

# GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA:

Fundamentos, tecnologias e aplicações



Leonardo França da Silva  
Cristiano Marcio Alves de Souza  
Victor Crespo de Oliveira  
Marco Antônio da Fonseca Maltes  
Cássio Furtado Lima  
Luciano José Minette  
Marina Rolim Bilich Neumann  
Filipe Bittencourt Machado de Souza  
Eduarda Nogueira Cavalcante



2026

Leonardo França da Silva  
Cristiano Marcio Alves de Souza  
Victor Crespo de Oliveira  
Marco Antônio da Fonseca Maltez  
Cássio Furtado Lima  
Luciano José Minette  
Marina Rolim Bilich Neumann  
Filipe Bittencourt Machado de Souza  
Eduarda Nogueira Cavalcante

# **GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

## **Fundamentos, tecnologias e aplicações**

1ª EDIÇÃO



SÃO LUÍS - 2026





**EDITORA NOVUS**

SÃO LUÍS - MA - 2026

 [WWW.EDITORANOVUS.COM.BR](http://WWW.EDITORANOVUS.COM.BR)  [EDITORANOVUS@GMAIL.COM](mailto:EDITORANOVUS@GMAIL.COM)

### **Diagramação e Edição**

Eduardo Mendonça Pinheiro

### **Edição de Arte**

Romilson Carneiro Rodrigues

### **Normalização**

José Marcelino Nascimento Veiga Júnior

### **Conteudista**

Leonardo França da Silva

Cristiano Marcio Alves de Souza

Victor Crespo de Oliveira

Marco Antônio da Fonseca Maltez

Cássio Furtado Lima

Luciano José Minette

Marina Rolim Bilich Neumann

Filipe Bittencourt Machado de Souza

Eduarda Nogueira Cavalcante

© 2026 Copyright – Direitos reservados. A Editora Novus é detentora dos direitos autorais relativos à edição, diagramação e ao projeto gráfico da presente obra. Os autores permanecem titulares dos direitos autorais de seus respectivos textos. Esta publicação está licenciada sob a Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), permitindo a reprodução, o download e o compartilhamento total ou parcial do conteúdo, desde que a fonte seja devidamente citada, com atribuição obrigatória de autoria, e que a obra seja disponibilizada exclusivamente em Acesso Aberto (Open Access). Não é permitida qualquer forma de alteração, adaptação ou modificação do conteúdo, bem como sua disponibilização em plataformas de acesso restrito ou com finalidade comercial.



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

**S586g**

Silva, Leonardo França da

Geotecnologias aplicadas aos sistemas de produção agrícola: fundamentos, tecnologias e aplicações. / Leonardo França da Silva [et al.]. – São Luís: Editora Novus, 2026.

60 f.: il. color.

Publicação digital (e-book) no formato PDF

ISBN: 978-65-84364-75-2

DOI: 10.29327/5894731

1. Geotecnologias. 2. Agricultura de precisão. 3. Sensoriamento remoto. 4. Agricultura digital. 5. Sistemas de produção agrícola. I. Silva, Leonardo França da [et al.]. II. Título.

CDU: 631:528.8

Elaborado por José Marcelino Nascimento Veiga Júnior – CRB 13/320

## CONSELHO EDITORIAL

Dr<sup>a</sup> Anali Linhares Lima  
M.Sc. Alan Jefferson Lima de Moraes  
Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia  
Dr<sup>a</sup> Anna Christina Sanazario de Oliveira  
Dr<sup>a</sup> Aurea Maria Barbosa de Sousa  
Dr<sup>a</sup> Camila Pinheiro Nobre  
Dr. Claudio Alves Benassi  
Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Dr<sup>a</sup> Claudiene Diniz da Silva  
Dr. Diogo Guagliardo Neves  
M.Sc. Eduardo Oliveira Pereira  
Dr<sup>a</sup> Elba Pereira Chaves  
Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior  
M.Sc. Érica Mendonça Pinheiro  
Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda  
M.Sc. Fernanda Tabita Barroso Zeidan  
Dr. George Alberto da Silva Dias  
Dr<sup>a</sup> Gerbeli de Mattos Salgado Mochel  
Dr<sup>a</sup> Giselle Cutrim de Oliveira Santos  
Dr<sup>a</sup> Herlane de Olinda Vieira Barros  
Dr<sup>a</sup> Ivete Furtado Ribeiro Caldas  
M.Sc. José Carlos Durans Pinheiro  
M.Sc. Josiney Farias de Araújo

M.Sc. Julianno Pizzano Ayoub  
M.Sc. Lucianna Serfaty de Holanda  
Dr<sup>a</sup> Luciara Bilhalva Corrêa  
Dr<sup>a</sup> Luana Martins Cantanhede  
Dr<sup>a</sup> Maria Raimunda Chagas Silva  
Dr<sup>a</sup> Marina Bezerra Figueiredo  
M.Sc. Mayanne Camara Serra  
Dr<sup>a</sup> Michela Costa Batista  
Dr. Moisés dos Santos Rocha  
Dr<sup>a</sup> Priscila Xavier de Araújo  
M.Sc. Ramaiany Carneiro Mesquita  
Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia Silva de Oliveira  
M.Sc. Rosany Maria Cunha Aranha  
Dr. Saulo José Figueiredo Mendes  
Dr<sup>a</sup> Samantha Ariadne Alves de Freitas  
Dr<sup>a</sup> Sandra Imaculada Moreira Neto  
M.Sc. Shirley Ribeiro Carvalho  
Dr<sup>a</sup> Sinara de Fátima Freire dos Santos  
M.Sc. Tatiana Mendes Bacellar  
Dr<sup>a</sup> Thais Roseli Corrêa  
Dr<sup>a</sup> Thalita Karolline de Queiroz Pereira  
Dr. Wellinton de Assunção  
Dr. William de Jesus Ericeira Mochel Filho

Acesse [www.editoranovus.com.br/corpo-editorial-2/](http://www.editoranovus.com.br/corpo-editorial-2/) para conhecer os membros do Corpo Editorial

### **Parecer editorial e avaliação por pares**

Os trabalhos que integram esta obra foram submetidos à apreciação do Conselho Editorial da Editora Novus e avaliados por pareceristas externos, por meio do sistema de revisão por pares (peer review), tendo sido considerados aptos para publicação.

**Nota editorial:** Trata-se de uma produção de caráter independente, na qual os direitos autorais permanecem sob a titularidade de seus respectivos autores. Eventualmente, alguns textos podem apresentar desdobramentos de pesquisas, comunicações ou trabalhos acadêmicos previamente apresentados ou defendidos, cabendo aos autores a observância rigorosa das boas práticas acadêmicas, especialmente no que se refere à prevenção do autoplágio. O conteúdo das obras é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, o posicionamento da Editora Novus, dos organizadores, dos revisores ou dos membros do Conselho Editorial.



# PREFÁCIO

A agricultura vive uma das maiores transformações tecnológicas de sua história. A crescente disponibilidade de dados geoespaciais, sensores, sistemas globais de navegação por satélite, veículos aéreos não tripulados, plataformas digitais, inteligência artificial e análise de grandes volumes de dados tem redefinido a forma como se compreendem, monitoram e manejam os sistemas de produção agrícola. Mais do que mecanizar operações ou automatizar processos, essas tecnologias permitem conhecer a variabilidade do ambiente produtivo, integrar informações em tempo real e apoiar decisões cada vez mais precisas, eficientes e sustentáveis.

É nesse contexto que apresentamos a obra *Geotecnologias Aplicadas aos Sistemas de Produção Agrícola: Fundamentos, Tecnologias e Aplicações*. Resultado do esforço conjunto de pesquisadores, docentes e profissionais comprometidos com a geração e a difusão do conhecimento científico, este livro reúne conceitos fundamentais e aplicações práticas que evidenciam o papel estratégico das geotecnologias na modernização da agricultura contemporânea.

A transformação digital do campo impõe novos desafios aos profissionais das Ciências Agrárias e das Engenharias. O aumento da produtividade, a sustentabilidade ambiental, a otimização do uso dos recursos naturais e a necessidade de decisões cada vez mais rápidas e fundamentadas exigem uma visão integrada dos sistemas de produção. Nesse cenário, as geotecnologias assumem posição de destaque ao conectar informações espaciais, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica, agricultura de precisão, automação, inteligência artificial e plataformas digitais, proporcionando uma gestão mais eficiente das propriedades rurais e contribuindo para uma agricultura orientada por dados.

Ao longo dos capítulos, o leitor encontrará uma abordagem que contempla desde os fundamentos das geotecnologias até suas aplicações em sistemas de mapeamento e monitoramento digital, máquinas e implementos agrícolas na agricultura de precisão, máquinas autônomas, drones aplicados ao monitoramento e à pulverização, plataformas de gestão e agricultura digital. A organização da obra permite compreender como essas diferentes tecnologias convergem para apoiar a tomada de decisão, otimizar processos produtivos e promover sistemas agrícolas mais eficientes, competitivos e sustentáveis.

Mais do que apresentar ferramentas e inovações tecnológicas, este livro procura demonstrar que o verdadeiro potencial das geotecnologias está na integração entre diferentes fontes de informação e no uso inteligente dos dados para apoiar decisões técnicas. A transformação digital da agricultura não substitui o conhecimento agrônomo, a engenharia agrícola ou a experiência do produtor; ao contrário, amplia sua capacidade de compreender a complexidade dos sistemas produtivos e de desenvolver estratégias de manejo cada vez mais assertivas.

Esperamos que esta publicação contribua para a formação de estudantes de graduação e pós-graduação, pesquisadores, professores, extensionistas, consultores, engenheiros agrônomos, engenheiros agrícolas e demais profissionais do setor, servindo como fonte de consulta, atualização técnica e reflexão sobre os desafios e as oportunidades da agricultura digital.

Registramos nosso sincero agradecimento a todos os autores e colaborado-

res que compartilharam seus conhecimentos e experiências para a construção desta obra. O empenho coletivo tornou possível a elaboração de um material atual, técnico e acessível, que certamente contribuirá para o fortalecimento da pesquisa, do ensino, da extensão e da inovação no contexto das geotecnologias aplicadas aos sistemas de produção agrícola.

Esperamos que esta obra inspire seus leitores não apenas a compreender as tecnologias que vêm transformando a agricultura, mas também a utilizá-las de forma crítica, responsável e inovadora, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas produtivos cada vez mais eficientes, resilientes e sustentáveis. Mais do que acompanhar a evolução tecnológica do campo, desejamos que este livro estimule novas pesquisas, aplicações práticas e iniciativas capazes de fortalecer a agricultura do futuro.

***Os Organizadores***

**2026**

# SUMÁRIO

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PREFÁCIO .....</b>                                                                                     | <b>5</b>  |
| <b>Capítulo 1 .....</b>                                                                                   | <b>8</b>  |
| GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA                                                |           |
| <b>Capítulo 2 .....</b>                                                                                   | <b>13</b> |
| SISTEMAS DE MAPEAMENTO, MONITORAMENTO E TOMADA DE DECISÃO POR MEIOS DIGITAIS                              |           |
| <b>Capítulo 3 .....</b>                                                                                   | <b>19</b> |
| FUNCIONAMENTO, USO, MANUTENÇÃO E REGULAGEM DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO |           |
| <b>Capítulo 4 .....</b>                                                                                   | <b>25</b> |
| USO DE MÁQUINAS AUTÔNOMAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE CULTIVO                                               |           |
| <b>Capítulo 5 .....</b>                                                                                   | <b>31</b> |
| USO DE DRONES NO MAPEAMENTO DE SOLO E PLANTAS E NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA                                  |           |
| <b>Capítulo 6 .....</b>                                                                                   | <b>37</b> |
| PLATAFORMAS E SOFTWARES PARA CONTROLE E GESTÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO E PROPRIEDADES RURAIS               |           |
| <b>Capítulo 7 .....</b>                                                                                   | <b>44</b> |
| AGRICULTURA DIGITAL EM PROPRIEDADES RURAIS                                                                |           |
| <b>Referências .....</b>                                                                                  | <b>49</b> |
| <b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>                                                                             | <b>53</b> |
| <b>AUTORES .....</b>                                                                                      | <b>56</b> |





## Capítulo 1

# GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

### Introdução

Com o avanço da globalização e das tecnologias, diversos setores econômicos têm direcionado seus esforços para alcançar maior eficiência em seus serviços e aprimorar a qualidade de seus produtos, sem deixar de respeitar os limites da natureza e buscando, simultaneamente, o aumento da produtividade. No setor agrícola, essa busca é fundamental para garantir competitividade em um mercado cada vez mais exigente e dinâmico. De acordo com Bernardi *et al.* (2014), a inovação tecnológica na agricultura não apenas otimiza a produção, mas também redefine as práticas de manejo, tornando a atividade mais sustentável e eficiente.

Nesse contexto produtivo, a adoção de ferramentas de geotecnologias tem provocado uma verdadeira transformação na gestão das propriedades rurais, conferindo maior precisão no manejo e no controle das atividades agrícolas. O desenvolvimento das tecnologias de informação geográfica, aliado às inovações em geoprocessamento e em sistemas de posicionamento global, tem proporcionado uma nova perspectiva sobre a propriedade rural. Se antes a visão predominante era a de uma área homogênea, hoje se reconhece um espaço heterogêneo, que exige uma gestão detalhada, capaz de considerar as particularidades de cada porção de terra. Esse novo cenário coloca essas tecnologias como ferramentas estratégicas para a gestão de informações e para a tomada de decisões.

Entre as principais geotecnologias aplicadas à agricultura, destacam-se o sensoriamento remoto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o geoprocessamento, os sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) e os drones

e VANTs. Essas ferramentas permitem a coleta e a análise de dados espaciais, otimizando o manejo agrícola, melhorando o monitoramento das lavouras e promovendo práticas mais eficientes e sustentáveis. Como resultado, favorecem decisões mais assertivas, com redução de desperdícios, aumento da produtividade e menores impactos ambientais.

Diante do exposto, este capítulo tem como objetivo destacar a importância das geotecnologias na agricultura, abordando seus conceitos, desafios e perspectivas de implementação, com ênfase nas decisões baseadas em dados e complementado por pesquisas e estudos científicos sobre o tema.

## 1. Geotecnologias: conceitos e tecnologias disponíveis

As geotecnologias podem ser definidas como um conjunto de tecnologias voltadas para a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de dados e informações espaciais. Essa área utiliza técnicas e metodologias específicas, considerando dados associados a coordenadas geográficas, como latitude e longitude, vinculados a um sistema de referência geodésico. Para a coleta desses dados, as geotecnologias fazem uso de diversos equipamentos, como receptores GNSS e sensores embarcados em satélites e aeronaves, incluindo Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), drones e Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs). Além disso, contam com uma infraestrutura tecnológica composta por hardwares, softwares, aplicativos, algoritmos e linguagens de programação (Bernardi *et al.*, 2014).

De modo geral, as geotecnologias são fundamentais para otimizar os sistemas de produção agrícola, possibilitando um manejo mais eficiente das propriedades rurais. Nesse segmento, essas tecnologias são empregadas no levantamento detalhado de dados sobre as áreas de produção, tais como fertilidade do solo, relevo, incidência de pragas, microclima e gestão da irrigação.

## 2. Sensoriamento remoto na agricultura

O sensoriamento remoto caracteriza-se pela obtenção de informações sobre um objeto, área ou fenômeno localizado na superfície terrestre sem a necessidade de contato físico direto. Essas informações são adquiridas por meio da radiação eletromagnética, que pode ter origem em fontes naturais, captadas por sensores passivos, como a luz solar, ou em fontes artificiais, emitidas por sensores ativos, como os radares (Formaggio; Sanches, 2017).

Atualmente, as imagens captadas por sensores ópticos orbitais a bordo de satélites estão entre as mais utilizadas, permitindo análises detalhadas das características da superfície terrestre. Na agricultura, o sensoriamento remoto é uma ferramenta fundamental para monitorar, avaliar e gerenciar culturas, solos e o ambiente de forma eficiente e em tempo hábil.

Entre suas principais aplicações, destaca-se o monitoramento da saúde das plantas por meio de índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês Normalized Difference Vegetation Index), que auxilia na identificação de estresses hídricos, deficiências nutricionais e doenças, possibilitando um manejo mais preciso e aumentando o rendimento das

lavouras. O sensoriamento remoto é igualmente aplicado no planejamento e no zoneamento agrícola, ajudando a identificar as áreas mais adequadas para o cultivo com base em características do solo, clima e relevo, o que contribui para a otimização da produção e para a sustentabilidade das atividades agrícolas (Formaggio; Sanches, 2017).

### 3. Sistemas de Informação Geográfica e geoprocessamento

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenham um papel essencial no mapeamento de elementos da superfície terrestre e na espacialização de fenômenos de diversas naturezas. Sua ampla aplicabilidade torna-os ferramentas indispensáveis para o planejamento agrícola. Softwares de SIG, como o ArcGIS e o QGIS, possibilitam a análise espacial de áreas produtivas, o mapeamento da variabilidade do solo e a identificação de padrões de produtividade. O QGIS, por ser gratuito e de código aberto, tem ganhado destaque em projetos agrícolas de menor custo, enquanto o ArcGIS é amplamente utilizado em projetos mais complexos, que envolvem modelagem de áreas de cultivo e integração com dados de sensoriamento remoto (QGIS Development Team, 2024; Esri, 2024).

Complementando essas ferramentas, o Google Earth Engine (GEE) destaca-se como uma plataforma de processamento em nuvem voltada para a análise de grandes volumes de dados geoespaciais, como imagens de satélite e variáveis ambientais. Com acesso a repositórios de dados abrangentes, como Landsat, Sentinel e MODIS, o GEE permite realizar análises de forma eficiente, sem a necessidade de infraestrutura computacional local. Sua aplicação é vasta, abrangendo desde o monitoramento agrícola até a modelagem climática e a gestão de recursos naturais (Gorelick *et al.*, 2017).

O geoprocessamento, por sua vez, é uma ferramenta geotecnológica essencial para a análise e a interpretação de dados espaciais. Ele envolve a coleta, a manipulação, a análise e a visualização de dados geográficos por meio de softwares especializados, como o ArcGIS e o QGIS. Esses dados podem ser provenientes de diferentes fontes, como imagens de satélites, sensores remotos, receptores GNSS e levantamentos topográficos.

Na agricultura, o geoprocessamento é amplamente utilizado para o mapeamento de características do solo, clima e relevo, além de monitorar a variabilidade espacial de fatores como nutrientes, umidade e temperatura. Isso possibilita a identificação de áreas específicas que exigem tratamentos diferenciados, como a aplicação de fertilizantes ou o controle de pragas, otimizando recursos e aumentando a eficiência da produção agrícola. Além disso, o geoprocessamento permite o zoneamento agrícola, facilitando o planejamento de culturas e a gestão ambiental.

### 4. Tecnologias de posicionamento: GNSS na agricultura

Os sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) são fundamentais para o posicionamento em tempo real de objetos e para a navegação em diversos ambientes, como terra, ar e mar. O GPS, um dos sistemas mais utilizados, requer pelo menos quatro satélites e um receptor para calcular variáveis de po-

sição e tempo. No setor agrícola, é amplamente empregado no mapeamento de campos e plantações e em amostragens de solo; quando integrado a máquinas agrícolas, facilita o controle e o direcionamento dos equipamentos, reduz a redundância dos trajetos, possibilita a aplicação a taxa variável, permite elaborar mapas de produção e monitorar a colheita (Leick; Rapoport; Tatarnikov, 2015).

Outra ferramenta geotecnológica relevante é o RTK (Real-Time Kinematic), que proporciona precisão centimétrica em tempo real, corrigindo erros do GPS com o auxílio de estações de referência. Na agricultura de precisão, o RTK é essencial para o mapeamento de áreas, a condução autônoma de equipamentos e o monitoramento das culturas, permitindo um manejo mais eficiente no plantio, na aplicação de insumos e na colheita. Integrado a outras tecnologias, como o sensoriamento remoto e os SIG, o RTK possibilita uma gestão mais precisa e sustentável das lavouras, otimizando recursos e aumentando a produtividade (Leick; Rapoport; Tatarnikov, 2015).

## **5. Geoestatística e modelagem espacial**

A geoestatística aplica métodos matemáticos e estatísticos para analisar a distribuição espacial de fenômenos geográficos e agrônômicos, sendo uma ferramenta fundamental na agricultura. De acordo com Yamamoto e Landim (2013), ela permite aos produtores identificar padrões de variabilidade espacial, como qualidade do solo, produtividade das lavouras, umidade e presença de doenças ou pragas, o que facilita a tomada de decisões mais precisas e baseadas em dados concretos.

A geoestatística é essencial para a delimitação de Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs), que são zonas de manejo definidas por variáveis como fertilidade do solo, topografia e disponibilidade de água. Ela permite identificar áreas homogêneas na propriedade, facilitando práticas agrícolas eficientes, como a aplicação localizada de fertilizantes e o controle otimizado da irrigação, o que reduz custos e impactos ambientais. Além disso, a geoestatística auxilia na previsão de produtividade, analisando dados históricos e condições do solo para identificar áreas de baixo desempenho e possibilitar ações proativas, como ajustes no manejo, melhorando a eficiência e a rentabilidade (Yamamoto; Landim, 2013).

## **6. Desafios e perspectivas futuras**

O uso de geotecnologias na agricultura tem crescido, proporcionando soluções para otimizar práticas agrícolas e aumentar a produtividade. No entanto, desafios como a falta de infraestrutura, o acesso limitado à internet e a indisponibilidade de equipamentos modernos dificultam sua adoção, especialmente em pequenas propriedades. A capacitação técnica também é essencial para operar essas tecnologias e interpretar corretamente os dados gerados. Apesar dos obstáculos, a implementação dessas ferramentas pode reduzir o impacto ambiental e promover práticas mais sustentáveis.



## 7. Estudo de caso: geotecnologias em Mato Grosso do Sul

Em grandes propriedades agrícolas, o uso de tecnologias digitais tem se revelado altamente eficaz na otimização de processos e na redução de custos operacionais. No estado de Mato Grosso do Sul, diversos estudos acadêmicos e científicos têm explorado a aplicação de geotecnologias na agricultura.

**Estudo de caso.** Mendieta (2022) investigou a variabilidade espacial dos componentes de produção do milho, utilizando geoprocessamento e modelagem espacial para identificar padrões de distribuição e fatores que impactam a produtividade. Os resultados mostraram diferenças significativas nos índices de produtividade, permitindo um manejo mais eficiente dos insumos agrícolas. Esse enfoque resultou em redução dos custos de produção e aumento da rentabilidade, ao possibilitar a aplicação mais precisa de fertilizantes e outros insumos.

## 8. Considerações finais

Este capítulo destacou a relevância das geotecnologias na agricultura, evidenciando seus conceitos e benefícios na otimização das operações agrícolas. Por meio da análise de dados geoespaciais, o uso de ferramentas de SIG, sensoriamento remoto e geoestatística oferece grande potencial para aumentar a produtividade, reduzir custos e promover práticas mais sustentáveis. Persistem, contudo, desafios relacionados à implementação em larga escala e à capacitação dos profissionais do setor. As perspectivas de avanço são promissoras, sustentadas pela contínua evolução das ferramentas e pela crescente base de pesquisas científicas, que fortalecem a tomada de decisões mais precisas e eficientes no agronegócio.



## Capítulo 2

# SISTEMAS DE MAPEAMENTO, MONITORAMENTO E TOMADA DE DECISÃO POR MEIOS DIGITAIS

### Introdução

A modernização do campo multiplicou a quantidade de dados gerados dentro da porteira: receptores GNSS, sensores embarcados, monitores de colheita e imagens orbitais produzem, a cada safra, um volume inédito de informações sobre solo, clima e plantas. O desafio da agricultura contemporânea, porém, deixou de ser coletar dados e passou a ser convertê-los em informação útil para a decisão agrônômica (Shannon; Clay; Kitchen, 2018).

É nesse ponto que os sistemas de mapeamento e monitoramento digital se tornam estratégicos. Ao organizar medições dispersas em mapas temáticos e séries históricas, eles permitem enxergar a variabilidade da lavoura no espaço e no tempo e, a partir dela, orientar intervenções localizadas — da adubação a taxa variável ao manejo da irrigação —, reduzindo incertezas e desperdícios ao longo do ciclo produtivo.

Diante desse panorama, o objetivo deste capítulo é discutir os sistemas de mapeamento, monitoramento e tomada de decisão por meio de ferramentas digitais, abordando os conceitos fundamentais relacionados a essas tecnologias, o funcionamento dos sistemas de monitoramento e mapeamento digital e a aplicação de decisões baseadas em dados, complementados por pesquisas e estudos científicos sobre o tema.

## **1. Conceitos: mapeamento e monitoramento por meios digitais**

O mapeamento consiste na identificação e na representação espacial de fenômenos ou características de interesse, enquanto o monitoramento envolve a observação contínua ou periódica desses elementos para avaliar suas mudanças ao longo do tempo. Na agricultura, o monitoramento digital permite a coleta constante de dados sobre as condições de cultivo, o uso do solo e fatores ambientais por meio de sensores remotos, imagens de satélite e sensoriamento proximal (Shannon; Clay; Kitchen, 2018).

Essas informações são processadas e convertidas em mapas temáticos, que fornecem uma visão detalhada da variabilidade espacial de parâmetros agrônômicos. Tais mapas são fundamentais para identificar áreas de maior potencial produtivo e aquelas que requerem intervenções específicas, como aplicação de fertilizantes, irrigação ou controle de pragas.

## **2. Sistemas de mapeamento, monitoramento digital e apoio à decisão**

Os sistemas de mapeamento digital, entre os quais se destacam os SIG apresentados no capítulo anterior, combinam informações geográficas com atributos descritivos, permitindo análises complexas e fundamentadas para a tomada de decisões. Na agricultura, são utilizados para mapear áreas de cultivo, identificar características do solo e planejar o uso sustentável da terra, contribuindo para otimizar os recursos disponíveis e promover práticas mais eficazes.

O monitoramento digital no setor agrícola também é amplamente favorecido pelo uso de tecnologias conectadas, como os dispositivos da Internet das Coisas (IoT). Sensores de solo e de ambiente coletam dados em tempo real sobre variáveis como umidade do solo, qualidade do ar e condições climáticas. Shannon, Clay e Kitchen (2018) destacam que a implementação de IoT tem transformado a forma como o monitoramento é realizado, criando um ecossistema interconectado e responsivo, que permite respostas mais rápidas e precisas a situações críticas.

O monitoramento constante contribui para o manejo eficiente da irrigação, o controle da fertilização e a aplicação de defensivos, garantindo uma gestão mais racional dos insumos e melhorando a produtividade. Além disso, a coleta de dados por meio de tecnologias IoT possibilita o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para transformar informações brutas em conhecimento estratégico.

Essas ferramentas de análise auxiliam a tomada de decisão baseada em dados, reduzindo incertezas e melhorando a eficiência das operações. A utilização de plataformas de visualização, como Power BI e QGIS, permite a interpretação de dados de maneira clara e acessível, facilitando a comunicação entre os envolvidos na gestão agrícola. Formaggio e Sanches (2017) argumentam que a decisão baseada em dados permite uma melhor adaptação às mudanças dinâmicas do ambiente agrícola, trazendo maior controle sobre as variáveis que afetam a produção.

No contexto agrícola, a previsão de safras se beneficia do uso integrado de tecnologias digitais. Drones e imagens de diferentes plataformas orbitais permi-

tem o monitoramento constante das lavouras, identificando áreas com deficiências nutricionais, estresses hídricos ou infestações de pragas. Tais informações são incorporadas aos SIG, gerando mapas detalhados que possibilitam a definição de zonas específicas para diferentes estratégias de manejo. A análise desses dados, combinada com modelos climáticos e históricos de produtividade, pode gerar previsões precisas sobre o rendimento das safras, otimizando o uso de recursos e antecipando possíveis falhas na produção.

O uso de big data e de modelos preditivos também se destaca na agricultura digital, permitindo a análise de grandes volumes de dados e oferecendo projeções detalhadas sobre a produtividade. A previsão de safras envolve o estudo de variáveis como temperatura, umidade do solo e precipitação; combinada com o aprendizado de máquina, essa abordagem aprimora as projeções à medida que mais dados são coletados, ampliando a capacidade de adaptação dos produtores a condições climáticas e de solo variáveis.

A integração das tecnologias digitais na previsão de cenários agrícolas proporciona uma gestão mais eficiente e precisa. Em culturas como milho e soja, predominantes em Mato Grosso do Sul, essas ferramentas permitem a adoção de práticas mais assertivas, considerando as mudanças climáticas. O uso do NDVI, por sua vez, auxilia no monitoramento da saúde das plantas e na identificação das necessidades específicas de cada área cultivada, contribuindo tanto para o rendimento quanto para a sustentabilidade, ao reduzir o desperdício de recursos.

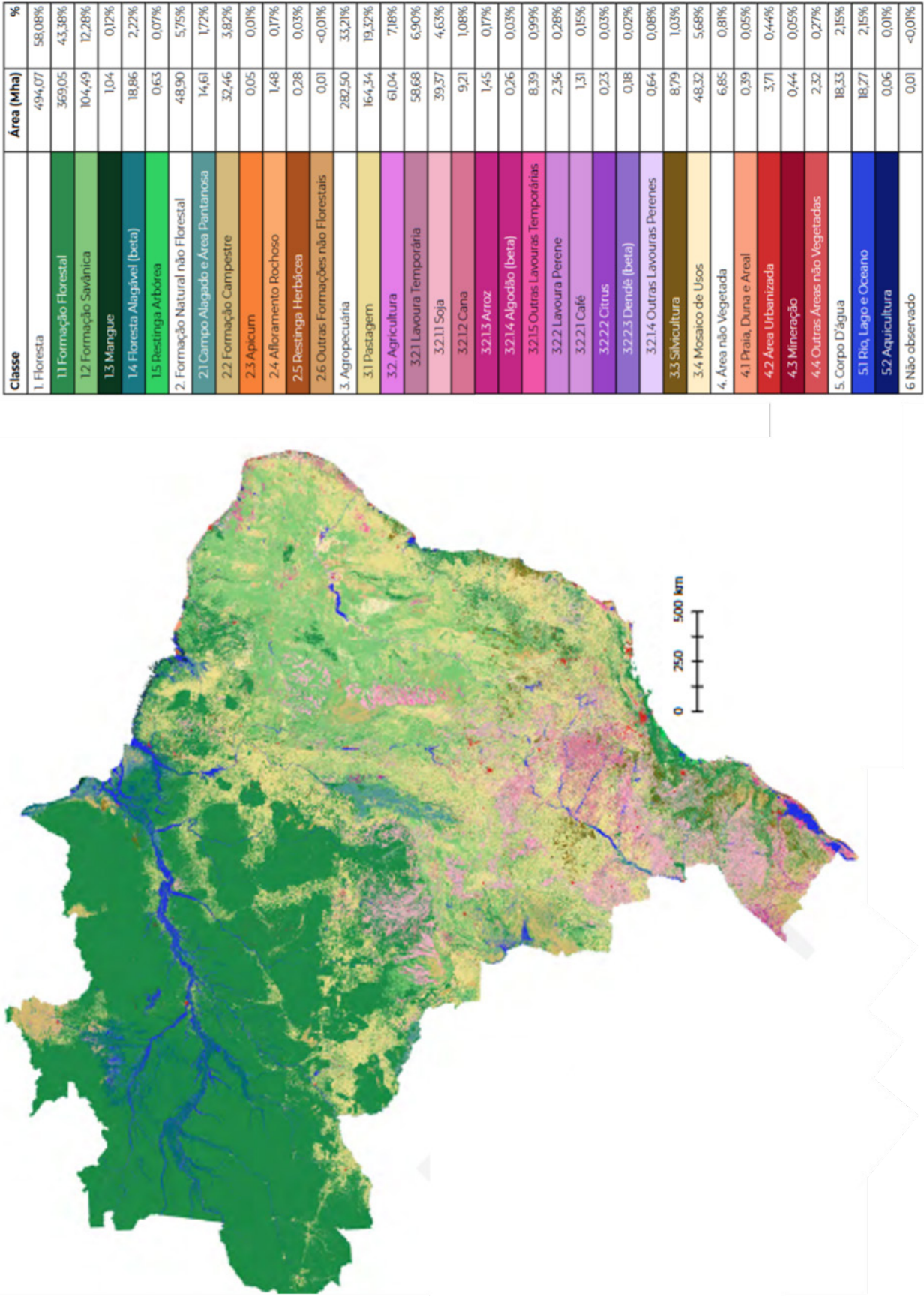
### **3. MapBiomas como ferramenta de monitoramento e apoio à decisão**

O MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional brasileira de mapeamento e monitoramento que oferece informações espaciais detalhadas e atualizadas sobre o uso e a cobertura da terra no país. Trata-se de uma rede colaborativa formada por organizações não governamentais, universidades e empresas de tecnologia, coordenada no âmbito do Observatório do Clima, que processa imagens da série Landsat na plataforma Google Earth Engine para produzir mapeamentos anuais desde 1985 (MapBiomas, 2024).

As imagens são classificadas para identificar diferentes tipos de uso e cobertura da terra, como áreas agropecuárias, formações florestais, corpos d'água, entre outras classes. As atualizações contínuas garantem informações relevantes para o monitoramento ambiental, e a plataforma oferece uma visualização interativa que permite acompanhar as mudanças no uso da terra ao longo dos anos, abrangendo os principais biomas brasileiros, como Amazônia, Cerrado, Pantanal e Caatinga. Conforme apresentado na Figura 1, que ilustra a cobertura e o uso da terra no Brasil em 2022, essas informações permitem identificar a distribuição espacial das diferentes classes de ocupação do território nacional. Dessa forma, a plataforma tem sido essencial para subsidiar políticas públicas de preservação e manejo sustentável, fornecendo dados consistentes sobre desmatamento, expansão agropecuária e degradação ambiental.



Figura 1. Cobertura e uso da terra no Brasil em 2022, classificação gerada pelo MAPBIOMAS.



Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2023).



## 4. Estudos de caso em Mato Grosso do Sul

O monitoramento, o mapeamento e a previsão de safras em Mato Grosso do Sul têm sido amplamente estudados em pesquisas científicas e acadêmicas, com o objetivo de aprimorar a gestão agrícola e mitigar riscos associados às mudanças climáticas.

**Estudo de caso.** Comunello (2016) abordou a importância do aprimoramento do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para o sistema de produção de soja em Mato Grosso do Sul. O autor ressaltou que a economia do estado está fortemente vinculada à atividade agrícola, sendo particularmente sensível às flutuações das safras, sobretudo devido a fatores climáticos adversos, como o déficit hídrico. Nesse contexto, o ZARC se apresenta como uma ferramenta estratégica para mitigar riscos climáticos, fornecendo informações essenciais para o planejamento agrícola e a tomada de decisões.

**Estudo de caso.** Farinha *et al.* (2024), no estudo “Dinâmica espaço-temporal do uso das terras em Mato Grosso do Sul entre 1988 e 2018 e pagamentos por serviços ecossistêmicos”, utilizaram a plataforma MapBiomas para analisar as mudanças no uso da terra no estado, com foco nas transformações das áreas de vegetação nativa e em seus impactos ambientais. Os resultados indicaram uma expansão significativa da fronteira agrícola, especialmente com o aumento das áreas de soja, milho e pastagem, o que gerou pressão sobre os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica. Embora a implementação de Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente (APPs) tenha contribuído para a conservação, as políticas de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSE) mostraram eficácia limitada, principalmente devido a dificuldades de monitoramento e à baixa adesão dos proprietários rurais.

Iniciativas do setor produtivo reforçam essa tendência. A Aprosoja/MS concluiu recentemente um mapeamento das culturas agrícolas do estado para a safra 2024/2025, com acompanhamento georreferenciado em campo desde o plantio até a colheita, em parceria com o governo estadual. Esses projetos destacam a importância de sistemas integrados de monitoramento, mapeamento e previsão de safras para otimizar a produção, minimizar riscos climáticos e promover práticas agrícolas sustentáveis.

## 5. Perspectivas futuras

A inovação no agronegócio está sendo impulsionada pela convergência de inteligência artificial, big data, redes 5G e computação em nuvem. Essas tecnologias permitem soluções mais precisas e preditivas para o planejamento de safra, o manejo pós-colheita e o monitoramento em tempo real, otimizando o uso de insumos e reduzindo custos. A automação agrícola, baseada em dados de sensores e imagens de satélite, promove eficiência e sustentabilidade. Contudo, a adoção em larga escala enfrenta desafios, como a necessidade de investimentos em infraestrutura e capacitação, demandando o apoio de políticas públicas e de parcerias entre os setores público e privado.

## **6. Considerações finais**

A análise de sistemas de monitoramento digital e mapeamento, aliados a decisões baseadas em dados, tem se mostrado uma abordagem eficaz para otimizar processos e melhorar a gestão agrícola. A aplicação dessas ferramentas permite um controle mais preciso e eficiente das atividades no campo, contribuindo para a sustentabilidade e a produtividade. As pesquisas e os estudos científicos reforçam o potencial dessas tecnologias, abrindo novas perspectivas para a agricultura digital e para a tomada de decisões mais assertivas.



## Capítulo 3

# FUNCIONAMENTO, USO, MANUTENÇÃO E REGULAGEM DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

### Introdução

O agronegócio é essencial para a economia brasileira, impulsionando o Produto Interno Bruto (PIB) e as exportações do país. Entre os estados de maior destaque na produção agrícola, Mato Grosso do Sul sobressai-se pela alta produtividade de grãos, consolidando-se entre os cinco maiores produtores do Brasil. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), para a safra 2024/2025 a produção estadual foi estimada em 27,4 milhões de toneladas de grãos, contra 19,9 milhões no ciclo 2023/2024.

Esse desempenho é impulsionado pela Agricultura de Precisão (AP), que pode ser conceituada como uma abordagem que integra tecnologias e princípios voltados ao manejo da variabilidade espacial e temporal na produção agrícola. Seu principal objetivo é aumentar a produtividade e a rentabilidade, minimizando os impactos ambientais, por meio da coleta, do armazenamento, da análise e da interpretação de dados agrícolas (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

Com a modernização do setor, os maquinários e implementos — como tratores, colhedoras, semeadoras e pulverizadores — desempenham um papel central ao longo de todo o ciclo produtivo, do preparo do solo à colheita. Esses equipamentos passaram a incorporar sistemas como sensores, controle automático de aplicação e georreferenciamento, que possibilitam o monitoramento em tempo real das operações. Dessa forma, a adoção de tecnologias como GPS, sensoriamento remoto e SIG tem permitido o desenvolvimento de estratégias de manejo baseadas em dados geoespaciais, otimizando o uso de insumos e reduzindo perdas ao longo do processo produtivo.

Diante da crescente demanda por eficiência e sustentabilidade no agronegócio, este capítulo tem como objetivo apresentar os princípios de funcionamento, o uso, a manutenção, a regulação e a aplicação de tecnologias em máquinas e implementos agrícolas na agricultura de precisão, destacando seus conceitos, desafios e perspectivas de adoção no setor.

## 1. Funcionamento e uso das máquinas e implementos na agricultura de precisão

Inicialmente, convém esclarecer os conceitos de máquina e de implemento agrícola. A máquina agrícola é projetada especificamente para realizar integralmente ou coadjuvar a execução de uma operação agrícola. O implemento agrícola, por sua vez, é um conjunto de órgãos que não apresentam movimentos relativos entre si nem capacidade de transportar energia (como arado, grade, subsolador e pulverizador acoplado ao trator), cujo único movimento é o de deslocamento, normalmente imprimido por uma máquina tratora (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

O funcionamento das máquinas e implementos na agricultura de precisão é sustentado por um conjunto de tecnologias integradas, voltadas à otimização da produção e à redução de desperdícios. Entre elas, destaca-se o GPS, que permite o mapeamento detalhado das áreas agrícolas, possibilitando a execução precisa de atividades como plantio, colheita e aplicação de insumos. Essa abordagem melhora a eficiência operacional e minimiza o desperdício de insumos e os impactos ambientais (Molin; Amaral; Colaço, 2015; Bassoi *et al.*, 2019).

Os implementos agrícolas, como semeadoras, plantadoras e pulverizadores, podem ser equipados com sistemas de aplicação em taxa variável, capazes de ajustar automaticamente a quantidade de sementes, fertilizantes e defensivos conforme a variabilidade espacial do solo e as necessidades específicas da cultura. Essa tecnologia possibilita uma distribuição mais uniforme dos insumos, reduzindo desperdícios, aumentando a eficiência operacional e promovendo o uso racional dos recursos disponíveis (Yang, 2018; Šarauskis *et al.*, 2022; Saleem *et al.*, 2024).

Além dos sistemas de taxa variável, diversas máquinas agrícolas incorporam sensores capazes de monitorar, em tempo real, parâmetros como umidade, temperatura e atributos do solo, fornecendo informações que auxiliam na tomada de decisão durante as operações de campo. Esses dados permitem realizar ajustes imediatos em atividades como irrigação, adubação e pulverização, tornando as intervenções mais precisas e eficientes (Figura 2). A conectividade entre máquinas, implementos e plataformas de gestão agrícola complementa esse processo, possibilitando o compartilhamento de informações em tempo real, o monitoramento remoto das operações, a integração dos dados obtidos em campo e a otimização do planejamento e da gestão das atividades agrícolas (Kumar; Ilango, 2018; Pal *et al.*, 2024; Saleem *et al.*, 2024).



Figura 2. Integração entre sensores, conectividade e plataformas de gestão na agricultura de precisão.



Fonte: Elaborado pelos autores com suporte de inteligência artificial generativa (ChatGPT, OpenAI, modelo GPT-5.5), 2026.



## 2. Manutenção e regulação de máquinas e implementos

A manutenção e a regulação de máquinas e implementos são essenciais para reduzir custos e aumentar a eficiência operacional, assegurando bom desempenho dos equipamentos ao longo de sua vida útil. Uma manutenção regular e bem planejada ajuda a prevenir falhas inesperadas, minimizar o tempo de inatividade e elevar os índices de produtividade. Existem diferentes tipos de manutenção, como a preventiva, a preditiva e a corretiva (Bai *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2025).

A manutenção preventiva envolve inspeções periódicas e a substituição de peças conforme a recomendação do fabricante ou a experiência acumulada. A preditiva utiliza dados coletados por sensores e sistemas de monitoramento para prever falhas antes que ocorram, permitindo ações mais assertivas. Já a corretiva é realizada após a falha, quando a máquina já está comprometida, o que pode elevar os custos e o tempo de parada.

A manutenção preditiva tem ganhado notoriedade com o uso de sensores avançados e análise de dados. Sensores de vibração, temperatura, pressão e outros parâmetros ajudam a identificar padrões que indicam possíveis falhas, possibilitando ajustes antes que ocorram panes e evitando custos elevados com reparos emergenciais (Shykhmat; Veres, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

Outros cuidados merecem destaque, especialmente a manutenção de motores, transmissões e sistemas hidráulicos e elétricos. A conservação dos motores inclui a troca regular de filtros, a verificação do nível de óleo e o monitoramento das temperaturas. Nos sistemas de transmissão, é fundamental lubrificar adequadamente as engrenagens e inspecionar folgas e desgastes. Os sistemas hidráulicos exigem atenção constante ao nível de fluido e à integridade das mangueiras e conexões, enquanto nos sistemas elétricos é essencial verificar fiação, baterias e conectores (Bai *et al.*, 2025; Shykhmat; Veres, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

No que se refere à regulação, ela é fundamental para otimizar a eficiência operacional, reduzir desperdícios e melhorar a produtividade. Nos pulverizadores, é necessário escolher os bicos corretos conforme o tipo de defensivo e o alvo de aplicação, ajustar a pressão para evitar deriva, utilizar sensores e GPS para garantir velocidade constante, calibrar o volume de aplicação e adotar controladores de taxa variável para evitar sobreposição. Nas semeadoras e plantadoras, deve-se ajustar o espaçamento e a população de plantas, regular a profundidade de semeadura e definir a taxa de fertilizante com base nos mapas de fertilidade. Nas colhedoras, a regulação envolve ajustar a velocidade do rotor e do ventilador, regular a abertura dos côncavos conforme a umidade dos grãos, definir a altura da barra de corte e utilizar sensores para mapear a produtividade. Em adubadoras e distribuidores, é fundamental regular a dosagem, verificar a uniformidade da distribuição e calibrar a balança nos equipamentos com sensores de pesagem (Shykhmat; Veres, 2024; Sebihi; Alakhras, 2025).

A geração de dados pelas máquinas agrícolas auxilia a tomada de decisão, mas sua precisão depende da calibração adequada dos sensores. Erros em monitores de produtividade, semeadura e umidade do solo podem comprometer a qualidade dos mapeamentos e resultar em decisões equivocadas. A falta de padronização na calibração afeta diretamente estratégias como a adubação a taxa variável e o controle localizado de pragas (Sebihi; Alakhras, 2025).

**Estudo de caso.** Lavorato (2016), no estudo “Riscos e retornos associados à utilização da agricultura de precisão em Mato Grosso do Sul: um estudo de caso”, analisou os riscos e retornos econômicos na produção de milho e soja, comparando sistemas que adotam a agricultura de precisão com aqueles que não a utilizam. Os resultados indicaram que o uso de máquinas equipadas com tecnologias de precisão pode melhorar significativamente a produtividade e reduzir os custos operacionais, desde que os produtores estejam dispostos a investir nessa transição.

### 3. Desafios e perspectivas futuras

A adoção de máquinas e implementos na agricultura de precisão apresenta elevado potencial para aumentar a produtividade, otimizar o uso dos recursos e promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entretanto, sua ampla implementação ainda enfrenta desafios importantes, como os elevados custos de aquisição e manutenção dos equipamentos, a limitação da infraestrutura de conectividade em muitas áreas rurais e a necessidade de capacitação contínua de operadores e técnicos para o uso adequado dessas tecnologias.

Nesse contexto, tendências emergentes, como a integração de inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (*machine learning*), Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem e robótica agrícola, têm impulsionado a transformação da mecanização agrícola em direção a sistemas cada vez mais inteligentes, autônomos e conectados. Essas tecnologias ampliam a capacidade de processamento e análise de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de padrões, a realização de análises preditivas e a tomada de decisões em tempo real, resultando em maior eficiência operacional, redução do consumo de insumos e otimização das operações agrícolas. Paralelamente, a robótica agrícola vem desempenhando papel estratégico na execução de tarefas repetitivas, como semeadura, pulverização, capina e colheita, além de contribuir para o monitoramento contínuo das lavouras por meio da integração com sensores, sistemas de visão computacional e veículos autônomos (Kumar; Ilango, 2018; Castillo, 2023; Saleem *et al.*, 2024).

Dessa forma, espera-se que a convergência dessas tecnologias consolide uma nova geração de máquinas e implementos agrícolas, caracterizada por elevados níveis de automação, conectividade e inteligência embarcada, tornando a agricultura de precisão cada vez mais eficiente, sustentável e orientada por dados.

### 4. Considerações finais

A mecanização agrícola, integrada aos princípios da agricultura de precisão, constitui um dos principais pilares da modernização dos sistemas produtivos, permitindo maior eficiência operacional, uso racional de insumos e redução dos impactos ambientais. A incorporação de tecnologias como GPS, sensores, sistemas de aplicação em taxa variável, conectividade e plataformas digitais amplia a capacidade de monitoramento e gestão das operações agrícolas, tornando a tomada de decisão mais precisa e baseada em dados. Entretanto, para que es-

ses benefícios sejam efetivamente alcançados, é indispensável que máquinas e implementos sejam submetidos a processos adequados de manutenção, regulação e calibração, assegurando a confiabilidade das informações geradas e o desempenho dos equipamentos ao longo de sua vida útil.

Ao mesmo tempo, a convergência entre inteligência artificial, aprendizado de máquina, Internet das Coisas e robótica agrícola impulsiona uma nova geração de máquinas cada vez mais autônomas, inteligentes e conectadas, capazes de otimizar continuamente as operações agrícolas. Embora desafios relacionados aos custos de implantação, à infraestrutura tecnológica e à qualificação da mão de obra ainda limitem a adoção dessas tecnologias em parte das propriedades rurais, a tendência é que sua disseminação fortaleça a competitividade, a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas de produção, consolidando a agricultura de precisão como uma estratégia indispensável para atender às demandas de produtividade e sustentabilidade da agricultura contemporânea.



## Capítulo 4

# USO DE MÁQUINAS AUTÔNOMAS APLICADAS AOS SISTEMAS DE CULTIVO

### Introdução

O agronegócio tem passado por uma intensa transformação tecnológica impulsionada pelos avanços da Agricultura 4.0, caracterizada pela integração entre mecanização, conectividade, sistemas de posicionamento global (GPS), Internet das Coisas (IoT), sensores, inteligência artificial, aprendizado de máquina e análise de grandes volumes de dados. A convergência dessas tecnologias tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas agrícolas cada vez mais inteligentes, nos quais a coleta, o processamento e a análise de informações ocorrem em tempo real, permitindo maior eficiência no planejamento e na execução das operações agrícolas. Nesse contexto, as máquinas agrícolas evoluíram de equipamentos destinados exclusivamente à mecanização para plataformas tecnológicas capazes de monitorar o ambiente, processar informações e executar operações com elevado nível de precisão, contribuindo para o aumento da produtividade, a otimização do uso de insumos e a redução dos impactos ambientais (Araújo *et al.*, 2021; Bissadu *et al.*, 2025).

Entre as principais inovações desse processo destacam-se as máquinas autônomas, que vêm ganhando espaço como uma das tecnologias mais promissoras para a agricultura moderna. Projetadas para executar operações com mínima ou nenhuma intervenção humana, essas máquinas incorporam sensores embarcados, sistemas de navegação por satélite, visão computacional, inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina, permitindo a realização de atividades como preparo do solo, semeadura, pulverização e colheita de forma autônoma, precisa e segura. Além de aumentar a eficiência operacional, essas



tecnologias reduzem desperdícios de insumos, diminuem custos com mão de obra, minimizam falhas operacionais e ampliam a segurança dos trabalhadores, especialmente em atividades repetitivas ou realizadas em condições adversas. A integração das máquinas autônomas com plataformas digitais de gestão agrícola também possibilita o monitoramento remoto das operações, o compartilhamento de dados em tempo real e a tomada de decisões baseada em informações precisas, fortalecendo os princípios da agricultura de precisão e da agricultura digital (Taha *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços observados, a adoção de máquinas autônomas ainda enfrenta desafios relacionados ao elevado custo de aquisição, à disponibilidade de infraestrutura de conectividade no meio rural, à interoperabilidade entre diferentes equipamentos e sistemas, à segurança cibernética e à necessidade de capacitação de operadores e técnicos para utilização e manutenção dessas tecnologias. Entretanto, o contínuo desenvolvimento de soluções baseadas em inteligência artificial, robótica e comunicação entre máquinas tem acelerado sua inserção no setor agrícola, indicando uma tendência de expansão nos próximos anos e consolidando as máquinas autônomas como elementos estratégicos para uma agricultura mais eficiente, sustentável e orientada por dados (Fountas *et al.*, 2025; Taha *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, o objetivo deste capítulo é compreender como as máquinas autônomas podem ser integradas de forma eficaz às práticas agrícolas, destacando seus princípios de funcionamento, as principais tecnologias embarcadas, suas aplicações nas diferentes operações mecanizadas e os desafios associados à sua adoção. Busca-se, ainda, discutir a contribuição dessas tecnologias para o fortalecimento da agricultura de precisão e da agricultura digital, evidenciando seu potencial para aumentar a produtividade, otimizar o uso dos recursos naturais e promover sistemas de produção mais sustentáveis.

## 1. Princípios de funcionamento das máquinas autônomas

O funcionamento de uma máquina autônoma baseia-se na interação contínua entre vários componentes tecnológicos: algoritmos, unidade de controle, sensores, atuadores e a plataforma de operação. A unidade de controle, que funciona como o cérebro da máquina, processa os dados coletados pelos sensores e toma decisões em tempo real. Os algoritmos interpretam informações sobre a localização da máquina, as condições ambientais e os objetivos da tarefa, enviando comandos precisos para os atuadores.

Os sensores, como câmeras, radar e receptores GNSS, são essenciais para que a máquina compreenda seu ambiente, monitorando variáveis como terreno, vegetação e condições climáticas. Além disso, permitem a comunicação entre a máquina e outras unidades ou sistemas centrais, garantindo a troca eficiente de dados. Os atuadores, por sua vez, executam as ações físicas conforme os comandos da unidade de controle, como acionar sistemas de plantio, movimentar lâminas de colheita ou ajustar a pulverização de insumos (Fountas *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025).

Toda essa tecnologia é integrada em uma plataforma de operação, que abriga a unidade de controle, os sensores, os atuadores e os sistemas de comunicação, além dos mecanismos de movimentação e dos sistemas de energia neces-

sários para o deslocamento autônomo. Dessa forma, o ciclo de coleta de dados, processamento, comunicação e execução permite que a máquina realize tarefas com alta precisão e mínima intervenção humana.

## 2. Exemplos de máquinas autônomas aplicadas aos sistemas de cultivo

O uso de máquinas autônomas nos sistemas de cultivo tem se expandido consideravelmente, incluindo tratores e semeadoras autônomas, colhedoras e pulverizadores autônomos, além de robôs para manejo de culturas e monitoramento em tempo real (Razak *et al.*, 2024; Fountas *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025; Taha *et al.*, 2025).

Tratores e semeadoras autônomas têm se mostrado eficazes em tarefas como aração, plantio e distribuição de fertilizantes e pesticidas, sem intervenção humana direta. Equipados com sistemas de navegação por GNSS e sensores, operam com precisão mesmo em campos vastos e complexos, e podem funcionar por longos períodos, resultando em maior área processada em menor tempo.

Colhedoras e pulverizadores autônomos também estão transformando as práticas agrícolas. As colhedoras autônomas, como os modelos desenvolvidos pela John Deere, realizam a colheita com grande precisão, reduzindo perdas. Os pulverizadores autônomos, equipados com sensores de alta precisão, ajustam automaticamente a quantidade de insumos aplicados conforme a necessidade das plantas e a variabilidade do campo, o que pode reduzir significativamente o uso de produtos químicos.

Os robôs para manejo de culturas representam uma das inovações mais avançadas. Equipados com câmeras de alta resolução e sensores, monitoram a saúde das plantas, identificam ervas daninhas e realizam tarefas como a colheita de frutas e vegetais. O Tertill, por exemplo, é um robô autônomo projetado para remover ervas daninhas em hortas e jardins: desloca-se sozinho utilizando sensores para evitar obstáculos e adota um critério simples para diferenciar plantas, qualquer vegetal com menos de 2,5 cm de altura é considerado erva daninha. A eliminação ocorre mecanicamente, por meio de um fio giratório semelhante ao de um aparador de grama. Alimentado por painéis solares e resistente à água, é energeticamente eficiente, embora seja mais eficaz em jardins planos e com espaçamento mínimo entre as plantas (Razak *et al.*, 2024; Taha *et al.*, 2025).

Outro exemplo é o ARA, sistema de pulverização de precisão desenvolvido pela empresa suíça Ecorobotix (Figura 3). Utilizando GPS, sensores e câmeras frontais, o ARA identifica plantas daninhas e aplica herbicidas diretamente sobre elas, empregando apenas a quantidade necessária, o que reduz o uso de defensivos e minimiza os impactos ambientais. Colhedoras e tratores autônomos, como os da John Deere e da Case IH, utilizam GNSS, sensores e IoT para operar sem a necessidade de um motorista, demonstrando o impacto positivo dessas tecnologias na eficiência operacional, na redução de custos e na sustentabilidade (Anken; Latsch, 2022).

Figura 3. Sistema ARA de pulverização seletiva desenvolvido pela Ecorobotix, equipado com câmeras, sensores, GPS e inteligência artificial para identificação de plantas daninhas e aplicação localizada de herbicidas em tempo real



Fonte: Adaptado de ECOROBOTIX (2026).

### 3. Desafios na implementação de máquinas autônomas

Apesar dos avanços observados no desenvolvimento de máquinas autônomas, a literatura demonstra que sua adoção em larga escala ainda ocorre de forma desigual entre regiões e sistemas produtivos. Embora os benefícios relacionados ao aumento da eficiência operacional, à redução do consumo de insumos e à maior precisão das operações sejam amplamente reconhecidos, esses resultados dependem da existência de um ambiente tecnológico, econômico e institucional favorável. Nesse contexto, observa-se que a simples disponibilidade da tecnologia não garante sua adoção, uma vez que fatores como custos de implantação, infraestrutura, qualificação profissional e retorno econômico exercem influência direta sobre a decisão dos produtores (Fountas *et al.*, 2025; Taha *et al.*, 2025).

Entre os principais entraves destaca-se o elevado investimento inicial necessário para aquisição das máquinas e dos sistemas embarcados, incluindo sensores, receptores GNSS de alta precisão, câmeras, plataformas computacionais e softwares especializados. Além do custo dos equipamentos, devem ser considerados os gastos relacionados à manutenção, atualização tecnológica e suporte técnico, que podem comprometer a viabilidade econômica, principalmente em pequenas e médias propriedades. Sob essa perspectiva, os autores entendem que a democratização dessas tecnologias dependerá não apenas da redução gradual dos custos de fabricação, mas também da criação de modelos de negócio mais flexíveis, como serviços de máquinas autônomas sob demanda (*Machinery as a Service* – MaaS), cooperativas de compartilhamento de equipamentos e políticas públicas de incentivo à inovação no setor agrícola.

Outro aspecto frequentemente apontado pela literatura refere-se às limitações da infraestrutura digital disponível no meio rural. O desempenho das máquinas autônomas está diretamente relacionado à disponibilidade de sinais GNSS confiáveis, conectividade estável para transmissão de dados, serviços em nuvem e integração com plataformas digitais de gestão. Entretanto, em diversas regiões agrícolas, especialmente em países em desenvolvimento, a cobertura limitada de internet e as deficiências na infraestrutura de telecomunicações reduzem significativamente o potencial dessas tecnologias. Dessa forma, os autores consideram que a expansão da conectividade rural representa um dos principais requisitos para consolidar a agricultura autônoma em larga escala, sendo tão importante quanto o desenvolvimento dos próprios equipamentos.

Além das limitações técnicas e econômicas, a implementação de máquinas autônomas envolve desafios relacionados ao fator humano. A introdução dessas tecnologias modifica o perfil das competências exigidas no campo, deslocando a necessidade de operadores tradicionais para profissionais capazes de interpretar dados, realizar calibração de sensores, monitorar sistemas digitais e executar manutenção especializada. Assim, a capacitação contínua torna-se um componente estratégico para garantir que o potencial tecnológico seja efetivamente convertido em ganhos de produtividade. Da mesma forma, ainda persistem preocupações relacionadas à segurança operacional, à proteção cibernética dos sistemas, à privacidade dos dados gerados pelas propriedades rurais e à definição de responsabilidades em caso de falhas ou acidentes envolvendo equipamentos autônomos. Esses aspectos evidenciam a necessidade de marcos regulatórios específicos que acompanhem a evolução tecnológica e ofereçam maior segurança jurídica aos fabricantes, desenvolvedores e usuários.

Na visão dos autores, os desafios para implementação das máquinas autônomas extrapolam a dimensão tecnológica e configuram uma questão sistêmica, que envolve infraestrutura, capacitação profissional, modelos de financiamento, regulamentação e transformação da gestão agrícola. Assim, a consolidação dessas tecnologias dependerá da atuação conjunta de instituições de pesquisa, universidades, empresas, fabricantes, órgãos governamentais e produtores rurais. À medida que esses fatores forem superados, espera-se que as máquinas autônomas deixem de representar uma tecnologia restrita a propriedades altamente tecnificadas e passem a integrar, de forma mais ampla, diferentes sistemas produtivos, contribuindo para uma agricultura cada vez mais inteligente, eficiente e sustentável.

#### **4. Considerações finais**

As máquinas autônomas representam uma importante evolução da mecanização agrícola e demonstram grande potencial de integração às práticas agrícolas modernas, especialmente no contexto da agricultura de precisão e da agricultura digital. Ao incorporar tecnologias como sensores embarcados, sistemas GNSS/GPS, visão computacional, inteligência artificial, aprendizado de máquina e plataformas digitais de gestão, esses equipamentos tornam possível a execução de operações como preparo do solo, semeadura, pulverização, monitoramento e colheita com maior precisão, eficiência e menor dependência de intervenção humana direta.



A análise apresentada evidencia que a integração eficaz dessas máquinas depende não apenas da disponibilidade tecnológica, mas também de planejamento, infraestrutura de conectividade, capacitação técnica e adequação dos sistemas produtivos. Embora ainda existam desafios relacionados ao alto custo de implantação, à manutenção especializada, à resistência de parte dos produtores e à necessidade de regulamentação, as máquinas autônomas tendem a contribuir significativamente para o aumento da produtividade, a redução de desperdícios, a otimização do uso de insumos e a diminuição dos impactos ambientais. Dessa forma, sua adoção gradual e planejada pode fortalecer a competitividade do agronegócio e promover sistemas agrícolas mais sustentáveis, inteligentes e orientados por dados.



## Capítulo 5

# USO DE DRONES NO MAPEAMENTO DE SOLO E PLANTAS E NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

### Introdução

A agricultura tem passado por uma profunda transformação impulsionada pelos avanços da Agricultura 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias digitais, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global (GNSS/GPS), Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e análise de grandes volumes de dados. Essas inovações têm ampliado a capacidade de monitoramento das lavouras e de tomada de decisão baseada em informações em tempo real, permitindo que as operações agrícolas sejam executadas com maior precisão, eficiência e sustentabilidade. Nesse contexto, a agricultura de precisão consolidou-se como uma importante estratégia para otimizar o uso de insumos, aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais, atendendo às crescentes demandas por sistemas produtivos mais competitivos e sustentáveis (Molin; Amaral; Colaço, 2015; Basso *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2025).

Entre as tecnologias que mais têm contribuído para essa transformação destacam-se os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, e os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS). Esses sistemas representam uma evolução significativa no monitoramento agrícola, permitindo a aquisição rápida de imagens de alta resolução, o mapeamento detalhado das áreas de cultivo e a coleta de informações sobre o estado nutricional das plantas, ocorrência de pragas e doenças, deficiência hídrica e variabilidade espacial das culturas. Além das atividades de monitoramento, os drones passaram a desempenhar papel relevante na pulverização localizada de defensivos, fertilizantes e bioinsumos, possibilitando aplicações mais precisas, redução

do consumo de produtos químicos, diminuição do amassamento das culturas e maior segurança para os operadores, uma vez que reduzem a exposição direta aos produtos aplicados (Deng *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2025).

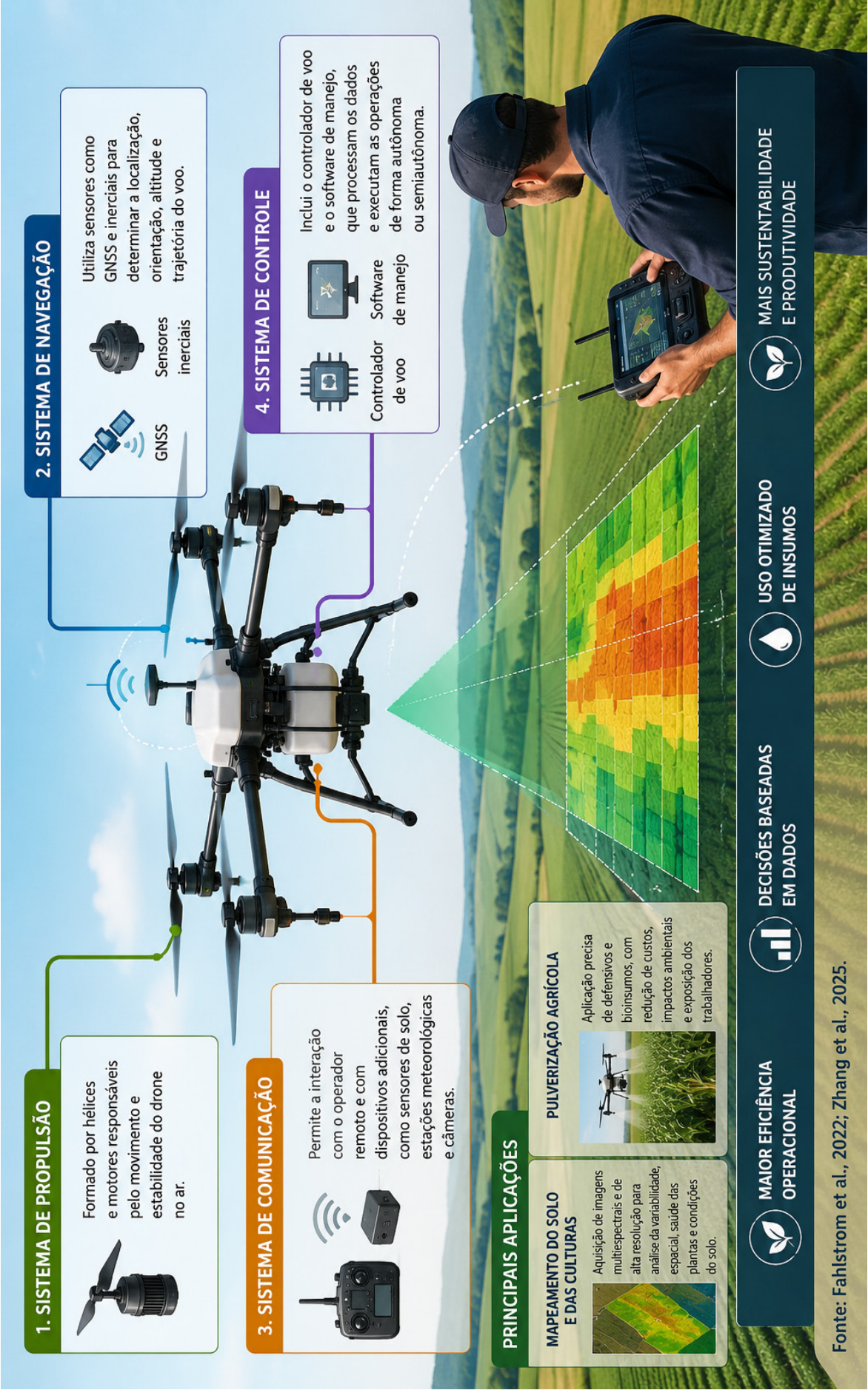
Embora os termos drone, VANT e RPAS sejam frequentemente utilizados como sinônimos, existem diferenças conceituais importantes entre eles. O termo drone corresponde a uma denominação popular para aeronaves não tripuladas, enquanto VANT refere-se especificamente ao veículo capaz de operar de forma remota ou autônoma. Já o conceito de RPAS é mais abrangente, incluindo não apenas a aeronave, mas também a estação de controle em solo, os sistemas de comunicação, os sensores embarcados e os demais componentes necessários para sua operação segura e regulamentada. Essa distinção é particularmente importante no contexto agrícola, considerando os aspectos técnicos, operacionais e legais envolvidos na utilização dessas tecnologias (Fahlstrom *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, o objetivo deste capítulo é apresentar os princípios de funcionamento dos drones aplicados à agricultura de precisão, abordando suas principais tecnologias embarcadas, suas aplicações no mapeamento de solo e plantas e na pulverização agrícola, bem como discutir os benefícios, limitações e desafios associados à sua utilização. Busca-se evidenciar como essas tecnologias têm contribuído para a modernização das operações agrícolas, favorecendo a tomada de decisão baseada em dados, a otimização do uso de insumos e a promoção de sistemas de produção mais eficientes, sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

## 1. Componentes e evolução dos drones na agricultura

Os drones agrícolas possuem quatro componentes principais: o sistema de propulsão, formado por hélices e motores responsáveis pelo movimento no ar; o sistema de navegação, que utiliza sensores como GNSS e inerciais para determinar a localização e a orientação; o sistema de comunicação, que permite a interação com o operador remoto e com dispositivos adicionais, como sensores de solo; e o sistema de controle, que inclui o controlador de voo e o software de manejo (Figura 4). Nos últimos anos, o uso desses equipamentos expandiu-se de forma expressiva na agricultura, sobretudo no mapeamento do solo e na pulverização (Fahlstrom *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2025).

Figura 4. Principais componentes de um drone agrícola, destacando os sistemas de propulsão, navegação, comunicação e controle.



Fonte: Elaborado pelos autores com suporte de inteligência artificial generativa (ChatGPT, OpenAI, modelo GPT-5.5), 2026.



## 2. Elaboração do plano de voo: pulverização e mapeamento

A elaboração de um plano de voo para drones em aplicações agrícolas envolve etapas essenciais para garantir eficiência, precisão e segurança. O primeiro passo é definir os objetivos, que podem incluir o mapeamento da saúde das culturas, a identificação de pragas e doenças, a análise da variabilidade espacial das lavouras, a pulverização de defensivos e fertilizantes ou o monitoramento contínuo.

Em seguida, é necessário conhecer a área de trabalho, determinando seus limites, coordenadas e características do terreno, como declives e obstáculos. A vegetação também deve ser considerada, avaliando o tipo de cultivo, a altura das plantas e o estágio de desenvolvimento, além dos fatores que podem influenciar os parâmetros de voo. A escolha do equipamento deve estar alinhada à finalidade, seja o mapeamento com sensores multiespectrais, seja a pulverização com sistemas de aplicação. O planejamento deve incluir altura de voo, sobreposição de imagens (de 70% a 80%), velocidade do drone e configuração da pulverização, de modo a garantir uniformidade (Avtar; Watanabe, 2020; Fahlstrom *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2025).

As condições climáticas devem ser analisadas previamente, pois ventos fortes afetam a estabilidade do voo, a chuva pode comprometer os equipamentos e a luz solar influencia a qualidade das imagens. O plano de voo pode ser configurado em softwares como Pix4Dfields, SMS Advanced, TerrAvion ou DroneDeploy, que otimizam rotas, consumo de bateria e tempo de operação, além de definir pontos de partida e pouso, zonas de exclusão e áreas prioritárias. Antes da execução, testes pré-voo são essenciais para verificar sensores, sistema de pulverização, baterias e firmware. Por fim, os dados coletados devem ser processados e analisados em softwares específicos, permitindo ajustes que otimizam os resultados.

## 3. Aplicação de drones na pulverização aérea

O uso de drones na pulverização agrícola destaca-se pela eficiência e precisão na aplicação de defensivos. O processo envolve etapas fundamentais, como a avaliação da área e da cultura, a definição do tamanho da área a ser tratada e a escolha do bico pulverizador e da vazão adequada, considerando as especificações dos defensivos (Nobre *et al.*, 2023).

É necessário escolher drones com capacidade para carregar o tipo de produto desejado, equipados com sistemas de pulverização eficientes; alguns modelos contam com reservatórios específicos para líquidos ou granulados. Durante a operação, é importante acompanhar o processo em tempo real para realizar ajustes e garantir a eficácia da aplicação. A preparação da calda deve seguir uma ordem específica de adição dos produtos, respeitando as formulações e concentrações recomendadas, e o planejamento do voo deve levar em conta as características da área, as condições climáticas e possíveis obstáculos, seguindo sempre as recomendações dos fabricantes dos defensivos e dos equipamentos (Avtar; Watanabe, 2020; Fahlstrom *et al.*, 2022; Nobre *et al.*, 2023).

A altura ideal de voo, em geral entre 2 e 4 metros acima do dossel da cultura, deve ser ajustada conforme a cultura e o tipo de aplicação, garantindo boa co-

bertura, redução da deriva e eficiência na absorção do produto. Estudos indicam que a pulverização com drones tende a ser mais eficiente no controle de pragas do que os métodos manuais, com redução de desperdícios e de impactos. Em culturas como soja e milho, os drones demonstram boa cobertura e redução no tempo e nos custos da aplicação, e sua capacidade de operar em terrenos irregulares e de difícil acesso reforça a contribuição para a eficiência e a sustentabilidade, ao evitar a compactação do solo e reduzir a necessidade de mão de obra e o consumo de combustível (Fahlstrom *et al.*, 2022; Nobre *et al.*, 2023).

#### 4. Uso de drones no mapeamento de solo e plantas

O uso de drones no mapeamento de solo e no monitoramento de plantas consolidou-se como ferramenta essencial na agricultura de precisão. Equipados com sensores multiespectrais, térmicos e RGB, permitem a coleta de dados detalhados sobre a composição do solo, a variabilidade de texturas, a distribuição de nutrientes e a saúde das plantas, oferecendo uma análise precisa que facilita a otimização do uso de insumos (Nahiyoony *et al.*, 2024).

No mapeamento do solo, os drones permitem a criação de mapas detalhados e a detecção de áreas com maior potencial de erosão, essenciais para o planejamento de intervenções específicas e para a gestão da fertilidade. A aplicação localizada de insumos, orientada por esses dados, melhora a produtividade e promove práticas mais sustentáveis, reduzindo custos operacionais (Sona *et al.*, 2016).

Quanto ao monitoramento das plantas, os drones têm se mostrado eficazes na identificação precoce de estresses hídricos, nutricionais ou sanitários. Equipados com câmeras multiespectrais ou térmicas, detectam problemas em tempo hábil, possibilitando intervenções rápidas e precisas. Após a coleta, plataformas e softwares geram índices como o NDVI, amplamente utilizado para avaliar o vigor vegetativo e identificar áreas de baixo ou alto desempenho, subsidiando decisões sobre a aplicação de insumos e o manejo das lavouras. Cabe observar que, embora ofereçam alta resolução espacial e operem mesmo em dias nublados, os drones possuem alcance limitado e exigem operações frequentes para cobrir grandes áreas (Torres-Sánchez *et al.*, 2014; Nahiyoony *et al.*, 2024).

**Estudo de caso.** Fushimi, De Lima e Capoane (2024), no estudo “Changes in land use and cover and their environmental impacts in the Cerrado of Mato Grosso do Sul, Brazil”, compararam mapas de 1985 e 2022 para analisar a substituição da vegetação nativa por pastagens e a introdução de monoculturas de soja e milho na safrinha. Os autores destacaram impactos ambientais, como a aceleração de processos erosivos, e ressaltaram o uso de sensoriamento remoto e índices de vegetação para monitorar e mapear essas mudanças, permitindo uma análise mais precisa das áreas degradadas com foco no manejo sustentável.

## 5. Vantagens e desvantagens do uso de drones

Entre as principais desvantagens do uso de drones na agricultura estão os altos custos iniciais e de manutenção, a necessidade de treinamento especializado e as limitações de carga útil e de autonomia de bateria, que podem afetar a eficiência das operações. Somam-se desafios legais e regulatórios e preocupações com privacidade na coleta de dados. A integração de dados de múltiplos sensores é outra dificuldade relevante: embora os drones coletem dados detalhados, sua análise exige softwares e plataformas sofisticados, e a falta de padronização nos formatos entre diferentes fabricantes dificulta a interoperabilidade, aumentando custos e tempo de processamento (Fahlstrom *et al.*, 2022; Nobre *et al.*, 2023).

## 6. Aspectos legislativos

No Brasil, o uso de drones na agricultura é regulamentado pela ANAC, pelo DECEA e pelo Ministério da Defesa. A legislação exige que operadores sejam maiores de idade, habilitados e registrados no Sipeagro para drones acima de 250 gramas, além de possuírem seguro de responsabilidade civil. A ANAC exige certificação para empresas e autorização para operação em áreas rurais, salvo para fins recreativos; drones importados devem ser homologados pela Anatel, e o DECEA requer a apresentação de uma planilha de risco operacional. Embora restritiva, a legislação tem evoluído para facilitar o uso de drones na agricultura, promovendo capacitação e desenvolvimento tecnológico (Moraes *et al.*, 2024).

## 7. Considerações finais

A análise apresentada ao longo deste capítulo evidencia que os drones constituem uma das principais tecnologias da agricultura de precisão, reunindo sistemas de navegação, sensores embarcados, plataformas de comunicação e processamento de dados que permitem a execução de atividades de mapeamento, monitoramento e pulverização com elevados níveis de precisão. Sua integração às práticas agrícolas amplia a capacidade de diagnóstico das lavouras, favorece a tomada de decisão baseada em dados e contribui para a otimização do uso de insumos, aumentando a eficiência operacional e reduzindo os impactos ambientais.

Entretanto, a consolidação dessa tecnologia ainda depende da superação de desafios relacionados aos custos de aquisição e operação, à infraestrutura de conectividade, à capacitação técnica dos operadores e ao atendimento das exigências regulatórias. Apesar dessas limitações, as evidências apresentadas demonstram que o avanço dos sensores, da inteligência artificial, do sensoriamento remoto e dos sistemas de pulverização de precisão tende a ampliar significativamente o uso dos drones na agricultura. Dessa forma, conclui-se que essas aeronaves representam uma ferramenta estratégica para o fortalecimento da agricultura de precisão e da agricultura digital, contribuindo para sistemas produtivos mais inteligentes, sustentáveis, competitivos e orientados por dados, em consonância com as demandas da agricultura contemporânea.



## Capítulo 6

# PLATAFORMAS E SOFTWARES PARA CONTROLE E GESTÃO DE SISTEMAS DE CULTIVO E PROPRIEDADES RURAIS

### Introdução

A crescente digitalização do agronegócio tem promovido profundas mudanças na forma como as atividades agrícolas são planejadas, monitoradas e gerenciadas. O avanço da agricultura de precisão, aliado ao desenvolvimento da Agricultura 4.0, possibilitou a integração de tecnologias como sistemas de posicionamento global (GNSS/GPS), sensoriamento remoto, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, inteligência artificial e análise de grandes volumes de dados (big data). Esse conjunto de inovações tem ampliado significativamente a capacidade de coleta, processamento e interpretação de informações, permitindo que as decisões relacionadas ao manejo agrícola sejam cada vez mais baseadas em dados e evidências técnicas (Ogobor *et al.*, 2025).

Nesse contexto, os softwares agrícolas e as plataformas digitais de gestão assumem papel estratégico ao integrar informações provenientes de diferentes fontes, como máquinas agrícolas, drones, sensores de campo, estações meteorológicas, imagens de satélite e dispositivos móveis. Essas plataformas transformam dados brutos em informações organizadas e indicadores de desempenho, possibilitando o acompanhamento em tempo real das operações agrícolas, o planejamento das atividades, o monitoramento da produtividade e o gerenciamento eficiente dos recursos utilizados na produção. Dessa forma, tornam-se ferramentas indispensáveis para aumentar a eficiência operacional, reduzir desperdícios e melhorar a rentabilidade das propriedades rurais (Ogobor *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025).

Além de apoiar o gerenciamento das atividades agrícolas, os softwares de



gestão contribuem para a rastreabilidade da produção, o controle de custos, o planejamento financeiro, o atendimento às exigências ambientais e a documentação das operações realizadas em campo. A integração dessas plataformas com tecnologias de inteligência artificial e aprendizado de máquina também amplia sua capacidade analítica, permitindo identificar padrões, gerar recomendações e apoiar decisões estratégicas relacionadas ao manejo das culturas, à aplicação de insumos e à previsão de produtividade. Como consequência, observa-se uma crescente adoção dessas ferramentas em propriedades de diferentes portes, consolidando a agricultura digital como um dos principais vetores de inovação e competitividade no agronegócio (Mahmood *et al.*, 2026).

Tendo em vista o panorama apresentado, este capítulo tem como objetivo apresentar as principais plataformas e softwares utilizados no setor agrícola, abordando suas funcionalidades, aplicações e contribuições para o gerenciamento das propriedades rurais. Busca-se, ainda, discutir como essas tecnologias apoiam a agricultura de precisão e a agricultura digital, bem como analisar os desafios relacionados à sua implementação, integração e adoção pelos produtores, evidenciando seu potencial para promover sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e orientados por dados.

## 1. Ferramentas de geoprocessamento e análise espacial

Conforme apresentado no primeiro capítulo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o ArcGIS e o QGIS, constituem a base da análise espacial na agricultura de precisão, possibilitando o armazenamento, processamento, integração e visualização de informações georreferenciadas. Essas ferramentas permitem mapear a variabilidade espacial de atributos do solo, identificar padrões de produtividade, delimitar zonas de manejo e apoiar o planejamento das operações agrícolas. Da mesma forma, o Google Earth Engine (GEE) revolucionou o processamento de dados geoespaciais ao disponibilizar uma plataforma em nuvem capaz de analisar grandes volumes de imagens de sensoriamento remoto provenientes de satélites como Landsat, Sentinel e MODIS, reduzindo significativamente o tempo necessário para a obtenção de informações estratégicas para o monitoramento agrícola (Vijayakumar *et al.*, 2024).

Além da análise espacial, essas plataformas permitem integrar diferentes fontes de dados, como imagens de satélite, levantamentos realizados por drones, sensores de campo, estações meteorológicas, mapas de produtividade e registros provenientes de máquinas agrícolas. Essa integração possibilita a construção de modelos mais completos sobre as condições das lavouras, favorecendo o monitoramento contínuo do desenvolvimento das culturas, a identificação precoce de estresses hídricos, nutricionais e fitossanitários, bem como o planejamento de práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis. Dessa forma, os SIG e as plataformas de processamento em nuvem tornam-se importantes sistemas de apoio à tomada de decisão, permitindo que produtores e técnicos realizem intervenções de forma mais precisa e fundamentada (Vijayakumar *et al.*, 2024; Ogobor *et al.*, 2025).

A partir dessa base tecnológica, surgiram diversas plataformas comerciais voltadas à agricultura digital, que incorporam as funcionalidades dos Sistemas de Informações Geográficas e do sensoriamento remoto a interfaces mais intuiti-

vas e direcionadas ao gerenciamento das propriedades rurais. Além da visualização de mapas e indicadores espaciais, essas soluções oferecem ferramentas para gestão operacional, planejamento das atividades agrícolas, controle de custos, rastreabilidade da produção, monitoramento de máquinas, emissão de relatórios e integração com dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT). Assim, essas plataformas ampliam o potencial das geotecnologias, transformando dados espaciais em informações estratégicas para apoiar a tomada de decisão e aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Mahmood *et al.*, 2026).

## 2. Principais softwares para a gestão de propriedades rurais

No contexto da agricultura moderna, diversas plataformas têm sido desenvolvidas para atender às demandas de controle e gestão. Entre elas, destacam-se os sistemas de gestão de propriedades, os softwares de monitoramento remoto e as plataformas de modelagem e previsão climática.

A plataforma Climate FieldView auxilia produtores na tomada de decisão com base em dados coletados diretamente da lavoura, permitindo monitorar, analisar e visualizar informações agronômicas de forma integrada. Possibilita o mapeamento em tempo real, a identificação da variabilidade dentro da área cultivada e o acompanhamento do desenvolvimento das culturas por meio de imagens de satélite e mapas de produtividade, além de viabilizar a prescrição de taxa variável. O Aegro, por sua vez, é um dos softwares de gestão de fazendas mais completos do Brasil, permitindo controlar o planejamento de safra, a gestão de estoque, a área fiscal e financeira e o pós-venda.

No que se refere à gestão de máquinas, o Trimble Ag Software é uma plataforma focada em agricultura de precisão que integra equipamentos de diferentes marcas. Permite o monitoramento em tempo real de atividades como plantio, pulverização e colheita, além de oferecer ferramentas para planejamento, controle de custos e rastreamento de produtividade, integrando-se a sensores e a tecnologias de mapeamento, como o GNSS.

O acesso a dados climáticos precisos é fundamental para o planejamento agrícola. O FarmLogs oferece dados históricos de precipitação e temperatura, permitindo identificar padrões que influenciam a produtividade, enquanto o Sistema de Suporte à Decisão Agrometeorológica (Sisdagro), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), fornece monitoramento agrometeorológico e previsões sobre condições favoráveis à formação de geada, apoiando decisões estratégicas em atividades como irrigação e aplicação de defensivos.

O uso de drones também transformou a coleta de dados. Ferramentas como Pix4Dfields e DroneDeploy destacam-se nesse processo: o Pix4Dfields processa imagens capturadas por drones, gerando mapas de alta precisão e índices como o NDVI para análise da variabilidade das lavouras, enquanto o DroneDeploy é voltado à operação e gestão dos voos, permitindo definir rotas e capturar imagens para análise posterior. Já a Strider é uma plataforma de monitoramento de pragas que utiliza coletores com GPS e câmera para amostrar áreas em campo, gerando dados georreferenciados que auxiliam na identificação de áreas mais propensas a infestações e na recomendação de medidas de controle, com ganhos na redução do uso de defensivos e na eficiência da tomada de decisão.

Os softwares de análise de solo e planejamento também se consolidaram como ferramentas essenciais. O Siscob, desenvolvido pela Embrapa, utiliza processamento de imagens para analisar a cobertura vegetal do solo, quantificando padrões como solo exposto, vegetação e palhada, embora não realize análises químicas e físicas. Já o Soil-App, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), permite interpretar análises químicas do solo e fornece recomendações de adubação, com interface intuitiva e gratuita, cuja eficácia depende do conhecimento prévio do usuário sobre a interpretação dos dados.

A variedade de plataformas apresentadas evidencia que a agricultura digital abrange diferentes áreas de atuação, integrando soluções para gestão da propriedade, monitoramento das operações mecanizadas, acompanhamento das condições climáticas, processamento de imagens obtidas por drones e análise de atributos do solo. Conforme ilustrado na Figura 5, essas ferramentas atuam de forma complementar, permitindo centralizar informações provenientes de diferentes fontes e transformá-las em indicadores que apoiam o planejamento, a tomada de decisão e a gestão das atividades agrícolas, contribuindo para o aumento da eficiência, da produtividade e da sustentabilidade dos sistemas de produção.

Figura 5. Principais plataformas e softwares utilizados na agricultura digital.





### 3. Desafios e tendências futuras

Embora as plataformas e os softwares agrícolas tenham ampliado significativamente a capacidade de monitoramento, planejamento e gestão das propriedades rurais, sua adoção em larga escala ainda enfrenta limitações que vão além da disponibilidade tecnológica. A literatura demonstra que a transformação digital no campo depende da combinação de infraestrutura, conectividade, qualificação profissional e viabilidade econômica. Dessa forma, a simples disponibilização de ferramentas digitais não garante sua utilização efetiva, uma vez que fatores como custos de implantação, resistência à mudança, falta de interoperabilidade entre sistemas e dificuldades na interpretação das informações ainda representam importantes barreiras, especialmente para pequenos e médios produtores (Vijayakumar *et al.*, 2024; Ogobor *et al.*, 2025; Mahmood *et al.*, 2026).

Outro desafio relevante refere-se à integração dos diferentes ecossistemas digitais existentes no agronegócio. Atualmente, muitas plataformas operam de forma isolada, utilizando formatos proprietários que dificultam o compartilhamento de informações entre máquinas, sensores, drones, estações meteorológicas e softwares de gestão. Essa fragmentação reduz o potencial da agricultura digital, pois limita a construção de uma visão integrada da propriedade rural. Nesse contexto, a adoção de padrões abertos para troca de dados e o desenvolvimento de soluções interoperáveis constituem aspectos fundamentais para ampliar a eficiência dos sistemas de informação e favorecer a tomada de decisão baseada em dados.

Sob a perspectiva tecnológica, observa-se uma tendência de incorporação crescente de inteligência artificial, aprendizado de máquina, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem e análise de grandes volumes de dados (big data) às plataformas de gestão agrícola. Essas tecnologias tendem a ampliar a capacidade de geração de recomendações automáticas, previsão de produtividade, detecção precoce de anomalias e otimização das operações agrícolas em tempo real. Paralelamente, a expansão das redes 5G, o aumento da cobertura de internet nas áreas rurais e a redução dos custos de sensores e dispositivos conectados deverão favorecer a democratização dessas soluções, tornando-as mais acessíveis a propriedades de diferentes portes.

Entretanto, na visão dos autores, o principal desafio para a consolidação da agricultura digital não está apenas no desenvolvimento de novas tecnologias, mas na capacidade de transformá-las em ferramentas efetivamente úteis para o produtor rural. Isso exige investimentos contínuos em capacitação técnica, assistência especializada, infraestrutura digital e políticas públicas que incentivem a inovação, a inclusão tecnológica e a interoperabilidade entre plataformas. Somente por meio dessa abordagem integrada será possível ampliar a adoção dos softwares agrícolas e explorar plenamente seu potencial para promover sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e orientados por dados.

### 4. Considerações finais

As plataformas e softwares têm promovido avanços na eficiência e na sustentabilidade da agricultura, otimizando o manejo e reduzindo impactos ambientais. Sua eficácia, contudo, depende da capacitação técnica dos produtores,

o que exige investimentos em treinamento. O futuro da agricultura depende do acesso equitativo às tecnologias, principalmente para pequenos e médios produtores, e da integração de soluções inovadoras. Ao combinar inovação e qualificação, o setor pode se tornar mais eficiente, resiliente e sustentável, apto a atender às demandas globais por alimentos.



## Capítulo 7

# AGRICULTURA DIGITAL EM PROPRIEDADES RURAIS

### Introdução

A agricultura, uma das atividades mais antigas da humanidade, é fundamental para a alimentação da população e para o fortalecimento da economia global. Com o crescimento populacional projetado para 9,7 bilhões de pessoas até 2050 e a necessidade de ampliar a produção de alimentos, sua importância torna-se ainda mais evidente. Nesse contexto, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores agrícolas do mundo, contribuindo de forma significativa para o superávit econômico e a geração de empregos (Taha *et al.*, 2025; Fountas *et al.*, 2025).

A agricultura digital tem sido utilizada para impulsionar os índices de produtividade. Pode ser definida como o conjunto de tecnologias aplicadas para aumentar a eficiência, a sustentabilidade e a rentabilidade das atividades agrícolas, integrando ferramentas como sensores, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data e sistemas de satélites para coletar e analisar dados em tempo real. Essa abordagem otimiza o uso de insumos, o manejo de cultivos, a irrigação e o controle de pragas, aumentando a produtividade, reduzindo desperdícios e promovendo práticas mais sustentáveis (Molin; Amaral; Colaço, 2015; Ogobor *et al.*, 2025).

Cabe destacar que a agricultura passou por diferentes estágios de evolução: da tração animal (Agricultura 1.0) ao uso de motores e insumos químicos (Agricultura 2.0), seguindo para a agricultura de precisão (Agricultura 3.0) e, atualmente, para a Agricultura 4.0, que integra IoT, inteligência artificial e big data. Essa transformação ampliou a eficiência e permitiu uma gestão mais sustentável

das propriedades, tendência que se aprofunda com a chamada Agricultura 5.0, ao incorporar robótica e automação. Assim, a agricultura digital tem se expandido tanto em grandes quanto em pequenas propriedades, embora desafios e oportunidades variem conforme o porte (Taha *et al.*, 2025; Bissadu *et al.*, 2025; Fountas *et al.*, 2025).

Este capítulo busca explorar o impacto da agricultura digital nas propriedades rurais, abordando seus conceitos, aplicações práticas, desafios, perspectivas e contribuições para uma produção mais sustentável.

## 1. Agricultura digital: conceitos e tecnologias

A agricultura digital tem transformado as propriedades ao integrar tecnologias que otimizam processos e aumentam a produtividade. Entre os pilares dessa evolução, o big data refere-se ao processamento e à análise de grandes volumes de dados, coletados de diversas fontes e caracterizados por alta variedade, velocidade e complexidade. Esses dados exigem tecnologias avançadas, como inteligência artificial e aprendizado de máquina, para gerar informações valiosas e decisões mais precisas. Na agricultura, o big data auxilia na seleção de cultivares mais adaptadas, na identificação de falhas em tratamentos culturais e no planejamento estratégico; um exemplo é a otimização do plantio de soja por meio da análise de dados climáticos e de solo, que permite sugerir cultivares mais adequadas a cada região e identificar deficiências nutricionais, infestações ou falhas na irrigação (Balasundram *et al.*, 2023).

A Internet das Coisas (IoT) consiste na rede de dispositivos conectados que coletam, compartilham e trocam dados de forma autônoma. Na agricultura, permite conectar sensores e dispositivos inteligentes, otimizando as operações no campo. Um exemplo prático são as estações meteorológicas conectadas, que fornecem dados climáticos em tempo real e auxiliam no planejamento e na prevenção de perdas (Issa *et al.*, 2024).

A inteligência artificial é outra tecnologia central, capaz de imitar processos cognitivos humanos e aprender com experiências para resolver problemas complexos. Na agricultura, potencializa a tomada de decisão ao analisar grandes volumes de dados em tempo real: algoritmos avançados processam informações sobre clima, solo, pragas e produtividade, permitindo previsões mais precisas e estratégias de manejo otimizadas. Essa análise pode antecipar surtos de pragas com base em padrões históricos e condições climáticas atuais, possibilitando medidas preventivas que reduzem o uso excessivo de defensivos e tornam a aplicação mais eficiente e sustentável (Issa *et al.*, 2024; Hussein *et al.*, 2024).

Complementando essas inovações, os sensores e controladores são essenciais para detectar estímulos físicos, químicos ou biológicos e enviar sinais que automatizam processos. Sensores de umidade do solo, estações meteorológicas automáticas, medidores de pH e sensores instalados em máquinas fornecem dados fundamentais para a gestão eficiente das propriedades. A computação em nuvem, por sua vez, oferece serviços de armazenamento e sistemas de gestão acessíveis via internet, eliminando a necessidade de infraestrutura física dispendiosa e permitindo o acesso remoto a grandes volumes de dados. A disponibilidade de dados em tempo real é um dos pilares da agricultura digital, pois possibilita a detecção precoce de estresses hídricos, deficiências nutricionais e incidência



de pragas e doenças (Kumar; Ilango, 2018; Pal *et al.*, 2024; Saleem *et al.*, 2024).

No contexto das grandes culturas, como soja e milho, relevantes em Mato Grosso do Sul, a adoção de tecnologias digitais permite um monitoramento preciso da variabilidade espacial e temporal das lavouras. O uso do NDVI facilita a avaliação do vigor vegetativo e a estimativa da produtividade ao longo do ciclo, e sua integração com informações meteorológicas aprimora a modelagem preditiva de rendimento. O sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélites, drones e aeronaves, complementa esse monitoramento ao identificar variações no vigor vegetativo e na umidade do solo, enquanto as tecnologias GPS e GNSS otimizam a precisão das operações e automatizam o controle de tratores e colhedoras, melhorando a produtividade e reduzindo custos (Formaggio; Sanches, 2017).

## 2. Benefícios e desafios da agricultura digital

A agricultura digital oferece benefícios como a coleta de dados em tempo real por sensores e drones, permitindo ajustes precisos no manejo das culturas e promovendo o uso mais eficiente de recursos, como água e fertilizantes, além de reduzir impactos ambientais ao evitar a aplicação excessiva de insumos (Bernardi *et al.*, 2014). Contribui, ainda, para a redução de custos ao otimizar o uso de recursos e máquinas, melhorando a eficiência operacional (Molin; Amaral; Colaço, 2015; Balasundram *et al.*, 2023).

A implementação, no entanto, enfrenta desafios que dificultam sua adoção, especialmente entre pequenos produtores, entre os quais se destacam a falta de infraestrutura adequada e a necessidade de capacitação técnica. Para superar essas barreiras, uma estratégia viável é a adoção de padrões abertos para a integração de sistemas, aliada a parcerias entre instituições públicas e privadas que promovam a capacitação dos produtores e viabilizem melhorias na infraestrutura local. O futuro da agricultura digital é promissor, com avanços em automação, inteligência artificial e big data que permitirão uma gestão cada vez mais eficiente e adaptada às mudanças climáticas.

## 3. Estudos de caso em grandes e pequenas propriedades

O uso de tecnologias digitais tem se mostrado eficaz tanto em grandes quanto em pequenas propriedades, promovendo a otimização de processos e a redução de custos operacionais.

**Estudo de caso.** Em grandes propriedades de Mato Grosso do Sul, a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina tem aprimorado a eficiência produtiva. Cirqueira (2022) utilizou modelos baseados em inteligência artificial para prever danos mecânicos e a viabilidade de sementes de soja durante o armazenamento. Os resultados evidenciaram que a IA pode melhorar a avaliação da qualidade das sementes, reduzindo perdas e aumentando a rentabilidade — reflexo da capacidade das tecnologias digitais de transformar a produção agrícola.

As políticas públicas no estado têm buscado incluir também os pequenos produtores nesse processo de digitalização, reconhecendo a importância da inclusão digital para o fortalecimento da agricultura familiar. A Embrapa, por meio de seus centros de pesquisa, destaca-se com projetos como o Semear Digital, que capacita agricultores familiares no uso de ferramentas digitais para otimizar a gestão das propriedades e a comercialização de seus produtos. Complementando essas iniciativas, o projeto “Fortalecendo a Agricultura Familiar no Estado de Mato Grosso do Sul”, desenvolvido pela UFMS, capacita agricultores no uso de novas tecnologias e metodologias de produção, oferecendo cursos e dias de campo. O Senar/MS, por sua vez, tem papel primordial na inclusão digital no campo por meio de sua plataforma de Educação a Distância, que oferece cursos gratuitos sobre gestão da propriedade, boas práticas agrícolas e uso de tecnologias digitais.

Essas iniciativas são essenciais para garantir que a inclusão digital alcance todos os segmentos da agricultura, oferecendo aos pequenos produtores as ferramentas necessárias para modernizar suas atividades. Ao promover a agricultura digital, Mato Grosso do Sul fortalece a sustentabilidade e a eficiência de sua produção e consolida-se como um modelo de inovação no agronegócio brasileiro.

#### **4. Considerações finais**

A agricultura digital tem revolucionado o setor, promovendo maior eficiência, produtividade e sustentabilidade por meio de tecnologias como sensoria-mento remoto, GPS, IoT e SIG. Embora persistam desafios, como a falta de infra-estrutura e de capacitação, sua popularização aponta para um futuro promissor. Em Mato Grosso do Sul, a adoção dessas tecnologias tem crescido, resultando em práticas mais eficientes e sustentáveis. Iniciativas como o Semear Digital, da Embrapa, o projeto “Fortalecendo a Agricultura Familiar”, da UFMS, e a plataforma de Educação a Distância do Senar/MS têm capacitado produtores, promovendo a modernização e o fortalecimento da agricultura familiar.

## **Declaração de uso de ferramentas de inteligência artificial**

Os autores declaram que, durante a elaboração deste trabalho, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, especificamente ChatGPT (OpenAI) e Claude (Anthropic), exclusivamente como instrumentos de apoio ao desenvolvimento do manuscrito.

As ferramentas foram empregadas para auxiliar na identificação e localização de artigos científicos, na busca de referências bibliográficas, na organização e estruturação dos tópicos, na revisão da concordância gramatical, na melhoria da fluidez textual e na elaboração de figuras esquemáticas de caráter ilustrativo. As imagens geradas com o auxílio de inteligência artificial encontram-se devidamente identificadas e referenciadas nas respectivas legendas, em conformidade com os princípios de transparência e boas práticas acadêmicas.

Os autores declaram, ainda, que todas as informações obtidas por meio dessas ferramentas foram verificadas quanto à sua precisão, coerência e adequação ao contexto científico, sendo confrontadas com a literatura especializada e as fontes originais citadas ao longo do trabalho. A seleção das referências, a interpretação da literatura, a análise crítica, a organização do conteúdo, as discussões, as conclusões e todas as decisões científicas apresentadas neste capítulo são de inteira responsabilidade dos autores. Assim, o uso das ferramentas de inteligência artificial limitou-se ao apoio técnico durante a elaboração do manuscrito, não substituindo a autoria intelectual, o julgamento científico ou a responsabilidade acadêmica dos autores pelo conteúdo apresentado.

## REFERÊNCIAS

- AEGRO. Software de gestão agrícola. Aegro, [s.d.]. Disponível em: <https://aegro.com.br>. Acesso em: 5 jul. 2026.
- ANKEN, T.; LATSCH, A. Detection rate and spraying accuracy of Ecorobotix ARA. In: GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK. 42. *GIL-Jahrestagung: Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2022. p. 45-50.
- APROSOJA/MS. Mapeamento das culturas agrícolas: safra 2024/2025. Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.
- ARAÚJO, S. O.; PERES, R. S.; BARATA, J.; LIDON, F.; RAMALHO, J. C. Characterising the Agriculture 4.0 landscape: emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, v. 11, n. 4, art. 667, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11040667.
- AVTAR, R.; WATANABE, T. (ed.). *Unmanned aerial vehicle: applications in agriculture and environment*. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- BAI, X.; CHEN, Q.; SONG, X.; HONG, W. Advancing agricultural machinery maintenance: deep learning-enabled motor fault diagnosis. *IEEE Access*, 2025.
- BALASUNDRAM, S. K.; SHAMSHIRI, R. R.; SRIDHARA, S.; RIZAN, N. The role of digital agriculture in mitigating climate change and ensuring food security: an overview. *Sustainability*, v. 15, n. 6, art. 5325, 2023. DOI: 10.3390/su15065325.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. *TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, São Paulo, n. 20, p. 17-36, 2019.
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.
- BISSADU, K. D.; SONKO, S.; HOSSAIN, G. Society 5.0 enabled agriculture: drivers, enabling technologies, architectures, opportunities, and challenges. *Information Processing in Agriculture*, v. 12, n. 1, p. 112-124, 2025.
- CASTILLO, V. S. Analysis of the scientific production on the implementation of artificial intelligence in precision agriculture. *LatIA*, n. 1, p. 1, 2023.
- CIRQUEIRA, L. R. Predição de danos mecânicos e viabilidade de sementes de soja armazenadas em diferentes ambientes utilizando aprendizado de máquina. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2022.
- COMUNELLO, E. Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- DENG, L.; MAO, Z.; LI, X.; HU, Z.; DUAN, F.; YAN, Y. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: a comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 146, p. 124-136, 2018. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008.
- ECOROBOTIX. *AI-powered precision agriculture technology*. 2026. Disponível em: <https://ecorobotix.com/pt-br/>. Acesso em: 6 jul. 2026.
- EMBRAPA. Projeto Semear Digital. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. Disponível em: <https://semeardigital.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 2 jul. 2026.
- ESRI. ArcGIS [software de SIG]. Redlands: Environmental Systems Research Institute, [s.d.]. Disponível em: <https://www.esri.com>. Acesso em: 1 jul. 2026.



- FAHLSTROM, P. G.; GLEASON, T. J.; SADRAEY, M. H. *Introduction to UAV systems*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2022.
- FARINHA, M. J. U. S. et al. Dinâmica espaço-temporal do uso das terras em Mato Grosso do Sul entre 1988 e 2018 e pagamentos por serviços ecossistêmicos. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 2024.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- FOUNTAS, S.; ESPEJO-GARCÍA, B.; KASIMATI, A.; GEMTOU, M.; PANOUTSOPOULOS, H.; ANASTASIOU, E. Agriculture 5.0: cutting-edge technologies, trends, and challenges. *IT Professional*, v. 26, n. 1, p. 40-47, 2024.
- FUSHIMI, M.; DE LIMA, G. N.; CAPOANE, V. Changes in land use and cover and their environmental impacts in the Cerrado of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Sustainability*, v. 16, n. 10, art. 4266, 2024. DOI: 10.3390/su16104266.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- HUSSEIN, A. H. A.; JABBAR, K. A.; MOHAMMED, A.; JASIM, L. Harvesting the future: AI and IoT in agriculture. In: *E3S Web of Conferences*. Les Ulis: EDP Sciences, v. 477, art. 00090, 2024.
- ISSA, A. A.; MAJED, S.; ABDUL AMEER, S.; AL-JAWAHRY, H. M. Farming in the digital age: smart agriculture with AI and IoT. In: *E3S Web of Conferences*. Les Ulis: EDP Sciences, v. 477, art. 00081, 2024.
- KUMAR, S. A.; ILANGO, P. The impact of wireless sensor network in the field of precision agriculture: a review. *Wireless Personal Communications*, v. 98, n. 1, p. 685-698, 2018. DOI: 10.1007/s11277-017-4890-z.
- LAVORATO, M. P. Riscos e retornos associados à utilização da agricultura de precisão em Mato Grosso do Sul: um estudo de caso. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- LEE, desculpe, esta referência não pertence à lista enviada.
- LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D. GPS satellite surveying. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.
- MAHMOOD, G. G.; SACCO, P.; CARABIN, G.; MAZZETTO, F. Farm-level operational monitoring in smart agriculture: review and classification framework. *Sustainability*, v. 18, n. 1, art. 419, 2026.
- MAPBIOMAS. Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 e 2022 (Coleção 8). 2023. Disponível em: MapBiomass – Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 e 2022 (PDF). Acesso em: 6 jul. 2026.
- MAPBIOMAS. Plataforma MapBiomass: série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil (Coleção 8). Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 6 jul. 2026.
- MENDIETA, F. M. P. Variabilidade espacial dos componentes da produção do milho e a correlação com a produtividade. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224 p.
- MORAES, L. R.; ARAÚJO NETO, L. T.; GARCIA, L. H. A.; MENDONÇA, M. A. B.; SANTOS, R. R.; NETO, O. C. Benefícios, desafios e legislações para utilização de drones na produção agrícola: uma revisão da literatura. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 3, n.

3, 2024.

NAHIYOON, S. A.; REN, Z.; WEI, P.; LI, X.; LI, X.; XU, J.; YUAN, H. Recent development trends in plant protection UAVs: a journey from conventional practices to cutting-edge technologies: a comprehensive review. *Drones*, v. 8, n. 9, art. 457, 2024. DOI: 10.3390/drones8090457.

NOBRE, F. L. D. L.; SANTOS, R. F.; HERRERA, J. L.; ARAÚJO, A. L. D.; JOHANN, J. A.; GURGACZ, F.; PRIOR, M. Use of drones in herbicide spot spraying: a systematic review. *Advances in Weed Science*, v. 41, e020230014, 2023. DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00014.

OGOBOR, E. A.; ADEWUMI, A. S.; AYANTUNJI, G. B.; OGOBOR, E. A. Global Navigation Satellite Systems: a key player in technological advancement. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, v. 7, n. 1, p. 1847-1856, 2025.

PAL, A.; DUBEY, S. K.; GOEL, S.; KALITA, P. K. Portable sensors in precision agriculture: assessing advances and challenges in soil nutrient determination. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*, v. 180, art. 117981, 2024. DOI: 10.1016/j.trac.2024.117981.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, [s.d.]. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 2 jul. 2026.

RAZAK, S. A.; YOGARAYAN, S.; SAYEED, M. S.; DERAFI, M. I. F. M. Agriculture 5.0 and explainable AI for smart agriculture: a scoping review. *Emerging Science Journal*, v. 8, n. 2, p. 744-760, 2024.

SALEEM, M. F.; RAZA, A.; SABIR, R. M.; SAFDAR, M.; FAHEEM, M.; AL ANSARI, M. S.; HUSSAIN, S. Applications of sensors in precision agriculture for a sustainable future. In: *Agriculture and Aquaculture Applications of Biosensors and Bioelectronics*. Hershey: IGI Global Scientific Publishing, 2024. p. 109-137.

ŠARAUSKIS, E.; KAZLAUSKAS, M.; NAUJOKIENĖ, V.; BRUČIENĖ, I.; STEPONAVIČIUS, D.; ROMANECKAS, K.; JASINSKAS, A. Variable rate seeding in precision agriculture: recent advances and future perspectives. *Agriculture*, v. 12, n. 2, art. 305, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12020305.

SEBIHI, A.; ALAKHRAS, M. Predictive maintenance of farming equipment using AI. In: *International Conference on Business Intelligence for Technology Innovation (ICBITI)*. Piscataway: IEEE, 2025. p. 1-7. DOI: 10.1109/ICBITI65985.2025.11027775.

SHANNON, D. K.; CLAY, D. E.; KITCHEN, N. R. (ed.). Precision agriculture basics. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2018.

SHYKHMAT, A.; VERES, Z. Agriculture vehicles predictive maintenance with telemetry, maintenance history and geospatial data. *Advances in Cyber-Physical Systems*, v. 9, n. 2, p. 134-139, 2024.

SONA, G.; PASSONI, D.; PINTO, L.; PAGLIARI, D.; MASSERONI, D.; ORTUANI, B.; FACCHI, A. UAV multispectral survey to map soil and crop for precision farming applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLI-B1, p. 1023-1029, 2016. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B1-1023-2016.

TAHA, M. F.; MAO, H.; ZHANG, Z.; ELMASRY, G.; AWAD, M. A.; ABDALLA, A.; ELSHERBINY, O. Emerging technologies for precision crop management towards Agriculture 5.0: a comprehensive overview. *Agriculture*, v. 15, n. 6, art. 582, 2025. DOI: 10.3390/agriculture15060582.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 103, p. 104-113, 2014. DOI: 10.1016/j.compag.2014.02.009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL (UFMS). Fortalecendo a agricultura familiar no estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: UFMS, 2023. Disponível em:

<https://www.ufms.br>. Acesso em: 2 jul. 2026.

VIJAYAKUMAR, S.; SARAVANAKUMAR, R.; ARULANANDAM, M.; ILAKKIYA, S. Google Earth Engine: empowering developing countries with large-scale geospatial data analysis: a comprehensive review. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 17, n. 4, art. 139, 2024. DOI: 10.1007/s12517-024-12283-5.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YANG, C. High resolution satellite imaging sensors for precision agriculture. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, v. 5, n. 4, p. 393-405, 2018. DOI: 10.15302/J-FASE-2018246.

ZHANG, C.; SONG, J.; YIN, X.; CAI, J.; LIANG, Y.; LU, J. Digital twin-based approaches for agricultural machinery damage prediction and maintenance: a review. *Journal of Computational Design and Engineering*, v. 12, n. 10, p. 87-117, 2025. DOI: 10.1093/jcde/qwaf061.

ZHANG, S.; WANG, X.; LIN, H.; QIANG, Z. A review of the application of UAV multispectral remote sensing technology in precision agriculture. *Smart Agricultural Technology*, art. 101406, 2025. DOI: 10.1016/j.atech.2025.101406.

# ÍNDICE REMISSIVO

## A

*Agricultura 4.0*, 25, 31, 44  
*Agricultura de precisão*, 8–12, 19–24, 25–30, 31–36, 44–48  
*Agricultura digital*, 37–48  
*Algoritmos*, 10, 15, 26  
*Análise espacial*, 10–11  
*Aplicação em taxa variável*, 20, 22  
*ArcGIS*, 10

## B

*Big Data*, 15, 17, 44

## C

*Calibração de máquinas*, 22  
*Computação em nuvem*, 17, 23, 44  
*Conectividade*, 20, 23, 29, 37–48

## D

*Dados geoespaciais*, 8–11  
*Decisão baseada em dados*, 13–18, 37–48  
*Drones*, 31–36

## G

*Geoprocessamento*, 8–12  
*Geoestatística*, 11  
*Geotecnologias*, 8–12  
*Gestão agrícola*, 37–48  
*Gestão de propriedades rurais*, 37–48  
*GNSS*, 8–11, 26–30, 31–36  
*Google Earth Engine (GEE)*, 10  
*GPS*, 11, 20, 27

## I

*Implementos agrícolas*, 19–24  
*Inteligência Artificial*, 17, 23, 25–30, 44–48

*Internet das Coisas (IoT), 15, 23, 25–30, 44–48*

## *M*

*Machine Learning, 15, 23, 25–30*

*Manutenção de máquinas, 22–24*

*MapBiomass, 15–18*

*Mapeamento digital, 13–18*

*Máquinas agrícolas, 19–24*

*Máquinas autônomas, 25–30*

*Monitoramento agrícola, 13–18, 31–36*

## *N*

*NDVI, 9, 15*

## *P*

*Plataformas digitais, 37–48*

*Power BI, 14*

*Pulverização agrícola, 31–36*

## *Q*

*QGIS, 10, 14*

## *R*

*Regulagem de máquinas, 22–24*

*Robótica agrícola, 23, 25–30*

*RPAS, 31–32*

*RTK, 11*

## *S*

*Sensores, 8–11, 20–36*

*Sensoriamento remoto, 8–12, 31–36*

*SIG (Sistemas de Informação Geográfica), 10–15*

*Softwares agrícolas, 37–43*

*Sustentabilidade, 8–12, 23–24, 30, 48*



*T*

*Tomada de decisão, 13–18, 37–48*

*V*

*VANT, 31–32*

*Variabilidade espacial, 9–18*

*Visão computacional, 25–30*

# AUTORES

## **Leonardo França da Silva**

Engenheiro Agrônomo, com especializações em Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia de Produção. Possui Mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Pós-Doutorado com ênfase em modelagem matemática aplicada a sistemas agropecuários. Atualmente, é Professor Adjunto da Universidade de Brasília (UnB) e pesquisador colaborador em grupos de pesquisa certificados pelo CNPq, com participação nos grupos LABOERGO (UFV), Colheita Florestal, LABROMAQ (UFGD/UFMS) e NPPJ/NEPSUI (UFMG). Também atuou como docente nos cursos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Possui sólida experiência em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) no setor agroindustrial, com atuação em projetos voltados à inovação tecnológica, sustentabilidade e gestão de sistemas produtivos, além de experiência como cientista de campo em iniciativas aplicadas ao agronegócio. Desenvolve pesquisas nas áreas de modelagem matemática aplicada aos sistemas de produção agrícola, agricultura digital, mudanças climáticas e desenvolvimento de sensores de baixo custo para monitoramento agropecuário. É autor e coautor de mais de 250 publicações científicas, incluindo artigos em periódicos nacionais e internacionais, livros, capítulos de livros, patentes e registros de software, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no setor agropecuário.

## **Cristiano Marcio Alves de Souza**

Professor Titular da Universidade Federal da Grande Dourados. Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1999) e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Orientador nos Programas de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) e Agronomia (Doutorado em Produção Vegetal) da UFGD. Áreas pesquisadas: projeto de máquinas agrícolas e pós-colheita de produtos agrícolas - atuando nos seguintes temas: agricultura digital e de precisão, colheita, semeadura, compactação do solo, tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, secagem e aeração de grãos, modelagem, simulação e otimização de sistemas agrícolas, energia na agricultura.

## **Victor Crespo de Oliveira**

Professor Assistente na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - Centro de Ciências da Natureza - Campus Lagoa do Sino. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual Paulista (Unesp/FCA) na linha de pesquisa de Engenharia Agrícola de Precisão. É mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2023), com ênfase em Construções Rurais e Ambiente, e Engenheiro Agrícola formado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA, 2020). Possui experiência e colaborações com instituições nacionais (UFV, UFLA, UFMG, UEMG, UFGD, UFG, UEG e Unesp) e internacionais (Universidad Nacional de Colombia campus Medellín e Bogotá [UNAL], Universidade de Évora, University of Firenze, Iowa State University) em projetos de pesquisa científica. Foi integrante

do grupo PET-EA-UFLA e atuou como monitor em disciplinas de graduação (Mecânica dos Solos UFLA/DEA; Construções Rurais e Ambiente UFV/DEA; Estatística e Probabilidades Unesp/FCA) e pós-graduação (Análise Multivariada Aplicada Unesp/FCA/PPGEA). Integra os grupos de pesquisa AMBIAGRO-UFV, LABERGO-UFV, AGROMET-Unesp e AI4AgriScience. É autor de uma patente depositada junto ao INPI, resultante de parceria entre UFV, UFLA e UNAL, além de softwares registrados no mesmo instituto. Atua como revisor científico em periódicos e editoras de prestígio nacional e internacional. É autor e coautor de artigos de alto impacto na área de Ciências Agrárias e autor de dois livros. Atua nas áreas de Topografia, Agrometeorologia, Construções Rurais, Ambiente Animal, Instrumentação, Análise de Dados, Prototipagem e Desenvolvimento Tecnológico, com forte integração entre a pesquisa científica e a aplicação prática no campo. Desenvolve tecnologias voltadas ao setor agropecuário, abrangendo o projeto de equipamentos, desenvolvimento de softwares e aplicação de técnicas avançadas de análise e modelagem de dados, como machine learning, análise multivariada, e processamento de sinais e imagens. Atualmente, dedica-se à implementação de soluções de baixo custo voltadas à automação, sustentabilidade e otimização de processos no meio rural.

### **Marco Antônio da Fonseca Maltez**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestre em Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), especialista em Gestão do Agronegócio pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro de Segurança do Trabalho. Atualmente é doutorando em Agronegócios na UFRGS e atua como Engenheiro Agrônomo na Biocitrus, com experiência em gestão de empreendimentos citrícolas, cadeia de suprimentos (Supply Chain), Customer Success, gestão de pessoas e projetos agroindustriais. Desenvolve pesquisas nas áreas de desenvolvimento rural, agricultura familiar, sustentabilidade, políticas públicas, agronegócio e inovação no setor agropecuário, além de possuir produção científica em periódicos e capítulos de livros.

### **Cássio Furtado Lima**

Professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Laranja da Terra. Foi professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Ananindeua, onde exerceu a chefia do Setor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação. Atuou também no IFPA Campus Óbidos, coordenando o Curso Técnico em Florestas. Anteriormente, exerceu a função de professor temporário no IFES, Campus Itapina. Doutorando em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Mestre em Ciência Florestal pela mesma instituição. Possui graduação em Engenharia Florestal. É Engenheiro de Segurança do Trabalho, possui MBA em Gestão Pública, especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho e Gestão Ambiental, licenciatura em Matemática e formação técnica em Segurança do Trabalho. Tem experiência em cargos de gestão, bem como em atividades de ensino, pesquisa, extensão e inovação. Coordena e participa de projetos nas áreas de Gestão, Mecanização Florestal, Colheita e Logística Florestal, Recursos Ambientais, Ergonomia, Segurança e Saúde do Trabalho. Desenvolve pesquisas voltadas à produtividade operacional, custos, ergonomia ocupacional, segurança do trabalho, sustentabilidade e inovação tecnológica aplicada ao setor florestal.

## **Luciano José Minette**

Bolsista Produtividade em Pesquisa PQ CNPq. Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa, no Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, atuando no programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal em nível de Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado. Possui Graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa - 1984, Mestrado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa - 1987, Doutorado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa - 1995. Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Fundação Mineira de Educação e Cultura 2002. Participa de Convênios Institucionais da UFV. Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica - DEP com a Universidade Politécnica de Lyon, Annecy, Chambéry, Orleans, Montpellier e Nancy - França. Departamento de Engenharia Florestal com Universidade de Wisconsin-Madison EUA, Universidade de Washington EUA e Colorado State University EUA. Ministrar as disciplinas de Ergonomia e Engenharia de Segurança do Trabalho para estudantes de onze cursos de Engenharia da Universidade Federal de Viçosa para a Graduação e as disciplinas de Ergonomia e Engenharia de Segurança do Trabalho para a Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV e Lato Sensu, na Engenharia de Produção e Mecânica. Coordenador do Curso Lato Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica. Tem experiência em orientação de estudantes de Graduação, Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado na UFV. Orientou e coorientou estudantes de Pós-Graduação na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Universidade Federal de Minas Gerais UFMG e Estadual do Centro Oeste do Paraná - UNICENTRO, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP. Atualmente, sou coordenador dos laboratórios de Saúde e Segurança do Trabalho - LSS, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UFV. Consultor Ad Hoc das Revistas *Árvore*, *Scientia Forestalis*, *Cerne*, *Ciência Florestal* e *Floresta*. Atuo em extensão universitária na Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência nas áreas de Recursos Florestais, Engenharia de Produção e Engenharia Florestal, atuando principalmente em Ergonomia industrial e Florestal e Engenharia de Segurança do Trabalho.

## **Marina Rolim Bilich Neumann**

Possui graduação em Agronomia pela Universidade de Brasília (2005), mestrado em Ciências Agrárias pela Universidade de Brasília (2007) e doutorado em Geociências Aplicadas pela Universidade de Brasília (2012). Atualmente é Professora Associada da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Estatística, atuando principalmente nos seguintes temas: geoprocessamento, sensoriamento remoto, previsão de safras, agrometeorologia e qualidade de água.

## **Filipe Bittencourt Machado de Souza**

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (2009); Mestrado em Fitotecnia (sub área: Fruticultura) pela Universidade Federal de Lavras (2012); Doutorado em Fitotecnia (sub área: Fruticultura) pela Universidade Federal de Lavras (2015) e período sanduíche em Horticulture pela Clemson

University-USA (2014-15); Pós-doutorado em Agronomia/Fitopatologia (Microscopia Eletrônica) pela Universidade Federal de Lavras (2016); Pós-doutorado em Desenvolvimento Sustentável pelo Instituto Tecnológico da Vale (2017). Professor e coordenador do curso de Agronomia do Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos - UNITPAC (2018). Membro da Associação dos Engenheiros Agrônomos do Estado do Tocantins (AEATO). Bolsista Produtividade do Estado do Tocantins pela Fundação de Apoio e Pesquisa do Estado do Tocantins (FAPT - EDITAL FAPT N 01/2019). Professor Adjunto I da Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB). Professor do programa de Pós-Graduação em Agronomia da FAV/UnB.

### **Eduarda Nogueira Cavalcante**

Atualmente é estágio no laboratório de fertilidade do solo da Universidade de Brasília. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agronomia.



***Geotecnologias Aplicadas aos Sistemas de Produção Agrícola: Fundamentos, Tecnologias e Aplicações*** apresenta uma visão integrada das principais tecnologias que impulsionam a agricultura digital, abordando desde os fundamentos das geotecnologias até suas aplicações em sensoriamento remoto, agricultura de precisão, máquinas autônomas, drones e plataformas de gestão. Com enfoque técnico e prático, a obra demonstra como o uso inteligente de dados contribui para aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

ISBN 978-65-84364-75-2

