de Axford <i>et al.</i> , animais oferecem altos níveis de precisão; 2024;

Fonte: Resultados da pesquisa

### Sensoriamento remoto e monitoramento agrícola

Drones têm demonstrado potencial significativo na AP, capturando imagens de alta resolução para identificar e solucionar problemas como falta de água, pragas, doenças e deficiências nutricionais, possibilitando intervenções rápidas e eficazes (Müllerová *et al.*, 2021; Rejeb *et al.*, 2022; Matese *et al.*, 2024). Essas tecnologias aumentam a eficiência da gestão agrícola, reduzindo o desperdício de insumos e promovendo a sustentabilidade ambiental ao evitar aplicações excessivas de recursos (Tsouros; Bibi; Sarigiannidis, 2019; Talaviya *et al.*, 2020).

Sensores multiespectrais e softwares avançados em drones permitem monitorar detalhadamente a vitalidade das plantas, identificar necessidades específicas de irrigação e fertilização e diagnosticar estresses ambientais, como secas e doenças (Rejeb *et al.*, 2022;



Ghazal; Munir; Qureshi, 2024). A capacidade de operar independentemente de condições climáticas ou posição de satélites, aliada à captura de imagens de alta qualidade a baixas altitudes, oferece maior precisão e flexibilidade em comparação a métodos tradicionais, como imagens de satélite (Kakani *et al.*, 2020; Hafeez *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2024).

### Aplicação agrícola e sustentabilidade

Na aplicação de defensivos agrícolas, os drones garantem precisão com o efeito *downwash* (Cunha *et al.*, 2021), atingindo alvos específicos, mesmo em áreas de difícil acesso ou com topografia irregular, o que minimiza o impacto ambiental e economiza insumos (Radoglou-Grammatikis *et al.*, 2024). Essa técnica reduz o uso de herbicidas e água, aplicando-os de forma localizada e sustentável, evitando a contaminação desnecessária do solo e de recursos hídricos (Radoglou-Grammatikis *et al.*, 2020; Rejeb *et al.*, 2022).

No contexto da AP, o uso de drones promove benefícios nos âmbitos econômico, ambiental e social (Quadro 1).

Quadro 1 - Benefícios dos drones para a agricultura sustentável

Aspectos	Benefícios
Econômico	Aumento da eficiência operacional e produtividade nas atividades agrícolas;
	Redução de custos com insumos devido à aplicação precisa e direcionada;
	Benefício econômico ampliado para a sociedade através da produção sustentável e acessível de alimentos, impulsionando a economia local e promovendo o uso racional de recursos;
Ambiental	Aplicação precisa de insumos agrícolas, como fertilizantes e pesticidas, minimizando o desperdício;
	Redução da poluição do solo e da água, contribuindo para a preservação dos recursos naturais;
	Monitoramento constante e eficiente das condições ambientais, auxiliando na preservação da biodiversidade e no manejo sustentável das culturas;
Social	Redução da exposição dos trabalhadores e comunidades a produtos químicos perigosos;
	Melhoria na segurança do trabalho no campo;
	Aumento da qualidade de vida dos agricultores e da sociedade ao redor devido à menor contaminação e riscos.

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Chamuah e Singh (2019) e Nobre *et al.* (2023)

A integração dos drones no manejo agrícola contribui para práticas mais eficientes e responsáveis, promovendo maior produtividade com menor impacto ambiental. Essa sinergia entre tecnologia e sustentabilidade destaca os drones como ferramentas essenciais para um futuro agrícola mais sustentável, atendendo tanto às demandas econômicas quanto às necessidades ambientais (Nobre *et al.*, 2023; Canicattì; Vallone, 2024).



#### **4 CONCLUSÃO**

As tecnologias digitais na agricultura podem aumentar a eficiência operacional e reduzir custos com insumos, resultando em maior rentabilidade para os produtores. A digitalização também facilita a tomada de decisões informadas, permitindo uma gestão mais eficaz das operações agrícolas e a abertura de novos mercados, aumentando as oportunidades de receita para os agricultores. Na sustentabilidade do agronegócio, o uso de drones proporciona uma série de benefícios econômicos, financeiros e sociais, conforme evidenciado em diversos estudos, sendo um potencial relevante para o agronegócio mundial, embora sua adoção ainda seja predominante em grandes propriedades.

Entre os desafios identificados na literatura, destaca-se a necessidade de pilotos qualificados para uso da tecnologia, o que pode aumentar os custos operacionais e exigir treinamento especializado. Além disso, a potência limitada dos motores e os custos associados à aquisição, manutenção e treinamento representam barreiras significativas à implementação em larga escala dos drones. Questões regulatórias também dificultam a ampla utilização dos drones na agricultura, restringindo seu uso em algumas regiões.

O estudo contribui para, além de ampliar a compreensão sobre o papel estratégico dos drones na sustentabilidade agrícola, fornecer subsídios relevantes para o desenvolvimento de futuras investigações que considerem estudar na prática a relação entre produtividade, tecnologia e sustentabilidade no setor agrícola.



### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, R.; MARTINEZ, P.; AHMAD, R. The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agric. Technology**, v. 2, p. 100042, 2022.
- AIERKEN, N. *et al.* A review of unmanned aerial vehicle based remote sensing and machine learning for cotton crop growth monitoring. **Comp. and Elec. in Agric.** v. 227, p. 109601, 2024.
- AMERTET, S.; GEBRESENBET, G.; ALWAN, H. M. Application of hyper-automation in farming – an analysis. **Smart Agric. Technology**, v. 9, p. 100516, 2024.
- ANAM, I. *et al.* A systematic review of UAV and AI integration for targeted disease detection, weed management, and pest control in precision agriculture. **Smart Agric. Tech.**, v. 9, p. 100647, 2024.
- AXFORD, D. *et al.* Collectively advancing deep learning for animal detection in drone imagery: Successes, challenges, and research gaps. **Ecological Informatics**, v. 83, p. 102842, 2024.
- BOUNAJRA, A. *et al.* Towards efficient irrigation management at field scale using new technologies: A systematic literature review. **Agric. Water Manag.**, v. 295, p. 108758, 2024.
- BOURSIANIS, A. D. *et al.* Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things**, v. 18, p. 100187, 2022.
- BRAUN, Virginia; CLARKE, Victoria. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative Research in Psychology**, v. 3, p. 77–101, 2006.
- BRENYA, R.; ZHU, J.; SAMPENE, A. K. Can agriculture technology improve food security in low- and middle-income nations? a systematic review. **Sustainable Food Technology**, v. 1, n. 4, p. 484–499, 2023.
- BUCHELT, A. *et al.* Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. **Forest Ecology and Management**, v. 551, p. 121530, 2024.
- CANICATTÌ, M.; VALLONE, M. Drones in vegetable crops: A systematic literature review. **Smart Agric. Technology**, v. 7, p. 100396, 2024.
- CHAMUAH, A.; SINGH, R. Securing sustainability in Indian agriculture through civilian UAV: a responsible innovation perspective. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 106, 2020.
- CHORUMA, D. J. *et al.* Digitalisation in agriculture: A scoping review of technologies in practice, challenges, and opportunities for smallholder farmers in sub-saharan africa. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, p. 101286, 2024.
- COSTA, F. *et al.* Industry 4.0 digital technologies enhancing sustainability: Applications and barriers from the agricultural industry in an emerging economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 408, p. 137208, 2023.
- CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, v. 17, n. 1, p. 38-43, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R. D. *et al.* Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 2, p. 245–254, 2021.
- DE LUCA, A. I. *et al.* Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, v. 595, p. 352–370, 2017.
- DONG, H. *et al.* Crop water stress detection based on UAV remote sensing systems. **Agric. Water Manag.**, v. 303, p. 109059, 2024.



EPIFANI, L.; CARUSO, A. A survey on deep learning in UAV imagery for precision agriculture and wild flora monitoring: Datasets, models and challenges. **Smart Agric. Technology**, v. 9, p. 100625, 2024.

GAMAGE, A. et al. Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. **Current Plant Biology**, v. 40, p. 100420, 2024.

GEBRESENBET, G. et al. A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. **Smart Agric. Technology**, v. 5, p. 100255, 2023.

GHAZAL, S.; MUNIR, A.; QURESHI, W. S. Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications. **Art. Int. in Agric.**, v. 13, p. 64–83, 2024.

GUO, W. et al. UAS-Based Plant Phenotyping for Research and Breeding Applications. **Plant Phenomics**, v. 2021, p. 9840192, 2021.

HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Inf. Processing in Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 192–203, 2023.

HASHIM, N. et al. Smart Farming for Sustainable Rice Production: An Insight into Application, Challenge, and Future Prospect. **Rice Science**, v. 31, n. 1, p. 47–61, 2024.

HEINS, B. J.; PEREIRA, G. M.; SHARPE, K. T. Precision technologies to improve dairy grazing systems. **JDS Communications**, v. 4, n. 4, p. 318–323, 2023.

HOSNY, K. M. et al. Technologies, Protocols, and applications of Internet of Things in greenhouse Farming: A survey of recent advances. **Inf. Processing in Agriculture**, 2024.

JAFARBIGLU, H.; POURREZA, A. A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. **Comp. and Elec. in Agriculture**, v. 197, p. 106844, 2022.

JAVAID, M. et al. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. **International Journal of Intelligent Networks**, v. 3, p. 150–164, 2022.

KAKANI, V. et al. A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, p. 100033, 2020.

KAMRAN, M.; YAMAMOTO, K. Evolution and use of remote sensing in ecological vulnerability assessment: A review. **Ecological Indicators**, v. 148, p. 110099, 2023.

KGANYAGO, M. et al. Optical remote sensing of crop biophysical and biochemical parameters: An overview of advances in sensor technologies and machine learning algorithms for precision agriculture. **Comp. and Elec. in Agriculture**, v. 218, p. 108730, 2024.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90–91, p. 100315, 2019.

KONFO, T. R. C. et al. Recent advances in the use of digital technologies in agri-food processing: A short review. **Applied Food Research**, v. 3, n. 2, p. 100329, 2023.

KOUTSOS, T.M.; MENEXES, G.C.; DORDAS, C.A. An efficient framework for conducting systematic literature reviews in agricultural sciences. **Science of the Total Environment**, v. 682, p. 106–117, 2019.

LASSOUED, R.; PHILLIPS, P. W. B.; SMYTH, S. J. Exploratory analysis on drivers and barriers to Canadian prairie agricultural technology innovation and adoption. **Smart Agric. Technology**, v. 5, p. 100257, 2023.

LUBCZYNSKI, M. W.; LEBLANC, M.; BATELAAN, O. Remote sensing and hydrogeophysics give a new impetus to integrated hydrological models: A review. **Journal of Hydrology**, v. 633, p. 130901, 2024.

MATESE, A. et al. Are unmanned aerial vehicle-based hyperspectral imaging and machine learning advancing crop science? **Special issue: 21st century tools in plant science**, v. 29, n. 2, p. 196–209, 2024.



MENDELEY. Site institucional. Disponível em: <https://www.mendeley.com/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MOHER, D.; et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic Reviews**, v. 4, n.1, p. 02-09, 2015.

MÜLLEROVÁ, J. et al. Characterizing vegetation complexity with unmanned aerial systems (UAS) – A framework and synthesis. **Ecological Indicators**, v. 131, p. 108156, 2021.

NOBRE, F. L. D. L. et al. Use of drones in herbicide spot spraying: a systematic review. **Advances in Weed Science**, v. 41, p. e020230014, 2023.

NOSHIRI, N. et al. A comprehensive review of 3D convolutional neural network-based classification techniques of diseased and defective crops using non-UAV-based hyperspectral images. **Smart Agric. Technology**, v. 5, p. 100316, 2023.

PADHIARY, M. et al. Enhancing precision agriculture: A comprehensive review of machine learning and AI vision applications in all-terrain vehicle for farm automation. **Smart Agric. Technology**, v. 8, p. 100483, 2024.

PANDEY, D. K.; MISHRA, R. Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. **Artificial Int. in Agric.**, v. 12, p. 72–84, 2024.

PAPADOPOULOS, G. et al. Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. **Smart Agric. Technology**, v. 8, p. 100441, 2024.

PATHMUDI, V. R. et al. A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications. **Scientific African**, v. 19, p. e01577, 2023.

PETROVIĆ, B. et al. Application of precision agriculture technologies in Central Europe-review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, p. 101048, 2024.

RADOGLOU-GRAMMATIKIS, P. et al. A compilation of UAV applications for precision agriculture. **Computer Networks**, v. 172, p. 107148, 2020.

RAJ, M. et al. Leveraging precision agriculture techniques using UAVs and emerging disruptive technologies. **Energy Nexus**, v. 14, p. 100300, 2024.

RAM, B. G. et al. A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and future prospects. **Comp. and Elec. in Agriculture**, v. 222, p. 109037, 2024.

REJEB, A. et al. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. **Comp. and Elec. in Agriculture**, v. 198, p. 107017, 2022.

REJEB, A. et al. Precision agriculture: A bibliometric analysis and research agenda. **Smart Agric. Technology**, v. 9, p. 100684, 2024.

RESTREPO-ARIAS, J. F.; BRANCH-BEDOYA, J. W.; AWAD, G. Image classification on smart agriculture platforms: Systematic literature review. **Artificial Int. in Agric.**, v. 13, p. 1–17, 2024.

SARKAR, S. et al. Cyber-agricultural systems for crop breeding and sustainable production. **Special issue: 21st century tools in plant science**, v. 29, n. 2, p. 130–149, 2024.

SEIER, G. et al. Unmanned aircraft systems for protected areas: Gadgetry or necessity? **Journal for Nature Conservation**, v. 64, p. 126078, 2021.

SHAHI, T. B. et al. Recent Advances in Crop Disease Detection Using UAV and Deep Learning Techniques. **Remote Sens**, v. 15, n. 2450, p. 01-29, 2023.

SHANG, L. et al. Adoption and diffusion of digital farming technologies - integrating farm-level evidence and system interaction. **Agricultural Systems**, v. 190, p. 103074, 2021.



SRIDHAR, A. et al. Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review. **Sustainable Food Technology**, v. 1, n. 6, p. 783–802, 2023.

SUBEESH, A.; MEHTA, C. R. Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. **Art. Int. in Agric.**, v. 5, p. 278–291, 2021.

TALAVIYA, T. et al. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. **Art. Int. in Agric.**, v. 4, p. 58–73, 2020.

TALUKDER, B. et al. Towards complexity of agricultural sustainability assessment: Main issues and concerns. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 6, p. 100038, 2020.

TIAN, H. et al. Computer vision technology in agricultural automation —A review. **Inf. Processing in Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 1–19, 2020.

TSOUROS, D. C.; BIBI, S.; SARIGIANNIDIS, P. G. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. **Information**, v. 10, n. 11, p. 349, 2019.

VIJAYAKUMAR, V. et al. Smart spraying technologies for precision weed management: A review. **Smart Agric. Technology**, v. 6, p. 100337, 2023.

YADAV, M. et al. UAV-enabled approaches for irrigation scheduling and water body characterization. **Agric. Water Manag**, v. 304, p. 109091, 2024.

ZHANG, X.; FENG, G.; SUN, X. Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review. **J. of Agric. and Food Research**, v. 18, p. 101473, 2024.

ZHOU, J.; BRERETON, P.; CAMPBELL, K. Progress towards achieving intelligent food assurance systems. **Food Control**, v. 164, p. 110548, 2024.



---

## DECLARAÇÕES

---

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Cléria Regina Mossmann** e **Erlaine Binotto**, declaramos que o manuscrito intitulado "O potencial dos drones na Sustentabilidade Agrícola – Uma Revisão Sistemática" não possui vínculos financeiros ou relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Também, não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.