

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

KELIANE FERNANDES OLIVEIRA
RUAN OLIVEIRA MILHOMEM DA SILVA

USO DE DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: Uma Revisão Bibliográfica
Sobre Aplicações, Benefícios e Limitações

ARAGUATINS – TO
2026

KELIANE FERNANDES OLIVEIRA
RUAN OLIVEIRA MILHOMEM DA SILVA

USO DE DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: Uma Revisão Bibliográfica
Sobre Aplicações, Benefícios E Limitações

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso
Bacharelado em Engenharia Agrônômica
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, Campus
Araguatins, como parte das exigências à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Dra. Erica Ribeiro de Sousa
Simonetti

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

O48u Oliveira, Keliane Fernandes
 Uso de drones na agricultura de precisão: uma revisão bibliográfica sobre
 aplicações, benefícios e limitações / Keliane Fernandes Oliveira, Ruan Oliveira
 Milhomem da Silva. – Araguatins, TO, 2026.
 39 f. : il.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica)
 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO,
 Araguatins, TO, 2026.

 Orientadora: Dra. Erica Ribeiro de Sousa Simonetti.

 1. Agricultura de precisão. 2. Drones. 3. Vants. I. Silva, Ruan Oliveira
 Milhomem da. II. Simonetti, Erica Ribeiro de Sousa. III. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).**



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “USO DE DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: Uma Revisão Bibliográfica Sobre Aplicações, Benefícios E Limitações”.

AUTORES : Keliane Fernandes Oliveira e Ruan Oliveira Milhomem da Silva

ORIENTADORA: Erica Ribeiro de Sousa Simonetti

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 06 de agosto de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Erica Ribeiro de Sousa Simonetti, Servidora**, em 06/08/2026, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Rogerio Pereira Leite, Servidor**, em 06/08/2026, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Jose de Oliveira Boaventura, Servidor**, em 06/08/2026, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftoc.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3246096** e o código CRC **A50739B6**.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais
Aparecida Fernandes, Adão Ferreira da
Silva e Jovelina Oliveira Milhomem da
Silva. Aos nossos amigos. Aos nossos
familiares. Aos produtores rurais. Aos
estudantes do curso de agrárias. E de
forma especial, a
Deus!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, que ao longo de toda a nossa trajetória nos conduziu pelos caminhos certos, permitindo-nos viver experiências extraordinárias e fortalecendo nossa união como casal. Ele, que é o caminho, a verdade e a vida, esteve presente em todos os momentos, sendo o alicerce do nosso relacionamento e nos sustentando diante de cada desafio enfrentado durante essa jornada.

Agradecemos, também, aos nossos pais, que, ao longo de todo o curso, não mediram esforços para nos apoiar, incentivar e orientar, especialmente nos momentos mais difíceis. O curso de Engenharia Agrônômica apresenta desafios significativos, com disciplinas exigentes, e sem o suporte e a dedicação dessas pessoas tão importantes, não teríamos conseguido seguir adiante nessa caminhada.

De forma especial, expressamos nossa gratidão aos amigos que estiveram ao nosso lado durante essa trajetória acadêmica, compartilhando aprendizados, desafios e conquistas. A convivência e o apoio mútuo foram fundamentais para nossa formação, tanto profissional quanto pessoal. Destacamos, em especial, Ismael Reis Costa, Francisco Emerique, Gustavo Borges, Gustavo de Sá, Matheus Braúna e Ana Paula Pereira que contribuíram diretamente com o companheirismo e incentivo ao longo dessa jornada.

Agradecemos também ao nosso amigo Marcione Braga e à sua empresa Mage Consultoria, que tiveram papel essencial na nossa formação prática. Durante o período acadêmico, tivemos a oportunidade de vivenciar na prática aspectos importantes da pecuária regional, por meio do estágio concedido, o que contribuiu significativamente para o nosso desenvolvimento profissional. Somos gratos pela confiança, pelos ensinamentos e pela troca de experiências proporcionadas.

Ao IFTO – Campus Araguatins, expressamos nossa sincera gratidão pela estrutura oferecida e pela qualidade do ensino proporcionado ao longo do curso. A instituição, juntamente com seu corpo docente, foi fundamental para nossa formação acadêmica e humana. Agradecemos, em especial, aos professores Alessandro Oliveira, Danilo da Matta, Wyratan da Silva, Tarcísio Vieira, Samuel de Deus, Leandro Boaventura, Roberta de Freitas, Miguel Camargo, Marcio Rogerio e Raimundo Laerton, pelos ensinamentos compartilhados.

Por fim, agradecemos de maneira especial à nossa orientadora, a professora Dra. Erica Ribeiro de Sousa Simonetti, pela dedicação, paciência e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho e de toda a nossa trajetória acadêmica. Sua contribuição foi essencial para a concretização deste TCC.

“Se algum de vocês
precisar de sabedoria,
peça-a a nosso Deus
generoso, e ele a
concederá”. Tiago 1:5

RESUMO

O uso de drones na agricultura de precisão tem se consolidado como uma importante ferramenta tecnológica para a modernização das atividades agrícolas, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e a otimização do manejo das culturas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar as aplicações, benefícios e limitações do uso de drones no setor agrícola, com base em uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa e caráter descritivo, realizada a partir do levantamento de artigos científicos, livros e documentos técnicos em bases de dados como SciELO, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES. Os resultados evidenciam que os drones são amplamente utilizados em atividades como monitoramento de lavouras, mapeamento aéreo, identificação de pragas e doenças, aplicação de insumos e estimativa de produtividade, proporcionando maior precisão na tomada de decisões. Entre os principais benefícios, destacam-se a redução de custos operacionais, a otimização do uso de insumos, o aumento da produtividade e a contribuição para a sustentabilidade ambiental. Por outro lado, foram identificadas limitações relacionadas ao alto custo inicial de aquisição, à necessidade de capacitação técnica, às restrições de autonomia de voo, às condições climáticas e às exigências regulatórias. Portanto, apesar dos desafios, os drones apresentam elevado potencial para o desenvolvimento da agricultura de precisão, configurando-se como uma tecnologia estratégica para o avanço do agronegócio.

Palavras- Chave: Agricultura de precisão; drones; VANTs; tecnologias digitais; agronegócio.

ABSTRACT

The use of drones in precision agriculture has emerged as an important technological tool for the modernization of agricultural activities, contributing to increased production efficiency and improved crop management. In this context, this study aimed to analyze the applications, benefits, and limitations of drone use in the agricultural sector, based on a qualitative and descriptive literature review conducted through the analysis of scientific articles, books, and technical documents from databases such as SciELO, Google Scholar, and the CAPES Journal Portal. The results indicate that drones are widely used in activities such as crop monitoring, aerial mapping, pest and disease detection, input application, and yield estimation, providing greater accuracy in decision-making processes. Among the main benefits, the reduction of operational costs, optimization of input use, increased productivity, and contributions to environmental sustainability stand out. On the other hand, limitations were identified, including high initial costs, the need for technical training, limited flight autonomy, dependence on weather conditions, and regulatory requirements. It is concluded that, despite these challenges, drones have great potential for the advancement of precision agriculture, representing a strategic technology for the development of modern agribusiness.

Keywords: Precision agriculture; drones; UAVs; digital technologies; agribusiness.

Lista de Figuras

Figura 1 - Integração das principais tecnologias empregadas na Agricultura de Precisão.....	18
Figura 2 - a) modelo de drone multirrotor, b) modelo de drone asa fixa.....	19
Figura 3 - Componentes básicos de um drone.....	19
Figura 4 - Câmera Multiespectral FS-50/30.....	21
Figura 5 - Câmera Hiperespectral FS-64C.....	22
Figura 6 - Câmera Térmica Profissional DJI.....	23
Figura 7 - LiDAR Profissional DJI.....	23
Figura 8 - Drone de pulverização AGRAS T40.....	27
Figura 9 - Fluxograma prisma da seleção dos estudos.....	32

Lista de Gráficos

Gráfico 1 : Principais Benefícios do Uso de Drone na Agricultura.....	33
---	----

Lista de Quadros

Quadro 1 – Comparação entre Agricultura 4.0 e Agricultura 5.0.....	16
Quadro 2 – Relação entre sensores embarcados e suas aplicações na agricultura de precisão.....	24
Quadro 3 – Principais índices de vegetação utilizados na agricultura de precisão por meio de drones.....	26
Quadro 4 - Comparação dos principais estudos sobre a utilização de drones na agricultura de precisão	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Agricultura de Precisão.....	15
2.2 Tecnologias Digitais no Campo.....	16
2.3 Drones (VANTs) na Agricultura.....	18
2.4 Sensores e câmeras embarcadas em drones agrícolas.....	20
2.4.1 Câmeras RGB.....	20
2.4.2 Câmeras multiespectrais.....	20
2.4.3 Câmeras hiperespectrais.....	21
2.4.4 Câmeras térmicas.....	22
2.4.5 Sensores LiDAR.....	23
2.4.6 Índices de vegetação obtidos por sensores embarcados.....	24
2.5 Aplicações dos Drones.....	27
2.6 Benefícios do Uso de Drones.....	28
2.7 Limitações e Desafios.....	28
2.8 Aspectos legais e regulamentação do uso de drones no Brasil.....	29
3. METODOLOGIA.....	31
3.1 Tipo de pesquisa.....	31
3.2 Procedimentos metodológicos.....	31
3.3 Critérios de seleção.....	31
3.4 Análise dos dados.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Principais aplicações identificadas.....	32
4.2 Benefícios observados.....	33
4.3 Limitações encontradas.....	34
4.4 Comparação entre estudos.....	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem passado por intensas transformações nas últimas décadas, impulsionadas principalmente pelo avanço tecnológico e pela crescente demanda por alimentos. Nesse contexto, a modernização do setor agropecuário tornou-se essencial para aumentar a produtividade e, ao mesmo tempo, promover o uso mais eficiente dos recursos naturais. Segundo Bernardi et al. (2014), a adoção de tecnologias no campo tem contribuído significativamente para a melhoria da eficiência produtiva e da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Diante desse cenário, destaca-se a agricultura de precisão, que se baseia na utilização de tecnologias para o manejo detalhado das áreas agrícolas, considerando a variabilidade existente no campo. De acordo com Molin, Amaral e Colaço (2015), essa abordagem permite ao produtor realizar intervenções mais assertivas, otimizando o uso de insumos e reduzindo desperdícios. Nesse sentido, a agricultura de precisão representa uma importante estratégia para o desenvolvimento da agricultura moderna.

O conceito de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) abrange diversas aeronaves que operam sem piloto a bordo, sejam elas controladas à distância ou programadas para voar sozinhas. De acordo com a ABA (Associação Brasileira de Aeromodelismo), trata-se de um equipamento que voa livremente na atmosfera e que foi concebido para dispensar a presença humana na cabine. Já o Sistema Aéreo Não Tripulado (SANT) é a estrutura completa, englobando a aeronave, os comandos de voo e toda a logística operacional necessária para a missão (JORGE; INAMASU, 2014).

Entre as tecnologias emergentes inseridas nesse contexto, os drones têm ganhado destaque devido à sua versatilidade e eficiência no monitoramento agrícola. Conforme Silva, Souza e Rocha (2017), os veículos aéreos não tripulados permitem a obtenção de imagens de alta resolução, facilitando a identificação de problemas nas lavouras, como pragas, doenças e estresse hídrico. Além disso, esses equipamentos também podem ser utilizados em atividades como a pulverização localizada.

O setor de sensores representa, hoje, a maior fronteira de inovação na Agricultura de Precisão (AP). Por meio de variadas tecnologias de detecção, essas ferramentas permitem o mapeamento detalhado de indicadores do solo e da vegetação com uma densidade de dados muito superior aos métodos convencionais de amostragem. Essa abundância de informações diminui a dependência de interpolações e estimativas imprecisas, resultando em uma análise muito mais fiel e confiável da variabilidade real presente no campo (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Nesse sentido, “o uso de drones na agricultura possibilita maior agilidade na coleta de informações e contribui para a tomada de decisões mais precisas” (SILVA; SOUZA; ROCHA, 2017, p. 681). Dessa forma, observa-se que essa tecnologia está diretamente relacionada ao aumento da produtividade e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Apesar das diversas vantagens, ainda existem limitações para a ampla adoção dos drones na agricultura, como os custos elevados, a necessidade de capacitação técnica e as regulamentações específicas. Assim, torna-se relevante analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, as aplicações, benefícios e limitações dessa tecnologia no contexto da agricultura de precisão.

Nos últimos anos, o uso de drones na agricultura de precisão tem se expandido significativamente, sendo reconhecido como uma ferramenta promissora para o monitoramento e manejo das lavouras. Essa tecnologia possibilita a coleta de dados em tempo real, maior precisão na identificação de problemas nas culturas e apoio à tomada de

decisões no campo. No entanto, apesar das diversas vantagens apresentadas, a adoção dos drones ainda enfrenta algumas limitações que dificultam sua ampla utilização pelos produtores rurais.

Entre os principais desafios, destacam-se os altos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos, a necessidade de capacitação técnica para operação, interpretação dos dados e identificação de condições ideais de aplicação, além das regulamentações específicas que controlam o uso de aeronaves não tripuladas. Esses fatores podem limitar o acesso à tecnologia, principalmente por pequenos e médios produtores, reduzindo o seu potencial de aplicação no setor agrícola.

Diante desse contexto, torna-se necessário compreender de forma mais aprofundada como o uso de drones tem contribuído para a agricultura de precisão, bem como identificar suas principais limitações no cenário atual. Assim, este estudo busca responder ao seguinte problema de pesquisa: como o uso de drones tem contribuído para a agricultura de precisão e quais são suas principais limitações?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão tem suas bases históricas associadas à percepção da variabilidade espacial das áreas agrícolas, conceito que, embora formalizado recentemente, já era observado há muito tempo pelos agricultores. Um dos primeiros registros científicos dessa abordagem data de 1929, quando Linsley e Bauer recomendaram a elaboração de mapas de acidez do solo a partir de amostragens em grade, com o objetivo de orientar a aplicação de calcário. Essa prática demonstrava que o solo não é uniforme e que diferentes áreas dentro de uma mesma propriedade apresentam características distintas, exigindo manejos específicos. No entanto, apesar dessa constatação inicial, a adoção desse tipo de manejo foi limitada por questões operacionais, principalmente em áreas extensivas, onde a mecanização dificultava a diferenciação das zonas de manejo (RICARDO; ALBERTO, 2014).

O avanço da agricultura de precisão ocorreu de forma mais significativa a partir da década de 1980, com o desenvolvimento de tecnologias como a eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, sistemas de geoprocessamento e softwares de mapeamento. Nesse período, o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), iniciado em 1978 e operacionalizado em 1995, representou um marco importante, pois possibilitou o georreferenciamento de dados agrícolas. A partir disso, tornou-se viável o monitoramento da produtividade em tempo real e o mapeamento detalhado das lavouras. Em 1996, o lançamento de colhedoras com capacidade de gerar mapas de produtividade impulsionou a expansão da agricultura de precisão no mundo, permitindo a aplicação de insumos em taxas variáveis conforme a necessidade de cada área (BASSOI et al., 2019).

No Brasil, a consolidação da agricultura de precisão ocorreu principalmente a partir da década de 1990, com a abertura do mercado e a incorporação de tecnologias digitais no setor agrícola. A realização do primeiro simpósio sobre o tema, em 1996, e o desenvolvimento de projetos de pesquisa pela Embrapa a partir de 1999 foram fundamentais para a difusão do conhecimento e avanço das práticas no país. Inicialmente, a tecnologia era associada a altos custos e ao uso de máquinas de grande porte, o que restringia sua adoção a grandes produtores. No entanto, com o avanço tecnológico e a ampliação do acesso às ferramentas digitais, a agricultura de precisão passou a ser compreendida não apenas como um conjunto de máquinas sofisticadas, mas como um sistema de gestão baseado na variabilidade das lavouras. Assim, ao longo dos anos, essa abordagem evoluiu,

consolidando-se como uma importante estratégia para aumentar a eficiência produtiva e promover a sustentabilidade no setor agrícola. (RICARDO; ALBERTO, 2014).

A agricultura de precisão (AP) pode ser entendida como uma estratégia de manejo que leva em consideração a variabilidade espacial das áreas agrícolas, permitindo a aplicação localizada de insumos como fertilizantes, corretivos, pesticidas, sementes e água. Além disso, ao considerar também a variabilidade temporal, essa abordagem possibilita o uso mais eficiente desses recursos, aplicando-os no momento, local e quantidade adequados, o que resulta em benefícios tanto econômicos quanto ambientais (BASSOI et al., 2019).

Na agricultura de precisão, o uso de tecnologias como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenha papel fundamental na coleta, organização e análise de dados agrícolas. O GPS possibilita o georreferenciamento das informações obtidas no campo, permitindo a elaboração de mapas de produtividade e a identificação da variabilidade do solo, o que contribui para a aplicação mais precisa de insumos (ANTONINI et al., 2018). Já os SIG são responsáveis por integrar, processar e interpretar esses dados, auxiliando na criação de mapas temáticos e no planejamento de práticas de manejo mais eficientes (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020). Dessa forma, a utilização conjunta dessas ferramentas permite ao produtor tomar decisões mais assertivas, promovendo maior eficiência produtiva e redução de desperdícios no sistema agrícola.

2.2 Tecnologias Digitais no Campo

A evolução da Agricultura de Precisão impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias digitais voltadas à gestão agrícola, dando origem aos conceitos de Agricultura 4.0 e, mais recentemente, Agricultura 5.0. Esses modelos representam diferentes níveis de integração tecnológica no campo e são caracterizados pela utilização de ferramentas capazes de coletar, transmitir, processar e interpretar grandes volumes de dados, tornando as operações agrícolas cada vez mais inteligentes, eficientes e sustentáveis. Segundo Wolfert et al. (2017), a digitalização da agricultura possibilita maior controle sobre os processos produtivos, permitindo decisões baseadas em dados e informações em tempo real.

Desse modo, a Agricultura 5.0 representa uma evolução da Agricultura 4.0, com foco no uso de tecnologias avançadas para aumentar a eficiência, produtividade e sustentabilidade no setor agrícola. Essa abordagem integra áreas como tecnologia da informação, biologia e indústria, utilizando ferramentas como inteligência artificial, Big Data, Internet das Coisas e robótica. Nesse contexto, o sensoriamento remoto se destaca como uma importante ferramenta para auxiliar na tomada de decisões e no uso mais eficiente dos recursos naturais, contribuindo para uma produção agrícola mais sustentável (MARTOS et al., 2021).

Quadro 1 – Comparação entre Agricultura 4.0 e Agricultura 5.0

Aspecto	Agricultura 4.0	Agricultura 5.0
Objetivo	Digitalização e automação da produção agrícola	Produção inteligente, sustentável e centrada no ser humano
Base Tecnológica	GPS, SIG, sensores, drones, IoT, Big Data	IA, IoT, robótica avançada, computação em nuvem, análise preditiva
Tomada De Decisão	Baseada em dados coletados	Baseada em dados e inteligência

	no campo	artificial
Papel Do Produtor	Operador das tecnologias	Gestor estratégico apoiado por sistemas inteligentes
Sustentabilidade	Uso racional dos insumos	Integra sustentabilidade, produtividade e responsabilidade ambiental
Integração Tecnológica	Média	Muito alta

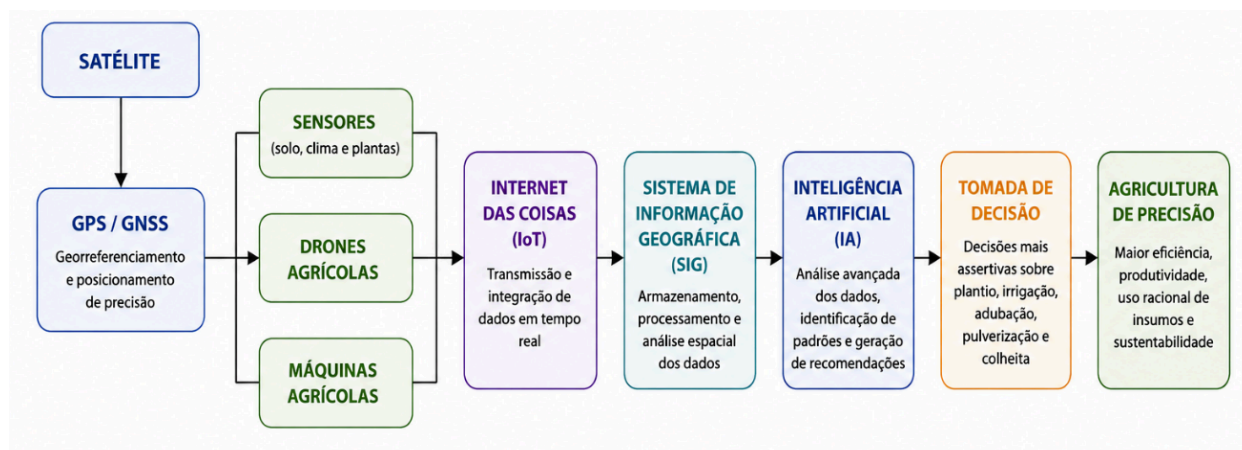
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Wolfert et al. (2017), Martos et al. (2021) e Basso et al. (2019).

O sensoriamento remoto (SR) consiste na obtenção de informações sobre determinado objeto ou área sem a necessidade de contato direto, podendo ocorrer inclusive a grandes distâncias. Inicialmente, essa técnica era realizada por meio de câmeras acopladas a diferentes plataformas, como aeronaves, balões e até mesmo dispositivos menos convencionais. Com o avanço tecnológico, atualmente o SR é realizado por meio de diversas plataformas modernas, como satélites, aeronaves tripuladas, veículos aéreos não tripulados (VANTs) e máquinas agrícolas equipadas com sensores. Essa tecnologia apresenta ampla aplicabilidade no setor agrícola, destacando-se na estimativa de biomassa e produtividade das culturas, no monitoramento do estresse hídrico e do vigor das plantas, além da avaliação dos estádios fenológicos, contribuindo significativamente para o manejo mais eficiente das lavouras (SHIRATSUCHI, 2014).

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) tem se destacado como uma das principais tecnologias aplicadas no campo, ela consiste na conexão de dispositivos e equipamentos capazes de coletar e transmitir dados continuamente, como sensores de solo, estações meteorológicas e máquinas agrícolas. De acordo com Ray (2018), essa tecnologia permite o monitoramento constante das condições ambientais e do desenvolvimento das culturas, contribuindo para a otimização do uso de insumos e aumento da produtividade. Assim, a IoT possibilita maior precisão no manejo agrícola, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência das operações no campo.

Diante desse cenário, observa-se que a integração de tecnologias digitais, como Agricultura 4.0, Internet das Coisas, Big Data, sensoriamento remoto e sistemas de georreferenciamento, tem transformado significativamente a forma de condução das atividades agrícolas. Essas ferramentas permitem a coleta, processamento e análise de dados com maior precisão, favorecendo a tomada de decisões mais eficientes no manejo das culturas. Nesse contexto, os drones agrícolas se destacam como uma das principais inovações tecnológicas, pois atuam diretamente na obtenção de informações em campo por meio de imagens e sensores, além de possibilitarem intervenções mais rápidas e localizadas. Dessa forma, os drones representam a aplicação prática e integrada dessas tecnologias no ambiente agrícola, consolidando-se como ferramentas essenciais para o avanço da agricultura de precisão, especialmente no monitoramento, análise e manejo das lavouras.

Figura 1 - Integração das principais tecnologias empregadas na Agricultura de Precisão



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Molin, Amaral e Colaço (2015), Wolfert et al. (2017), Martos et al. (2021), Jorge e Inamasu (2014) e Basso et al. (2019).

A Figura 1 ilustra a integração das principais tecnologias utilizadas na agricultura de precisão. Observa-se que o posicionamento por GPS/GNSS, associado a sensores, drones, Internet das Coisas (IoT), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Inteligência Artificial (IA), possibilita a coleta, o processamento e a análise de dados em tempo real, fornecendo suporte à tomada de decisão e contribuindo para uma produção agrícola mais eficiente, sustentável e baseada em informações georreferenciadas.

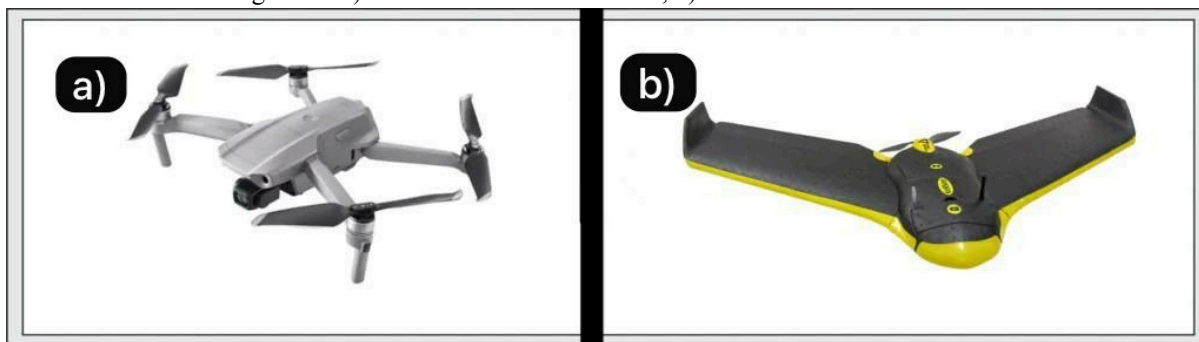
2.3 Drones (VANTs) na Agricultura

Os drones, também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), podem ser definidos como aeronaves que operam sem a presença de um piloto a bordo, sendo controladas remotamente ou por meio de rotas previamente programadas. De acordo com Kachroo et al. (2018), esses equipamentos são capazes de executar voos autônomos e são equipados com sensores e câmeras que permitem a coleta de imagens e dados em tempo real.

Os drones utilizados na agricultura podem ser classificados, de forma geral, em dois principais tipos: drones de asa fixa e drones multirotores, cada um apresentando características específicas que influenciam diretamente sua aplicação no campo. Os drones de asa fixa possuem estrutura semelhante à de aeronaves convencionais, sendo mais indicados para operações em larga escala, devido à sua maior autonomia de voo e eficiência energética. De acordo com Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), esses equipamentos são amplamente utilizados no mapeamento de grandes áreas agrícolas, permitindo a coleta de dados com maior rapidez e menor custo operacional. No entanto, apresentam limitações relacionadas à necessidade de áreas adequadas para decolagem e pouso, além da menor capacidade de voo estacionário, o que pode restringir sua aplicação em atividades que exigem maior precisão.

Por outro lado, os drones multirotores, como quadricópteros, hexacópteros e octocópteros, têm se destacado no setor agrícola devido à sua versatilidade e facilidade de operação. Esses equipamentos possuem a capacidade de decolagem e pouso vertical, além de maior estabilidade durante o voo, o que permite a realização de atividades mais detalhadas, como o monitoramento de culturas e a aplicação localizada de insumos. Segundo Kalamkar et al. (2020), esses equipamentos podem ser utilizados para coleta de dados em tempo real e apoio à tomada de decisões no campo. Dessa forma, os drones multirotores são amplamente utilizados em práticas que exigem maior precisão, como pulverização direcionada e inspeção de lavouras.

Figura 2 - a) modelo de drone multirotor, b) modelo de drone asa fixa.

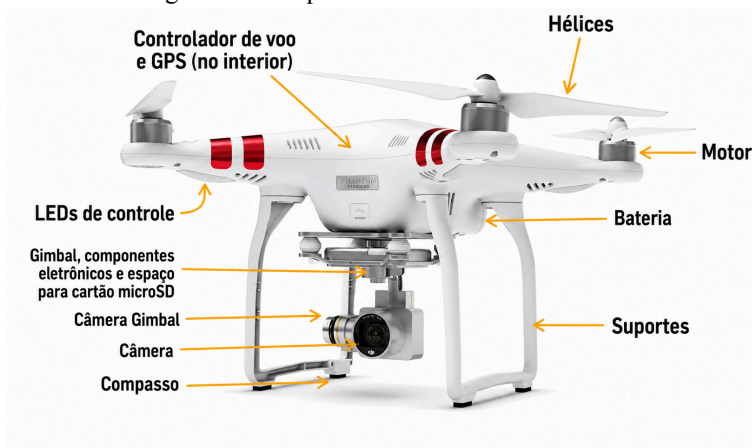


Fonte: GIOVANINI (2021).

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), além da própria aeronave, são compostos por diferentes sistemas que garantem seu funcionamento eficiente e seguro. Um dos principais componentes é a estação de controle em solo, conhecida como Ground Control Station (GCS), que permite ao operador planejar as missões e acompanhar o voo em tempo real. Por meio dessa estação, é possível visualizar o trajeto da aeronave, bem como sua posição durante a operação. Além disso, os drones contam com sistemas de posicionamento global (GPS) associados a unidades de navegação inercial (IMU), responsáveis por melhorar a precisão da localização. Isso ocorre porque o GPS, isoladamente, pode apresentar erros, sendo necessário o uso da navegação inercial para garantir maior exatidão na determinação da posição do equipamento (JORGE; INAMASU, 2014).

A navegação inercial é baseada em sensores que medem aceleração e orientação, permitindo calcular a posição do drone sem depender de sinais externos, o que a torna menos suscetível a interferências. Outro componente essencial é o sistema de controle de voo automático, também conhecido como piloto automático ou Autonomous Flight Control System (AFCS), que recebe comandos da estação de controle e executa as operações de forma autônoma. Esse sistema é formado por elementos como unidade inercial, magnetômetro, GPS, sistema de comunicação por rádio e um computador de voo. Jorge E Inamasu (2014), também cita que o sistema de controle é fundamental para manter a estabilidade da aeronave e garantir o cumprimento da rota planejada. Com os avanços tecnológicos e a redução dos custos dos componentes eletrônicos, esses sistemas tornaram-se mais acessíveis, possibilitando o desenvolvimento e a popularização dos drones em diversas áreas, incluindo a agricultura.

Figura 3 - Componentes básicos de um drone



Fonte: Espaço Visual (2023)

2.4 Sensores e câmeras embarcadas em drones agrícolas

O desempenho dos drones na agricultura de precisão está diretamente relacionado aos sensores embarcados utilizados durante as operações de campo. Esses dispositivos são responsáveis pela aquisição de imagens e informações espectrais que permitem avaliar, de maneira rápida e não destrutiva, diferentes características das culturas agrícolas. Segundo Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), a evolução dos sensores embarcados transformou os veículos aéreos não tripulados em plataformas capazes de fornecer dados de alta resolução espacial e temporal, ampliando significativamente as possibilidades de monitoramento agrícola. Mais recentemente, Agrawal et al. (2024) destacam que a integração entre sensores ópticos, inteligência artificial e aprendizado de máquina tem elevado a precisão das análises agronômicas, permitindo que os drones atuem como ferramentas estratégicas para a agricultura digital.

De maneira geral, os sensores utilizados em drones agrícolas podem ser classificados em câmeras RGB, câmeras multiespectrais, câmeras hiperespectrais, câmeras térmicas e sensores LiDAR. Cada tecnologia apresenta características específicas quanto ao tipo de informação coletada, resolução espectral, custo de aquisição e aplicações agronômicas, sendo escolhida conforme os objetivos do monitoramento e as necessidades de cada sistema de produção.

2.4.1 Câmeras RGB

As câmeras RGB (Red, Green and Blue) constituem o sensor mais difundido nos drones agrícolas devido ao seu baixo custo, facilidade de operação e elevada resolução espacial. Essas câmeras registram informações correspondentes às bandas do espectro visível — vermelho, verde e azul — produzindo imagens semelhantes às observadas pelo olho humano. Embora apresentem limitações quanto à obtenção de informações espectrais mais detalhadas, permitem excelente representação visual das lavouras, sendo amplamente empregadas no mapeamento de áreas agrícolas, geração de ortomosaicos, inspeção do estande de plantas, identificação de falhas de plantio, acompanhamento do desenvolvimento vegetativo e avaliação de danos provocados por fatores climáticos, como ventos, geadas e inundações. Segundo Mashori et al. (2026), sensores RGB embarcados em drones possibilitam a produção de imagens de alta resolução espacial, fundamentais para análises estruturais das culturas e identificação de anomalias em grandes áreas agrícolas.

Além disso, pesquisas recentes demonstram que imagens RGB associadas a algoritmos de inteligência artificial podem fornecer resultados comparáveis aos obtidos por sensores multiespectrais em determinadas aplicações, especialmente na estimativa do vigor vegetativo e identificação de plantas sob estresse. Dessa forma, a combinação entre imagens RGB e técnicas avançadas de processamento tem ampliado significativamente o potencial dessa tecnologia na agricultura de precisão, oferecendo uma alternativa economicamente viável para pequenos e médios produtores.

2.4.2 Câmeras multiespectrais

As câmeras multiespectrais representam atualmente uma das tecnologias mais empregadas na agricultura de precisão. Diferentemente das câmeras RGB, esses sensores capturam informações em bandas específicas do espectro eletromagnético, incluindo comprimentos de onda localizados no azul, verde, vermelho, red-edge e infravermelho próximo (Near Infrared – NIR). Essa característica permite calcular índices de vegetação, como NDVI, NDRE, GNDVI e SAVI, amplamente utilizados para avaliar vigor vegetativo,

deficiência nutricional, estresse hídrico, presença de doenças e potencial produtivo das culturas. Segundo Zhang et al. (2025), os sensores multiespectrais constituem atualmente a principal ferramenta empregada em drones destinados ao monitoramento agrícola, permitindo análises quantitativas altamente precisas sobre o estado fisiológico das plantas.

Outro aspecto importante refere-se à capacidade desses sensores em detectar alterações fisiológicas antes que os sintomas sejam perceptíveis visualmente. Como consequência, o produtor pode realizar intervenções precoces, reduzindo perdas econômicas e aumentando a eficiência do manejo agrícola. De acordo com Agrawal et al. (2024), a integração entre sensores multiespectrais, inteligência artificial e aprendizado de máquina representa uma das principais tendências da agricultura de precisão, permitindo diagnósticos automatizados e maior precisão na tomada de decisões agrônomicas.

Figura 4 - Câmera Multiespectral FS-50/30



Fonte: IATEC PLANT SOLUTION (2026)

2.4.3 Câmeras hiperespectrais

As câmeras hiperespectrais representam a tecnologia mais avançada entre os sensores ópticos atualmente disponíveis para drones agrícolas. Enquanto sensores multiespectrais registram poucas bandas específicas, os sensores hiperespectrais capturam centenas de bandas contínuas ao longo do espectro eletromagnético, permitindo identificar pequenas diferenças na composição química e fisiológica das plantas. Essa elevada resolução espectral possibilita detectar alterações relacionadas à deficiência nutricional, estresse hídrico, doenças, contaminação por metais pesados e características bioquímicas das culturas com elevado grau de precisão. Segundo Guerri et al. (2023), a imagem hiperespectral fornece informações espectrais extremamente detalhadas, tornando-se uma ferramenta promissora para o monitoramento agrícola de alta precisão.

Apesar das vantagens, sua utilização ainda é limitada pelo elevado custo dos equipamentos, grande volume de dados gerados e necessidade de softwares especializados para processamento das imagens. Dessa forma, seu emprego permanece concentrado

principalmente em pesquisas científicas, universidades e grandes empresas do agronegócio, embora o avanço tecnológico indique uma tendência de maior utilização nos próximos anos.

Figura 5 - Câmera Hiperespectral FS-64C



Fonte: IATEC PLANT SOLUTION (2026)

2.4.4 Câmeras térmicas

As câmeras térmicas diferenciam-se dos demais sensores por registrarem a radiação infravermelha emitida pelos objetos, permitindo estimar sua temperatura superficial. Na agricultura de precisão, essas informações são utilizadas principalmente para detectar estresse hídrico, falhas de irrigação, doenças, ataque de pragas e alterações fisiológicas das plantas. Como a temperatura foliar aumenta antes do aparecimento de sintomas visíveis de deficiência hídrica, esses sensores possibilitam diagnósticos precoces, contribuindo para o manejo mais eficiente da irrigação e dos recursos hídricos. Sharma et al. (2025) destacam que sensores térmicos embarcados em drones representam uma das principais tecnologias para monitoramento da água em culturas agrícolas, especialmente quando integrados a sensores multiespectrais.

Além da gestão da irrigação, imagens térmicas podem ser utilizadas na avaliação da eficiência fotossintética, monitoramento do desenvolvimento das culturas e identificação de áreas submetidas a diferentes condições microclimáticas. Segundo Guebsi et al. (2024), câmeras térmicas apresentam resolução suficiente para identificar pequenas variações de temperatura nas plantas, permitindo intervenções mais rápidas e contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Figura 6 - Câmera Térmica Profissional DJI



Fonte: IATEC PLANT SOLUTION (2026)

2.4.5 Sensores LiDAR

Nos últimos anos, os sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) passaram a ocupar posição de destaque entre as tecnologias embarcadas em drones agrícolas. Diferentemente das câmeras ópticas, o LiDAR utiliza pulsos de laser para medir distâncias entre o sensor e os objetos presentes na superfície, gerando modelos tridimensionais extremamente precisos das culturas e do terreno. Essa tecnologia permite estimar altura das plantas, volume da copa, biomassa, relevo, declividade e estrutura da vegetação, mesmo em ambientes parcialmente cobertos por dossel vegetal. Segundo Farhan et al. (2024), o LiDAR apresenta elevado potencial para aplicações relacionadas ao monitoramento do crescimento das culturas, estimativa de produtividade e planejamento agrícola baseado em modelos tridimensionais de alta precisão.

Embora apresente custo superior ao dos sensores ópticos convencionais, a tendência é de crescente utilização em operações agrícolas que demandam elevado nível de detalhamento espacial, especialmente quando combinado às imagens multiespectrais e térmicas. Essa integração permite construir modelos digitais altamente completos, fornecendo ao produtor informações estruturais e fisiológicas das culturas em uma única operação de voo.

Figura 7 -LiDAR Profissional DJI



Fonte: IATEC PLANT SOLUTIONS (2026)

Quadro 2 – Relação entre sensores embarcados e suas aplicações na agricultura de precisão

Sensor embarcado	Faixa espectral	Informações obtidas	Principais aplicações na agricultura de precisão
RGB	Espectro visível (R, G e B)	Imagens coloridas de alta resolução	Mapeamento de áreas, ortomosaicos, falhas de plantio, contagem de plantas, inspeções visuais e acompanhamento do desenvolvimento das culturas.
Multiespectral	Azul, Verde, Vermelho, Red Edge e Infravermelho Próximo (NIR)	Índices de vegetação (NDVI, NDRE, GNDVI, SAVI, entre outros)	Monitoramento nutricional, vigor vegetativo, estresse hídrico, identificação de pragas e doenças e estimativa de produtividade.
Hiperespectral	Centenas de bandas espectrais contínuas	Informações espectrais detalhadas da vegetação	Pesquisa científica, identificação precoce de doenças, deficiência nutricional, caracterização bioquímica das plantas.
Térmico	Infravermelho termal	Temperatura da superfície vegetal	Deteção de estresse hídrico, manejo da irrigação, identificação de doenças e monitoramento da eficiência do uso da água.
LiDAR	Laser (Light Detection and Ranging)	Modelo tridimensional da vegetação e do terreno	Estimativa da altura das plantas, biomassa, relevo, volume de copa, modelagem 3D e planejamento agrícola.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Jorge e Inamasu (2014), Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), Farhan et al. (2024), Agrawal et al. (2024) e Guebsi et al. (2024).

Conforme apresentado no Quadro 2, cada sensor embarcado possui características espectrais e aplicações específicas, sendo escolhido de acordo com o objetivo da operação agrícola. Enquanto sensores RGB são mais indicados para inspeções visuais e mapeamentos convencionais, sensores multispectrais, hiperespectrais, térmicos e LiDAR fornecem informações mais detalhadas sobre o estado fisiológico das plantas, o relevo e a estrutura da vegetação. Dessa forma, a seleção adequada do sensor influencia diretamente a qualidade das informações obtidas e a eficiência das decisões no manejo agrícola.

2.4.6 Índices de vegetação obtidos por sensores embarcados

Os sensores multispectrais e hiperespectrais embarcados em drones permitem a obtenção de informações que vão além da simples representação visual das culturas. A partir da combinação matemática entre diferentes bandas do espectro eletromagnético, são gerados os chamados índices de vegetação (Vegetation Indices – VIs), utilizados para quantificar características relacionadas ao desenvolvimento fisiológico das plantas, como vigor vegetativo, teor de clorofila, biomassa, disponibilidade hídrica e estado nutricional. Segundo Radočaj et al. (2023), esses índices constituem uma das ferramentas mais importantes da agricultura de precisão, pois fornecem informações quantitativas sobre o crescimento e a saúde das culturas, permitindo intervenções mais eficientes no manejo agrícola. Além disso,

os autores destacam que o desenvolvimento contínuo dos sensores embarcados tem ampliado significativamente o número de índices disponíveis, aumentando a precisão das análises agronômicas.

Entre os índices mais difundidos destaca-se o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), calculado a partir da refletância das bandas do vermelho (Red) e do infravermelho próximo (Near Infrared – NIR). Esse índice é amplamente empregado na avaliação do vigor vegetativo, na estimativa da biomassa e no monitoramento do desenvolvimento das culturas ao longo do ciclo produtivo. Conforme afirmam Radočaj et al. (2023), o NDVI permanece como o índice de vegetação mais utilizado em pesquisas relacionadas à agricultura de precisão, sendo considerado referência para o monitoramento da saúde das plantas. Valores elevados de NDVI indicam vegetação densa e fisiologicamente ativa, enquanto valores reduzidos podem estar associados à deficiência nutricional, estresse hídrico, ataques de pragas e doenças ou falhas no desenvolvimento das culturas.

Apesar de sua ampla utilização, o NDVI apresenta limitações em áreas com elevada densidade foliar, onde ocorre o fenômeno conhecido como saturação espectral. Em razão disso, outros índices vêm sendo amplamente empregados para complementar as análises agronômicas. O Normalized Difference Red Edge (NDRE) utiliza a banda Red Edge em substituição à banda vermelha, tornando-se mais sensível às variações no teor de clorofila em plantas adultas. Já o Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) utiliza a banda verde, sendo especialmente indicado para avaliações relacionadas ao nitrogênio foliar e à eficiência da fotossíntese. Segundo Peticilă et al. (2025), índices como NDRE e GNDVI apresentam maior capacidade para detectar estresses fisiológicos antes do aparecimento de sintomas visíveis, favorecendo intervenções precoces e reduzindo perdas produtivas.

Outro índice amplamente empregado é o Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), desenvolvido para minimizar a influência do solo exposto sobre a resposta espectral da vegetação. Essa característica torna o SAVI especialmente eficiente em culturas recém-estabelecidas ou em áreas onde a cobertura vegetal ainda é reduzida. Paralelamente, índices derivados de imagens RGB, como o Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), vêm ganhando importância por possibilitarem análises utilizando câmeras convencionais, reduzindo significativamente os custos de aquisição dos equipamentos. Conforme destacam Radočaj et al. (2023), embora os sensores RGB apresentem menor capacidade espectral quando comparados aos sensores multiespectrais, eles representam uma alternativa economicamente viável para diversas aplicações da agricultura de precisão, sobretudo em pequenas propriedades rurais.

Nos últimos anos, o avanço da inteligência artificial e das técnicas de aprendizado de máquina ampliou ainda mais o potencial dos índices de vegetação obtidos por drones. A integração dessas informações com algoritmos capazes de reconhecer padrões permite automatizar a identificação de estresses nutricionais, doenças, deficiência hídrica e estimativas de produtividade com elevado nível de precisão. De acordo com Guebsi et al. (2024), a combinação entre sensores multiespectrais, câmeras térmicas, inteligência artificial e Internet das Coisas representa uma das principais tendências da agricultura digital, proporcionando sistemas inteligentes capazes de transformar imagens aéreas em informações estratégicas para a tomada de decisão.

De modo geral, observa-se que os índices de vegetação constituem um dos principais produtos obtidos por meio do sensoriamento remoto realizado por drones agrícolas. Esses indicadores permitem transformar dados espectrais em informações agronômicas confiáveis, auxiliando o produtor na identificação precoce de problemas nas lavouras, na elaboração de mapas de manejo, na aplicação localizada de insumos e na estimativa do potencial produtivo. Nesse contexto, Peticilă et al. (2025) ressaltam que a tendência é de expansão contínua da utilização desses índices, impulsionada pela evolução dos sensores embarcados, pelo

desenvolvimento de softwares de processamento e pela crescente adoção da agricultura baseada em dados.

Quadro 3 – Principais índices de vegetação utilizados na agricultura de precisão por meio de drones

Índice	Bandas espectrais utilizadas	Sensor necessário	Principais aplicações na agricultura
NDVI	Vermelho (Red) + Infravermelho Próximo (NIR)	Multiespectral	Avaliação do vigor vegetativo, biomassa, desenvolvimento das culturas, monitoramento do estresse das plantas e estimativa de produtividade.
NDRE	Red Edge + Infravermelho Próximo (NIR)	Multiespectral	Monitoramento do teor de clorofila, deficiência de nitrogênio, estresse nutricional e culturas em estágios mais avançados.
GNDVI	Verde (Green) + Infravermelho Próximo (NIR)	Multiespectral	Avaliação da atividade fotossintética, concentração de clorofila, manejo da adubação nitrogenada e eficiência nutricional.
SAVI	Vermelho (Red) + Infravermelho Próximo (NIR) + fator de correção do solo	Multiespectral	Avaliação de culturas com baixa cobertura vegetal, minimizando a interferência do solo exposto nas análises espectrais.
VARI	Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue)	RGB	Monitoramento do vigor vegetativo utilizando câmeras convencionais, identificação de falhas de plantio e análise do desenvolvimento inicial das culturas.
EVI	Azul (Blue), Vermelho (Red) e Infravermelho Próximo (NIR)	Multiespectral	Monitoramento de culturas com elevada biomassa, reduzindo problemas de saturação do NDVI e proporcionando maior sensibilidade às variações da vegetação.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), Radočaj et al. (2023), Peticilă et al. (2025), Agrawal et al. (2024) e Guebsi et al. (2024).

Conforme apresentado no Quadro 3, cada índice de vegetação utiliza diferentes combinações de bandas espectrais para atender objetivos específicos de monitoramento agrícola. A escolha do índice depende da informação que se deseja obter, permitindo desde a avaliação do vigor vegetativo até a identificação de deficiências nutricionais, estresse hídrico e falhas no desenvolvimento das culturas. Dessa forma, os índices de vegetação constituem ferramentas fundamentais para a agricultura de precisão, fornecendo informações que subsidiam decisões mais assertivas no manejo agrícola.

2.5 Aplicações dos Drones

O drone agrícola tem diversas aplicações e o monitoramento de lavouras é uma das principais na agricultura de precisão. Para Zhang e Kovacs (2012), o monitoramento permite o acompanhamento contínuo do desenvolvimento das culturas. Por meio de sensores e câmeras embarcadas, esses equipamentos capturam imagens em alta resolução que possibilitam identificar falhas no plantio, variações no crescimento e áreas com estresse hídrico. Desse modo, o uso de VANTs no monitoramento agrícola proporciona maior flexibilidade e detalhamento das informações quando comparado a métodos tradicionais, contribuindo para uma tomada de decisão mais rápida e eficiente.

Outra aplicação relevante, após o monitoramento, é a identificação de pragas e doenças, que pode ser realizada de forma mais rápida e precisa com o uso de drones. As imagens captadas permitem detectar alterações no padrão das plantas, muitas vezes antes mesmo de serem visíveis a olho nu. Conforme Liakos et al. (2018), o uso de tecnologias digitais associadas à análise de imagens contribui para o diagnóstico precoce de problemas fitossanitários, reduzindo perdas na produção e permitindo intervenções mais eficazes no momento adequado.

A aplicação de insumos por meio de drones na agricultura de precisão e convencional. Segundo Kalamkar et al. (2020), os drones podem ser utilizados para a aplicação precisa de insumos, devido à sua capacidade de realizar pulverizações de forma localizada e eficiente. Essa tecnologia permite a redução do uso de defensivos agrícolas, minimizando impactos ambientais e custos de produção, garantindo maior uniformidade e segurança nas operações, além de facilitar o acesso a áreas de difícil alcance para máquinas convencionais.

Figura 8 - Drone de pulverização AGRAS T40



Fonte: GeoAg (2026)

Além disso, o mapeamento aéreo realizado por drones tem se destacado como uma ferramenta essencial para a geração de mapas detalhados das propriedades rurais. Esses mapas permitem a análise da variabilidade espacial do solo e das culturas, auxiliando no planejamento agrícola e na definição de zonas de manejo. De acordo com Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), os drones possibilitam a obtenção de dados georreferenciados com alta precisão, sendo fundamentais para a agricultura de precisão e para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Por fim, os drones constituem ferramentas eficazes na predição de safra, fundamentando-se no processamento de dados multitemporais coletados durante o ciclo fenológico. Tal monitoramento viabiliza uma estimativa assertiva do rendimento, otimizando as etapas de logística de colheita e comercialização. Conforme preconizam Zhang e Kovacs

(2012), a integração de VANTs no setor agrícola provê dados de alta resolução espacial que refinam a avaliação do desempenho biofísico das culturas, resultando em um sistema produtivo orientado por evidências e de maior eficiência operacional

2.6 Benefícios do Uso de Drones

A utilização de drones na agricultura tem proporcionado significativa redução de custos operacionais, principalmente em atividades como monitoramento de lavouras e aplicação localizada de insumos (ZHANG; KOVACS, 2012). Ao substituir métodos tradicionais que demandam maior uso de mão de obra, máquinas pesadas e combustível, os drones contribuem para a diminuição dos gastos e aumento da eficiência econômica da produção agrícola (HUNT JUNIOR et al., 2018).

Outro benefício relevante é a otimização do uso de insumos agrícolas, uma vez que os drones permitem a aplicação em taxa variável, direcionando fertilizantes, defensivos e corretivos apenas nas áreas que realmente necessitam. Essa precisão reduz desperdícios e evita aplicações excessivas, contribuindo para um manejo mais racional e eficiente dos recursos (TSOUROS; BIBERACHER; STAMATIS, 2019).

Consequentemente, devido a esse monitoramento contínuo e aplicações em taxa variada, tem-se o aumento da produtividade. Segundo Hunt Junior et al. (2018) e Radogna et al. (2020), O uso dessa tecnologia possibilita o monitoramento constante das lavouras, identificação precoce de pragas, doenças e falhas no desenvolvimento das plantas. Com essas informações em tempo real, o produtor pode tomar decisões rápidas e assertivas, minimizando perdas e potencializando o rendimento das culturas.

Além disso, os drones contribuem para a sustentabilidade ambiental na agricultura, ao reduzir a compactação do solo, diminuir o uso excessivo de insumos químicos e evitar a contaminação de áreas não alvo. Essa tecnologia favorece práticas mais sustentáveis, alinhadas com os princípios da agricultura de precisão e da conservação ambiental (TSOUROS; BIBERACHER; STAMATIS, 2019). Ademais, destaca-se a tomada de decisão mais precisa, uma vez que os drones são capazes de gerar imagens de alta resolução e dados georreferenciados que auxiliam na análise detalhada da lavoura. Essas informações permitem ao produtor planejar melhor suas ações, reduzir riscos e aumentar a eficiência das estratégias de manejo agrícola (RADOGNA et al., 2020).

2.7 Limitações e Desafios

A utilização de drones tem crescido significativamente nos últimos anos, no entanto destaca-se alguns desafios desta tecnologia, entre eles o alto custo inicial ainda é um dos principais fatores que limitam a adoção de drones na agricultura, especialmente entre pequenos e médios produtores. A aquisição dos equipamentos, bem como de softwares especializados, manutenção e outros equipamentos essenciais pode representar um investimento significativo. Segundo Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), apesar da redução gradual dos custos tecnológicos nos últimos anos, o investimento inicial ainda é considerado um obstáculo para a ampla disseminação dessa tecnologia no setor agrícola.

Outro desafio importante é a necessidade de capacitação técnica para operar os drones e interpretar os dados coletados. De acordo com Liakos et al. (2018), a falta de qualificação profissional pode comprometer o aproveitamento dos dados gerados, limitando o potencial da agricultura de precisão e reduzindo os benefícios esperados com o uso dos drones. Desse modo, o uso eficiente dessa tecnologia exige conhecimentos específicos relacionados ao planejamento de voo, operação dos equipamentos e análise de imagens.

As limitações relacionadas à autonomia de voo também representam um desafio relevante, principalmente em áreas extensas. Muitos drones possuem tempo de operação restrito devido à capacidade das baterias, o que pode dificultar o monitoramento contínuo de grandes propriedades rurais. Conforme Kartal, Ignatyev e Zolotas (2025), essas restrições energéticas impactam diretamente o desempenho operacional dos UAVs, exigindo planejamento mais detalhado das missões e, muitas vezes, a realização de múltiplos voos para cobrir toda a área desejada.

Além disso, a dependência das condições climáticas também influencia diretamente a eficiência do uso de drones na agricultura. De acordo com Kalamkar et al. (2020), condições ambientais adversas podem limitar a realização das operações, reduzindo a frequência de uso e impactando o desempenho das atividades agrícolas que dependem dessa tecnologia. Desse modo, fatores como vento, chuva e baixa visibilidade podem comprometer a estabilidade do voo, a qualidade das imagens captadas e a aplicação dos insumos.

Outra limitações recorrentes é a reduzida autonomia de voo dos drones, considerada um dos principais desafios para sua utilização em áreas agrícolas extensas. A maioria dos modelos comerciais possui tempo de operação limitado pela capacidade das baterias, o que exige múltiplos voos e trocas frequentes de bateria para cobrir grandes áreas, aumentando o tempo e o custo das operações. Conforme destacam Kartal, Ignatyev e Zolotas (2025), as limitações energéticas ainda representam um importante entrave ao desempenho dos veículos aéreos não tripulados (VANTs), exigindo um planejamento criterioso das missões. Dessa forma, apesar dos avanços tecnológicos, a autonomia de voo permanece como um fator limitante para a ampliação do uso dos drones na agricultura de precisão.

Ademais, conforme destacado por Grandó et al. (2025), a necessidade de cumprimento simultâneo de diferentes regulamentações e procedimentos técnicos pode dificultar a inserção de pequenos e médios produtores na utilização dessa tecnologia. Dessa forma, embora a regulamentação seja essencial, a multiplicidade de exigências e a dificuldade de regularização ainda representam um entrave significativo para a ampla adoção de drones na agricultura.

2.8 Aspectos legais e regulamentação do uso de drones no Brasil

Com o avanço da utilização de aeronaves não tripuladas em diferentes setores da economia, especialmente na agricultura, tornou-se necessária a atualização do marco regulatório brasileiro para acompanhar a evolução tecnológica do setor. Nesse contexto, a Agência Nacional de Aviação Civil promoveu uma importante reformulação da regulamentação nacional por meio da publicação do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 100 (RBAC nº 100), aprovado pela Resolução ANAC nº 805, de 15 de junho de 2026. O novo regulamento substituiu integralmente o antigo RBAC-E nº 94 e passou a adotar um modelo regulatório baseado no nível de risco da operação, em consonância com as recomendações da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) e com regulamentações internacionais adotadas por diversos países. Segundo a ANAC (2026), essa atualização busca estabelecer requisitos proporcionais à complexidade de cada missão, proporcionando maior segurança operacional sem limitar o desenvolvimento tecnológico do setor.

Diferentemente da regulamentação anterior, cuja classificação era baseada predominantemente no peso máximo de decolagem da aeronave, o RBAC nº 100 organiza as operações em três categorias: Aberta, Específica e Certificada. A Categoria Aberta contempla operações consideradas de baixo risco e engloba a maioria das atividades desenvolvidas na agricultura de precisão, permitindo voos com aeronaves de até 25 kg, realizados em linha de visada visual do piloto (Visual Line of Sight – VLOS ou Extended Visual Line of Sight –

EVLOS), altura máxima de 120 metros acima do solo e afastamento mínimo de 30 metros de pessoas não participantes da operação. Já as Categorias Específica e Certificada destinam-se às operações que apresentam maior risco operacional, como voos além da linha de visada (BVLOS), utilização de aeronaves de maior porte, transporte de cargas perigosas ou atividades realizadas em ambientes mais complexos, exigindo análises adicionais de risco e autorizações específicas da autoridade aeronáutica.

Além do enquadramento da operação em uma das categorias previstas no RBAC nº 100, a legislação brasileira estabelece uma série de requisitos obrigatórios para operadores e aeronaves. Os drones com peso superior a 250 gramas devem ser cadastrados junto à Agência Nacional de Aviação Civil, por meio do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), enquanto as aeronaves utilizadas profissionalmente devem atender às exigências documentais previstas para sua respectiva categoria operacional. O novo regulamento também introduziu a obrigatoriedade de um exame teórico de conhecimentos aeronáuticos para pilotos remotos que realizam operações profissionais, estabelecendo um período de transição para adaptação dos operadores até o início de sua exigência definitiva. Segundo a ANAC (2026), essas medidas visam elevar o nível de qualificação dos pilotos e reduzir os riscos associados às operações com aeronaves não tripuladas.

Outro aspecto fundamental refere-se ao gerenciamento do espaço aéreo brasileiro, competência atribuída ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Embora o RBAC nº 100 discipline os requisitos operacionais das aeronaves, cabe ao DECEA autorizar o acesso ao espaço aéreo por meio do sistema SARPAS, especialmente para operações realizadas em áreas controladas, próximas a aeródromos ou que não se enquadrem nas condições da Categoria Aberta. Dessa forma, a regularidade da operação depende tanto do cumprimento das exigências da ANAC quanto da autorização do DECEA quando necessária. Paralelamente, todos os equipamentos de radiofrequência utilizados pelos drones devem possuir homologação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), garantindo que os sistemas de comunicação operem dentro dos padrões técnicos nacionais e não provoquem interferências em outros serviços de telecomunicações.

No âmbito da agricultura, a regulamentação torna-se ainda mais específica quando os drones são empregados na aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes, corretivos, inoculantes e sementes. Nesses casos, além das normas estabelecidas pela ANAC, o operador deve observar as exigências previstas na Portaria MAPA nº 298, de 22 de setembro de 2021, que regulamenta as operações aeroagrícolas com aeronaves remotamente pilotadas. A norma estabelece requisitos relacionados à capacitação dos operadores, responsabilidade técnica, registro das operações, boas práticas de aplicação e medidas destinadas à redução da deriva e dos impactos ambientais. Dessa forma, o uso de drones pulverizadores deixa de ser apenas uma inovação tecnológica e passa a integrar um sistema regulatório voltado à segurança operacional, à proteção ambiental e à eficiência das aplicações agrícolas.

Por fim, observa-se que o atual modelo regulatório brasileiro procura equilibrar a expansão da tecnologia com a preservação da segurança operacional. A adoção de critérios proporcionais ao risco representa um avanço significativo em relação ao modelo anterior, permitindo maior flexibilidade para operações de baixo risco, como grande parte das atividades desenvolvidas na agricultura de precisão. Entretanto, a necessidade de atender simultaneamente às exigências da ANAC, DECEA, ANATEL e MAPA ainda constitui um desafio para muitos produtores rurais, principalmente aqueles de pequeno e médio porte. Nesse sentido, a simplificação dos procedimentos administrativos, associada à ampliação de programas de capacitação técnica, poderá contribuir para a democratização do uso de drones e para a consolidação dessa tecnologia como ferramenta essencial da agricultura brasileira.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza básica, com abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica. Segundo Gil (2019), a pesquisa qualitativa possibilita a análise e interpretação de fenômenos a partir de informações já produzidas, permitindo uma compreensão mais aprofundada do tema estudado. Nesse contexto, a revisão de literatura se mostra adequada, pois possibilita reunir, analisar e sistematizar conhecimentos já existentes sobre o uso de drones na agricultura de precisão.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo, uma vez que busca identificar, organizar e apresentar informações relevantes disponíveis na literatura acerca das aplicações, benefícios e limitações dos drones no contexto agrícola. Esse tipo de abordagem permite uma análise detalhada das contribuições teóricas existentes, favorecendo a compreensão do papel dessas tecnologias no desenvolvimento da agricultura moderna.

3.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos adotados basearam-se no levantamento de produções científicas relacionadas ao tema proposto. Foram consultados artigos científicos, livros, dissertações, teses e documentos oficiais que abordam a agricultura de precisão, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) e as tecnologias digitais aplicadas ao setor agrícola. As buscas foram realizadas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES, utilizando as palavras-chave "agricultura de precisão", "drones agrícolas", "VANTs", "sensoriamento remoto", "agricultura digital" e "tecnologias agrícolas", tanto em português quanto em inglês.

As buscas foram realizadas entre os meses de janeiro e março de 2026, abrangendo publicações disponíveis no período de 2014 a 2026. Inicialmente, foram identificados aproximadamente 140 trabalhos relacionados ao tema. Após a leitura dos títulos, resumos e aplicação dos critérios de seleção, foram considerados 52 estudos para leitura completa, dos quais 34 publicações foram utilizadas na construção do referencial teórico e discussão dos resultados.

3.3 Critérios de seleção

Os critérios de inclusão contemplaram artigos científicos, livros, capítulos de livros, dissertações, teses e documentos técnicos publicados preferencialmente entre 2014 e 2026, disponíveis na íntegra e que abordassem diretamente o uso de drones na agricultura de precisão, sensoriamento remoto, agricultura digital, sensores embarcados, inteligência artificial e demais tecnologias relacionadas ao tema da pesquisa.

Foram excluídos estudos duplicados, trabalhos sem acesso ao texto completo, publicações que não apresentavam relação direta com os objetivos da pesquisa, bem como documentos de caráter exclusivamente comercial ou que não possuíam fundamentação científica. Também foram desconsiderados estudos cujo foco principal estivesse voltado para aplicações de drones em áreas distintas da agricultura.

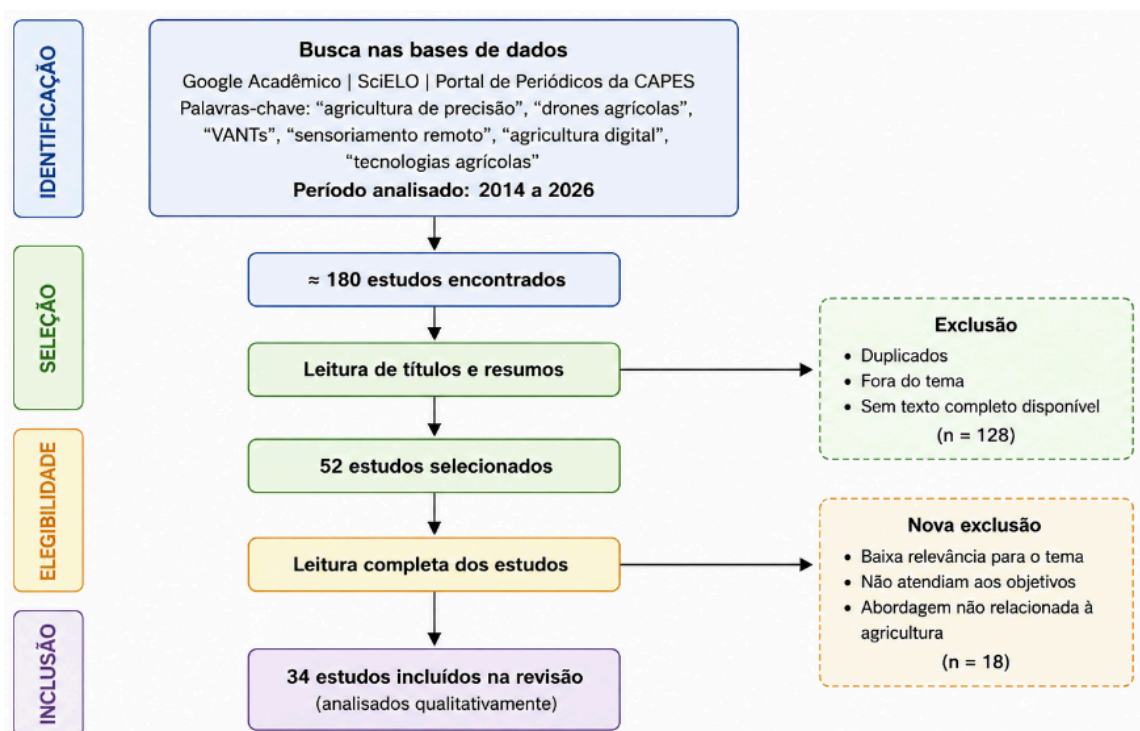
3.4 Análise dos dados

Após a seleção das publicações, as informações foram analisadas de forma qualitativa e descritiva, buscando identificar os principais aspectos relacionados à utilização de drones

na agricultura de precisão. Os conteúdos foram organizados em categorias temáticas, contemplando as tecnologias empregadas, aplicações dos drones, sensores embarcados, benefícios, limitações, regulamentação brasileira e perspectivas futuras.

A organização temática permitiu comparar as contribuições apresentadas pelos diferentes autores, identificar convergências e divergências na literatura e compreender a evolução do uso dos drones na agricultura de precisão. Dessa forma, foi possível construir uma análise crítica e sistematizada sobre o tema, fundamentando as discussões apresentadas ao longo deste trabalho.

Figura 9: fluxograma prisma da seleção dos estudos



Fonte: elaborado pelo autor em sites de produção de imagem

A Figura 9 apresenta, de forma esquemática, o processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos utilizados nesta revisão bibliográfica. Observa-se que, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, foram selecionados 34 estudos considerados pertinentes aos objetivos da pesquisa. Esse procedimento contribuiu para garantir maior rigor metodológico, transparência e confiabilidade na composição do referencial teórico e na análise dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Principais aplicações identificadas

A análise dos estudos selecionados evidenciou que os drones têm sido amplamente empregados em diversas etapas do sistema produtivo agrícola, consolidando-se como uma das principais ferramentas da agricultura de precisão. Entre as aplicações mais recorrentes destacam-se o monitoramento de lavouras, o mapeamento aéreo, a identificação de pragas e doenças, a aplicação de insumos e a estimativa de produtividade. Segundo Zhang e Kovacs (2012), a utilização de VANTs permite a obtenção de imagens de alta resolução espacial, favorecendo a identificação de variações no desenvolvimento das culturas. Nesse sentido,

Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019) destacam que os drones proporcionam maior agilidade na coleta de dados, permitindo intervenções mais rápidas e eficientes no campo.

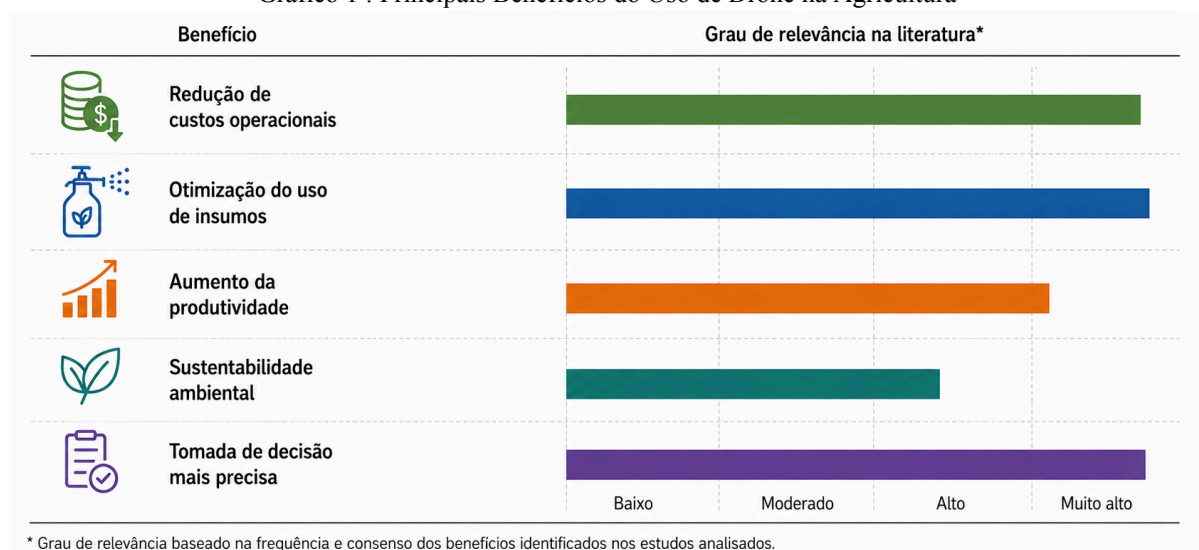
Além disso, observou-se que o uso de sensores embarcados, como câmeras multiespectrais e térmicas, amplia significativamente o potencial de aplicação dos drones, permitindo análises mais detalhadas das condições fisiológicas das plantas. De acordo com Liakos et al. (2018), a integração dessas tecnologias com sistemas de análise de dados possibilita a detecção precoce de estresses bióticos e abióticos, contribuindo para o manejo mais eficiente das culturas. Dessa forma, os drones não apenas auxiliam no monitoramento, mas também desempenham papel estratégico na gestão agrícola baseada em dados.

4.2 Benefícios observados

Os benefícios associados ao uso de drones na agricultura foram amplamente evidenciados nos estudos analisados, sendo frequentemente relacionados ao aumento da eficiência produtiva e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entre os principais benefícios, destacam-se a redução de custos operacionais, a otimização do uso de insumos e o aumento da produtividade. Conforme Kalamkar et al. (2020), a aplicação localizada de insumos por meio de drones reduz o desperdício e melhora a eficiência das operações agrícolas, impactando positivamente os resultados econômicos.

Adicionalmente, Liakos et al. (2018) ressaltam que o uso de tecnologias digitais, como os drones, contribui para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, ao permitir o uso racional de recursos naturais. Outro aspecto relevante é a melhoria na tomada de decisões, uma vez que os dados obtidos por drones possibilitam análises mais precisas e embasadas. Nesse sentido, Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019) destacam que a utilização de drones favorece uma gestão mais eficiente das lavouras, reduzindo incertezas e aumentando a previsibilidade da produção.

Gráfico 1 : Principais Benefícios do Uso de Drone na Agricultura



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Zhang e Kovacs (2012), Liakos et al. (2018), Tsouros et al. (2019) Hunt Junior et al. (2018) e Radogna et al. (2020).

O Gráfico 1 evidencia que os principais benefícios associados ao uso de drones na agricultura de precisão apresentam elevado grau de relevância na literatura consultada. Destacam-se a redução dos custos operacionais, a otimização do uso de insumos e a melhoria da tomada de decisão, aspectos frequentemente apontados pelos autores como responsáveis pelo aumento da eficiência das operações agrícolas. Embora a sustentabilidade ambiental

também seja amplamente reconhecida, observa-se que esse benefício aparece de forma menos recorrente quando comparado aos demais. De modo geral, o gráfico reforça que a utilização de drones proporciona ganhos produtivos, econômicos e ambientais, consolidando essa tecnologia como uma importante ferramenta para a agricultura de precisão.

4.3 Limitações encontradas

Apesar dos avanços tecnológicos e dos benefícios observados, a literatura também aponta diversas limitações que ainda dificultam a adoção ampla dos drones no setor agrícola. Entre os principais desafios, destacam-se o alto custo inicial de aquisição dos equipamentos, a necessidade de capacitação técnica especializada e as limitações relacionadas à autonomia de voo. Segundo Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), esses fatores ainda representam barreiras significativas, especialmente para pequenos e médios produtores.

Além disso, aspectos regulatórios também foram identificados como um fator limitante, uma vez que o uso de drones deve seguir normas específicas estabelecidas por órgãos competentes, como a ANAC no Brasil. Conforme a ANAC (2020), essas regulamentações são fundamentais para garantir a segurança das operações, porém podem dificultar o acesso à tecnologia. Outro ponto relevante refere-se à dependência das condições climáticas, visto que fatores como vento e chuva podem comprometer a qualidade dos dados coletados e a segurança do voo (Kalamkar et al., 2020). Dessa forma, embora promissora, a tecnologia ainda apresenta desafios que precisam ser superados para sua consolidação no campo.

4.4 Comparação entre estudos

A análise comparativa da literatura evidencia consenso quanto ao potencial dos drones como ferramentas estratégicas para a agricultura de precisão. De maneira geral, os autores concordam que essas aeronaves contribuem significativamente para o monitoramento das lavouras, a coleta de dados em alta resolução e a otimização do manejo agrícola. Zhang e Kovacs (2012) destacam que os VANTs representam uma alternativa eficiente aos métodos convencionais de monitoramento, principalmente devido à rapidez na obtenção de informações espaciais. De forma semelhante, Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019) ressaltam que a integração dos drones com sensores embarcados amplia a capacidade de análise das culturas, favorecendo uma gestão agrícola baseada em dados. Embora publicados em períodos distintos, ambos os estudos convergem quanto ao papel dos drones na melhoria da eficiência operacional e na tomada de decisões mais precisas.

Entretanto, a literatura apresenta divergências quanto à viabilidade econômica da adoção dessa tecnologia. Estudos desenvolvidos em países com maior nível de mecanização agrícola e infraestrutura tecnológica, como Estados Unidos, Canadá e diversas nações europeias, apontam que a redução gradual dos custos dos equipamentos e a ampla oferta de serviços especializados têm favorecido a incorporação dos drones nas atividades agrícolas (LIAKOS et al., 2018; TSOUROS; BIBI; SARIGIANNIDIS, 2019). Em contrapartida, pesquisas realizadas em países em desenvolvimento indicam que o elevado investimento inicial, os custos de manutenção e a necessidade de mão de obra qualificada ainda representam importantes barreiras para pequenos e médios produtores (KALAMKAR et al., 2020; GRANDO et al., 2025).

Essas diferenças também estão relacionadas às características dos sistemas produtivos analisados. Em propriedades de grande escala, onde há maior capacidade de investimento e necessidade de monitoramento de extensas áreas, o uso dos drones tende a apresentar melhor relação custo-benefício, tornando-se economicamente mais viável. Por outro lado, em pequenas propriedades, a aquisição dos equipamentos pode não representar retorno financeiro

imediate, principalmente quando a utilização ocorre de forma esporádica. Nesses casos, diversos autores apontam que a contratação de empresas especializadas em imageamento ou pulverização com drones pode ser uma alternativa mais vantajosa do que a aquisição do equipamento próprio (TSOUROS; BIBI; SARIGIANNIDIS, 2019; KALAMKAR et al., 2020).

Outro aspecto em que a literatura apresenta diferenças refere-se aos desafios operacionais e regulatórios. Enquanto estudos internacionais concentram suas discussões principalmente na autonomia de voo, na evolução dos sensores e na integração com inteligência artificial, pesquisas brasileiras atribuem maior destaque às exigências legais para operação dos drones, à necessidade de capacitação técnica dos operadores e às dificuldades relacionadas ao processo de regularização perante os órgãos competentes (ANAC, 2026). Essas diferenças refletem as particularidades de cada país quanto ao desenvolvimento tecnológico, ao ambiente regulatório e ao nível de adoção da agricultura de precisão.

De modo geral, observa-se que as divergências encontradas na literatura não decorrem da eficiência da tecnologia em si, mas das condições econômicas, estruturais e regulatórias nas quais ela é aplicada. Assim, apesar das diferenças observadas entre os estudos, verifica-se consenso quanto ao potencial dos drones para promover uma agricultura mais eficiente, sustentável e baseada em informações de alta precisão. Dessa forma, espera-se que o avanço tecnológico, aliado à redução dos custos dos equipamentos e ao aprimoramento das políticas de incentivo e regulamentação, contribua para ampliar a utilização dessa tecnologia em diferentes realidades agrícolas.

Quadro 4 - Comparação dos principais estudos sobre a utilização de drones na agricultura de precisão

Autor	Principais benefícios	Principais limitações	Contexto do estudo
Zhang e Kovacs (2012)	Monitoramento e sensoriamento remoto	Autonomia de voo	Revisão internacional
Liakos et al. (2018)	IA e análise de imagens	Capacitação técnica	Agricultura digital
Tsouros et al. (2019)	Mapeamento, pulverização e monitoramento	Custo inicial	Agricultura de precisão
Kalamkar et al. (2020)	Redução de insumos	Alto investimento	Países em desenvolvimento
Grando et al. (2025)	Avanços tecnológicos	Recarga e autonomia	Revisão sistemática

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Zhang e Kovacs (2012), Liakos et al. (2018), Tsouros, Bibi e Sarigiannidis (2019), Kalamkar et al. (2020) e Grando et al. (2025).

Observa-se, por meio do Quadro 4, que os estudos analisados apresentam consenso quanto ao potencial dos drones para aumentar a eficiência da agricultura de precisão, sobretudo em atividades de monitoramento, mapeamento e aplicação localizada de insumos. Em contrapartida, as principais limitações identificadas concentram-se na autonomia de voo, nos elevados custos de aquisição e na necessidade de capacitação técnica dos operadores. Essas evidências reforçam que, embora a tecnologia apresente benefícios amplamente reconhecidos, sua adoção ainda depende da superação de desafios técnicos, econômicos e operacionais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar o uso de drones na agricultura de precisão, com ênfase em suas aplicações, benefícios e limitações, a partir de uma revisão bibliográfica. A análise dos estudos permitiu compreender que essa tecnologia tem desempenhado papel relevante na modernização das atividades agrícolas, contribuindo para o monitoramento mais detalhado das lavouras, a otimização do manejo e o fortalecimento de sistemas produtivos orientados por dados.

Entre as principais aplicações identificadas, destacam-se o mapeamento aéreo, o monitoramento das culturas, a identificação de pragas, doenças, deficiências nutricionais e estresse hídrico, além da aplicação localizada de insumos e da estimativa de produtividade. Essas funcionalidades demonstram que os drones podem ampliar a capacidade de observação do produtor rural, permitindo intervenções mais rápidas e decisões mais precisas. Também foram evidenciados benefícios relacionados à redução de desperdícios, ao uso racional dos insumos, à diminuição de impactos ambientais e à melhoria da eficiência operacional.

Como contribuição científica, o estudo reuniu e sistematizou informações sobre diferentes dimensões do uso de drones na agricultura de precisão, incluindo aplicações, sensores embarcados, índices de vegetação, benefícios, limitações técnicas e aspectos regulatórios. Essa organização possibilitou apresentar uma visão integrada da tecnologia, permitindo compreender não apenas seu funcionamento, mas também os fatores econômicos, operacionais e legais que influenciam sua adoção no setor agrícola. Dessa forma, o trabalho contribui para ampliar o conhecimento acadêmico sobre o tema e pode servir como base para pesquisas futuras e para a formação de estudantes e profissionais da área agrônômica.

Do ponto de vista prático, os resultados indicam que os drones podem auxiliar produtores rurais no acompanhamento das áreas cultivadas, no planejamento das operações e na identificação precoce de problemas que poderiam causar perdas produtivas. Embora o investimento inicial possa ser elevado, especialmente em equipamentos destinados à pulverização, sua viabilidade econômica depende da intensidade de utilização, da área atendida e da disponibilidade de serviços na região. Quando empregado de forma contínua, seja na propriedade ou na prestação de serviços para terceiros, o equipamento pode reduzir custos operacionais, ampliar a capacidade de atendimento e gerar retorno econômico ao longo de sua vida útil. Para pequenos e médios produtores, a contratação de serviços especializados, o compartilhamento de equipamentos ou a organização por meio de associações e cooperativas podem representar alternativas mais acessíveis.

Entretanto, o estudo apresenta limitações próprias de uma revisão bibliográfica. As conclusões foram elaboradas com base nas publicações selecionadas e, portanto, dependem da abrangência das bases consultadas, do período analisado e da disponibilidade de estudos relacionados ao tema. Além disso, a diversidade de culturas, propriedades, condições climáticas e níveis de desenvolvimento tecnológico dificulta a generalização dos resultados para todas as realidades agrícolas. Também não foram realizadas avaliações experimentais em campo nem análises econômicas detalhadas de modelos específicos de drones, o que limita a determinação de valores exatos de custo, retorno financeiro e eficiência operacional.

As implicações práticas observadas também demonstram a importância da capacitação técnica para a operação dos equipamentos e interpretação dos dados gerados. O uso eficiente dos drones exige conhecimentos relacionados ao planejamento de voo, sensores, processamento de imagens, condições ambientais, segurança operacional e regulamentação. Dessa maneira, recomenda-se a ampliação de cursos de formação, assistência técnica e ações de extensão rural voltadas à agricultura digital, especialmente em regiões nas quais pequenos e médios produtores apresentam menor acesso às novas tecnologias.

No âmbito das políticas públicas, recomenda-se o desenvolvimento de programas que facilitem o acesso dos produtores aos drones e aos serviços associados, incluindo linhas de

crédito específicas, incentivos à aquisição coletiva, apoio a cooperativas, capacitação profissional e ampliação da conectividade no meio rural. Também se mostra importante simplificar a divulgação dos procedimentos de regularização, de modo que as exigências da ANAC, do DECEA, da ANATEL e do Ministério da Agricultura sejam compreendidas com maior facilidade pelos usuários. Políticas voltadas à pesquisa, inovação e validação regional da tecnologia podem contribuir para adaptar os drones às diferentes condições produtivas do país.

Dessa forma, conclui-se que os drones representam uma tecnologia estratégica para o avanço da agricultura de precisão, com potencial para promover maior produtividade, eficiência, sustentabilidade e competitividade. Contudo, sua consolidação no setor agrícola depende não apenas da evolução dos equipamentos, mas também da redução de custos, ampliação da capacitação técnica, melhoria da infraestrutura rural, adequação regulatória e desenvolvimento de políticas que favoreçam o acesso à inovação. Assim, a expansão dessa tecnologia deverá ocorrer de maneira planejada, responsável e adaptada às diferentes realidades dos produtores brasileiros.

Como sugestões para pesquisas futuras, destaca-se a necessidade de estudos voltados à aplicação de drones na agricultura familiar, visando avaliar a viabilidade econômica e os impactos dessa tecnologia em propriedades de menor escala. Além disso, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas que abordem estratégias para a redução dos custos de aquisição e operação dos drones, tornando essa tecnologia mais acessível aos produtores.

Outro ponto relevante refere-se à integração dos drones com tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a análise de grandes volumes de dados, o que pode potencializar ainda mais a precisão das informações e a eficiência das decisões no campo. Assim, novas investigações nessa área podem contribuir significativamente para o avanço da agricultura digital e para a consolidação dos drones como ferramenta essencial no agronegócio.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 100 (RBAC nº 100)**. Brasília, DF: ANAC, 2026. Disponível em: <https://pergamum.anac.gov.br/pergamum/vinculos/RBAC100EMD00.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Resolução nº 805, de 15 de junho de 2026**. Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 100 (RBAC nº 100). Brasília, DF: ANAC, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2026/anac-apresenta-novo-regulamento-de-drones-na-maior-feira-do-segmento-na-america-latina>. Acesso em: 30 jun. 2026.

AGRAWAL, Juhi; ARAFAT, Muhammad Yeasir. Transforming farming: a review of AI-powered UAV technologies in precision agriculture. **Drones**, Basel, v. 8, n. 11, art. 664, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8110664>.

ANTONINI, Rafael Cippolat et al. Adoção e uso da agricultura de precisão na região das Missões do Rio Grande do Sul. **Holos**, Natal, v. 34, n. 4, p. 106–121, 2018.

BASSOI, Luís Henrique et al. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, São Paulo, n. 20, p. 17–36, jul./dez. 2019.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; NAIME, João de Mendonça; RESENDE, Álvaro Vilela de; BASSOI, Luís Henrique; INAMASU, Ricardo Yassushi (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria MAPA nº 298, de 22 de setembro de 2021**. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 24 set. 2021.

FARHAN, S. M.; YIN, J.; CHEN, Z.; MEMON, M. S. A comprehensive review of LiDAR applications in crop management for precision agriculture. **Sensors**, Basel, v. 24, n. 16, art. 5409, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24165409>.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRANDO, L. et al. Systematic literature review of drone recharging processes in agriculture. **Drones**, Basel, v. 9, n. 1, art. 40, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/1/40>. Acesso em: 14 abr. 2026.

GUEBSI, Ridha; MAMI, Sami; CHOKMANI, Karem. Drones in precision agriculture: a comprehensive review of applications, technologies, and challenges. **Drones**, Basel, v. 8, n. 11, art. 686, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8110686>.

HUNT JUNIOR, E. Raymond et al. Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. **Remote Sensing**, Basel, v. 10, n. 2, art. 301, 2018.

INAMASU, Ricardo Yassushi; BERNARDI, Alberto Carlos de Campos. Agricultura de precisão. In: BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et al. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 1, p. 21–33.

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Yassushi. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et al. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 8, p. 109–134.

KACHROO, J.; RAO, S.; AKINTOYE, A. Unmanned aerial vehicle systems: a brief overview. In: AKHGAR, B.; ARABNIA, H. R. (ed.). **Emerging trends in ICT security**. Cham: Springer, 2018. p. 151–161.

KALAMKAR, R. B. et al. Drone and its applications in agriculture. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 6, p. 3022–3026, 2020.

KARTAL, M.; IGNATYEV, O.; ZOLOTAS, A. Recent advances and future directions in unmanned aerial vehicle battery technologies and energy management systems: a review. **Drones**, Basel, v. 9, n. 2, 2025.

LIAKOS, Konstantinos G. et al. Machine learning in agriculture: a review. **Sensors**, Basel, v. 18, n. 8, art. 2674, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082674>.

MARTOS, Vanesa et al. Guaranteeing agricultural sustainability through remote sensing in the era of Agriculture 5.0. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 13, 2021.

MASHORI, A. et al. RGB drone imagery for crop monitoring and precision agriculture applications. **Smart Agricultural Technology**, v. 11, 2026.

MOLIN, José Paulo; AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André Freitas. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PETICILĂ, Adrian et al. Vegetation indices from UAV imagery: emerging tools for precision agriculture and forest management. **AgriEngineering**, Basel, v. 7, n. 12, art. 431, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7120431>.

RADOČAJ, Dorijan; ŠILJEG, Ante; MARINOVIĆ, Robert; JURIŠIĆ, Mladen. State of major vegetation indices in precision agriculture studies indexed in Web of Science: a review. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 3, art. 707, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030707>.

REGHINI, Fernando Lucas; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31510/inf.v17i1.750>.

SHARMA, H. et al. Remote sensing using unmanned aerial vehicles for water stress detection in crops: a review. **Drones**, Basel, v. 9, n. 4, art. 241, 2025.

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo et al. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et al. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 4, p. 58–73.

SILVA, C. B.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) na agricultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 10, p. 679–684, 2017.

TSOUROS, Dimitrios C.; BIBI, Stamatia; SARIGIANNIDIS, Panagiotis G. A review on UAV-based applications for precision agriculture. **Information**, Basel, v. 10, n. 11, art. 349, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/info10110349>.

WOLFERT, Sjaak et al. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69–80, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.

ZHANG, Chunhua; KOVACS, John M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 13, n. 6, p. 693–712, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>.