



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

MIKAEL DA MATA ALMEIDA

**AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CULTIVO DE SOJA: TECNOLOGIAS E
APLICAÇÕES**

URUÇUÍ
2025

MIKAEL DA MATA ALMEIDA

AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CULTIVO DE SOJA: TECNOLOGIAS E
APLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. *Campus Uruçuí*.

Orientador: Professor Dr. Eduardo Magno Pereira da Silva.

URUÇUÍ
2025

AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CULTIVO DE SOJA: TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES

Mikael da Mata Almeida¹

Eduardo Magno Pereira da Silva ²

RESUMO

O processo de urbanização tem exigido a adoção de técnicas que aumentem a eficiência produtiva de forma sustentável. Nesse contexto, agricultura de precisão surge como uma alternativa promissora, ao possibilitar otimização do uso de insumos, monitoramento da lavoura e automação de atividades, reduzindo custos de produção. Essas tecnologias são amplamente aplicadas em culturas de grande relevância econômica para o agronegócio brasileiro. Apesar das potencialidades, essa temática ainda sofre desafios que limitam a implementação dessas ferramentas. O objetivo deste trabalho é analisar as contribuições da agricultura de precisão para o cultivo de soja, com ênfase no aumento da produtividade e na identificação das principais tecnologias e aplicações utilizadas no seu manejo, bem como investigar os principais desafios enfrentados pelos produtores. Trata-se de uma revisão de literatura de caráter exploratório e qualitativo, realizada na análise de artigos científicos em bases como Google Acadêmico, Scielo e Periódicos Capes, com ênfase em publicações dos últimos dez anos. Foram identificadas algumas das principais tecnologias utilizadas no campo, como drones para sensoriamento remoto, piloto automático, aplicação a taxa variável e estações meteorológicas. Como desafios destacam-se a deficiência na comunicação e assistência técnica, falta de conectividade no campo e elevados custos de implantação. Conclui-se que a agricultura de precisão constitui como um recurso essencial para o aumento da eficiência na produção de soja, sendo necessário ampliar investimentos em pesquisa, crédito rural, políticas públicas e infraestrutura de conectividade para superar os desafios existentes.

Palavras-chave: *Glycine max*; sustentabilidade; agronegócio; eficiência produtiva.

ABSTRACT

The urbanization process has demanded the adoption of techniques that increase production efficiency in a sustainable manner. In this context, precision agriculture emerges as a promising alternative, enabling the optimization of input use, crop monitoring, and automation of activities, reducing production costs. These technologies are widely applied in crops of great economic importance to Brazilian agribusiness, such as soybeans. Despite their potential, this field still faces challenges

¹ Graduando em Engenharia Agrônoma. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - campus Uruçuí. E-mail: mikaeldm3@gmail.com

² Docente, Dr. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, campus Uruçuí. E-mail: eduardo.silva@ifpi.edu.br

that limit the implementation of these tools. The objective of this work is to analyze the contributions of precision agriculture to soybean cultivation, with an emphasis on increasing productivity and identifying the main technologies and applications used in its management, as well as investigating the main challenges faced by producers. This is an exploratory and qualitative literature review, conducted through the analysis of scientific articles in databases such as Google Scholar, Scielo, and Capes Journals, with an emphasis on publications from the last ten years. Some of the main technologies used in the field were identified, such as drones for remote sensing, autopilot, variable rate application, and weather stations. Challenges include deficiencies in communication and technical assistance, lack of connectivity in the field, and high implementation costs. The conclusion is that precision agriculture is an essential resource for increasing efficiency in soybean production, requiring increased investment in research, rural credit, public policies, and connectivity infrastructure to overcome these challenges.

Keywords: *Glycine max*; sustainability; agribusiness; production efficiency.

Data de aprovação: 24/11/2025

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO (2017), no último século os avanços tecnológicos e o processo de urbanização promoveram transformações significativas na sociedade e nos sistemas produtivos. O crescimento populacional tem gerado dificuldades à produção agrícola, exigindo a implementação de técnicas que aliem o aumento da eficiência no campo à sustentabilidade. Nesse cenário, a adoção de técnicas modernas torna-se crucial para elevar o desempenho agrícola sem comprometer os recursos naturais.

A agricultura de precisão desponta como uma alternativa promissora, visando o uso racional de insumos e o monitoramento detalhado das lavouras, especialmente em culturas de grande importância econômica, como a soja (Basso et al., 2019; Molin; Amaral; Colaço, 2015).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), em 2024 o Brasil atingiu uma produção de aproximadamente 171,5 milhões de toneladas de soja, representando um aumento de 13,3% em relação à safra anterior. Esses números reforçam a expressiva relevância da cultura na socioeconomia do agronegócio nacional, tanto pelo seu valor comercial quanto pela significativa participação nas exportações brasileiras (Conab, 2024).

Culturas com elevados custos comerciais e demandas tecnológicas têm liderado a adoção de métodos de agricultura de precisão como estratégia para garantir

uma maior produtividade. Dentre elas, a soja destaca-se pelo uso mais frequente dessas tecnologias, na busca por aumento de rentabilidade (Artuzo, 2017). No cultivo da oleaginosa, essas tecnologias têm sido empregadas em diferentes etapas, com destaque para monitoramentos, adubação e controle de pragas e doenças (Molin et al., 2015).

Diversas são as aplicações da agricultura de precisão no cultivo de grãos, entre as quais se destacam o uso de tecnologias como GPS, sensores e *softwares* especializados na coleta e processamento de dados georreferenciados. Tais recursos têm proporcionado ganhos significativos na autonomia de maquinários agrícolas e na eficiência operacional, garantindo o aumento do rendimento e redução dos custos de produção. Em função disso, o interesse por parte dos produtores em empregar essas ferramentas tem crescido, objetivando um manejo mais preciso e melhores índices produtivos (Bernardi et al., 2014).

Apesar de suas inúmeras potencialidades, essa abordagem ainda enfrenta entraves que precisam ser superados. A análise desses obstáculos, bem como das estratégias para superá-los torna-se essencial para contribuir com o fortalecimento do uso da agricultura de precisão e, conseqüentemente, ampliar a eficiência produtiva. Estudos que buscam compreender o papel da agricultura de precisão na agricultura moderna tornam-se fundamentais.

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura voltada à análise das contribuições da agricultura de precisão para o cultivo de soja, com ênfase no aumento da produtividade e na identificação das principais tecnologias e aplicações utilizadas no seu manejo, bem como investigar os principais desafios enfrentados pelos produtores.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão de literatura de caráter exploratório e qualitativo, objetivando reunir, analisar e interpretar publicações científicas relevantes acerca da agricultura de precisão e suas aplicações no cultivo de soja, visando compreender contribuições, avanços e desafios. Foram reunidos artigos em bases como Google Acadêmico, Scielo e Periódicos Capes, com ênfase em publicações nos últimos dez anos, 2015 a 2025. No entanto, também foram utilizados artigos menos recentes que sejam significativos ao contexto histórico e a fundamentação do tema.

Foram reunidos um total de 48 artigos que embasaram o estudo, envolvendo desde a contextualização e importância da agricultura de precisão para a produção de soja, as aplicações como drones, sensoriamento remoto, aplicação à taxa variável, entre outros, até os desafios enfrentados pelos produtores, como é destacado no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais referências utilizadas na revisão bibliográfica.

Autores	Ano	Objetivo do estudo	Principais resultados
Inamasu; Bernardi	2014	Apresentar conceito e bases técnicas da agricultura de precisão no Brasil.	Definição de AP; uso de dados georreferenciados; importância de P&D.
Artuzo	2015	Avaliar eficiência da aplicação a taxa variável na soja.	Ganho médio de ~10% na produtividade em áreas com AP.
Molin; Amaral; Colaço	2015	Revisar tecnologias e mercado da AP.	Listagem de tecnologias; soja como cultura de maior adoção.
Garcia et al.	2016	Avaliar manobras de semeadura com e sem navegação.	Redução de 49% no tempo de manobra; economia operacional.
Michelon	2016	Aplicar IA para estimar produtividade da soja.	Modelos eficazes para estimativas de produtividade.
Lavorato; Braga	2017	Comparar custos entre sistema convencional e AP.	Redução de custos e melhor eficiência econômica.
Bernardes et al.	2019	Impactos econômicos do piloto automático.	Redução de até ~10% nos custos operacionais.
Souza et al.	2019	Segmentação de imagens na cultura da soja.	Identificação de falhas e zoneamento de manejo.
Fernandes; Oliveira; Santos	2020	Uso de estações meteorológicas automáticas na soja.	Melhora no planejamento e redução de riscos climáticos.
Silva; Silva-Mann	2020	Desafios e perspectivas da AP no Brasil.	Custo, capacitação e conectividade como entraves.
Sgobbi; Souza; Sentelhas	2021	Avaliar desempenho de estações meteorológicas automáticas.	Alta confiabilidade para tomada de decisão agrícola.
Oliveira; Molin	2021	Telemetria e automação agrícola.	Melhora ergonômica e operacional.
Cherubin et al.	2022	Revisar 25 anos de AP no Brasil.	Evolução consolidada; lacunas na adoção por pequenos produtores.

Costa	2023	Sensoriamento remoto por drone na soja.	Mapas de biomassa para intervenções localizadas.
Hiremath et al.	2024	Comparar pulverizadores em soja.	Drone eficiente e com menor consumo de água.
Alves et al.	2025	Economia da calagem em taxa variável.	Menor volume aplicado; risco de sub/sobredosagem no método fixo.

Fonte: elaborado pelos autores.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceito e contexto histórico da agricultura de precisão no Brasil

Segundo a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (2024), a AP pode ser definida como um conjunto de técnicas que analisam e processam dados espaciais utilizados para apoiar a tomada de decisão e gerenciamento de áreas de acordo com a variabilidade, buscando melhorar a eficiência do uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da agropecuária.

Para apoiar o planejamento agrícola, podem ser utilizadas máquinas, dispositivos, equipamentos e *softwares* capazes de analisar minuciosamente os dados obtidos no campo. A interpretação dessas informações permite uma gestão mais racional da área e dos recursos (Inamasu; Bernardi, 2014).

Em relação à otimização de insumos, é fato que a agricultura de precisão possui grande eficiência, o que resulta em uma maior lucratividade nas lavouras, reduzindo custos combinados com uma melhor produtividade. Nesse contexto, o sistema de precisão se diferencia da produção convencional na operacionalização das atividades agrícolas e nos resultados financeiros em toda a cadeia produtiva, como é demonstrado no Quadro 1 (Lavorato; Braga, 2017).

De acordo com Silva e Silva-Mann (2020), os objetivos gerais da AP estão o aumento do rendimento da atividade agrícola e a redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades agrícolas, enquanto como específicos destacam-se a redução de custos de produção, aumento da produtividade e o aumento do rigor na aplicação de insumos de produção que geram externalidades negativas, caso mal utilizados.

Ainda segundo esses autores, no Brasil, a inserção da agricultura de precisão ganhou força por volta de 1995, com a liberação dos sinais de GPS e a gradual incorporação de tecnologias da informação, robótica e eletrônica no setor de máquinas agrícolas. Contudo, a adoção dessas inovações era inicialmente limitada

pela complexidade do manuseio dos equipamentos, o que incentivou o surgimento de empresas especializadas em assistência técnica para a operacionalização desses recursos.

As instituições de pesquisa, como Embrapa e universidades públicas, tiveram papel essencial nesse processo, promovendo pesquisas, capacitações e o acesso ao conhecimento técnico, o que contribuiu significativamente para a adoção dessas práticas no campo. As áreas de cultivo de soja destacam-se entre as que mais evoluíram tecnologicamente, especialmente com a chegada da agricultura de precisão (Cherubin et al., 2022; Trentin, 2019).

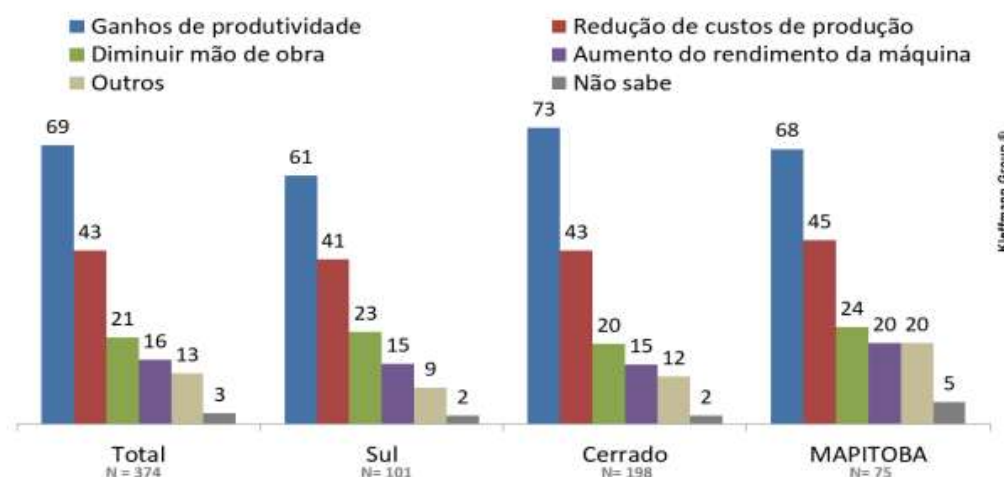
3.2 Tecnologias aplicadas ao cultivo de soja

A cultura da soja é uma das mais beneficiadas pela adoção da AP, especialmente pela ampla área cultivada no Brasil e pela viabilidade econômica do investimento tecnológico. No estudo conduzido por Molin (2017), que analisou o mercado brasileiro de agricultura de precisão, observou-se que a soja se destaca como a principal cultura associada à adoção dessas tecnologias, 99% dos produtores entrevistados que utilizavam agricultura de precisão, relataram trabalhar com a produção de soja em suas propriedades.

O autor também destaca que os principais fatores que motivam a adoção dessas tecnologias são o aumento da produtividade e redução de custos de produção (Figura 1). Esses dados evidenciam não apenas o alto nível de adoção da AP na sojicultura nacional, mas também os benefícios percebidos pelos produtores, servindo como base para decisões estratégicas voltadas à expansão e ao investimento no setor.

Figura 1 - Principais fatores que impulsionam a adoção da agricultura de precisão

Todas as indicações em %.Base: entrevistados que possuem algum equipamento de Agricultura de Precisão



Fonte: Molin, J.P (2017).

O ganho de produtividade é apontado como a principal razão para a adoção das tecnologias de agricultura de precisão pelos produtores. Artuzo et al., (2015) demonstram, ao comparar dados de propriedades conduzidas sob agricultura convencional (AC) e agricultura de precisão (AP), um incremento médio de 10,39% na produtividade das áreas que utilizaram ferramentas de AP. Esses resultados evidenciam que a adoção contribui significativamente para o aumento da eficiência produtiva da soja, proporcionando retorno econômico positivo aos produtores (Tabela 1).

Tabela 1- Avaliação da produtividade em lavouras conduzidas em agricultura de precisão (AP) e agricultura convencional (AC).

Propriedades	Manejo	Área (ha)	Produtividade (kg/ha)	% de incremento
Propriedade 1	AP	60	4.260	9,23
	AC	85	3.900	
Propriedade 2	AP	53,8	4.260	7,58
	AC	45	3.960	
Propriedade 3	AP	60	3.480	11,54
	AC	45	3.120	
Propriedade 4	AP	28	3.600	11,11
	AC	28	3.240	
Propriedade 5	AP	114,6	4.200	16,67
	AC	114,6	3.600	
Propriedade 6	AP	46,7	3.192	6,19
	AC	46,7	3.006	
Média (%)				10,39
DP*				3,69

Fonte: Adaptado de Artuzo et al., (2017).

Luvisa et al. (2024) apresentaram um estudo semelhante, ao analisar a produtividade de soja em uma propriedade do estado do Paraná. Ao comparar a produção entre a safra de 2022/2023 (AC) e 2023/2024 (AP) observaram que a transição gerou benefícios expressivos na eficiência operacional e na gestão econômica. Os autores ressaltam que essas ferramentas possibilitam uma tomada de decisão mais assertiva, otimizando o uso de insumos e reduzindo custos, e assim configurando-se como uma alternativa eficiente para enfrentar os desafios atuais na produção de alimentos.

Nesse contexto, destaca-se a importância da aplicação da agricultura de precisão na sojicultura. Diversas tecnologias vêm sendo incorporadas ao manejo da cultura, como o sensoriamento remoto com drones, aplicação de insumos em taxa variável, máquinas automatizadas, estações meteorológicas e modelos preditivos.

3.2.1 Sensoriamento remoto e drones

Os drones têm se consolidado como ferramentas essenciais na agricultura moderna, sendo amplamente utilizados para o monitoramento de culturas, pulverização de defensivos, mapeamento de solos e detecção precoce de pragas e doenças. Seu uso surge como alternativa tecnológica aos métodos convencionais, proporcionando maior eficiência operacional, precisão nas aplicações e redução dos impactos ambientais (Alcarão Junior; Nuñez, 2024).

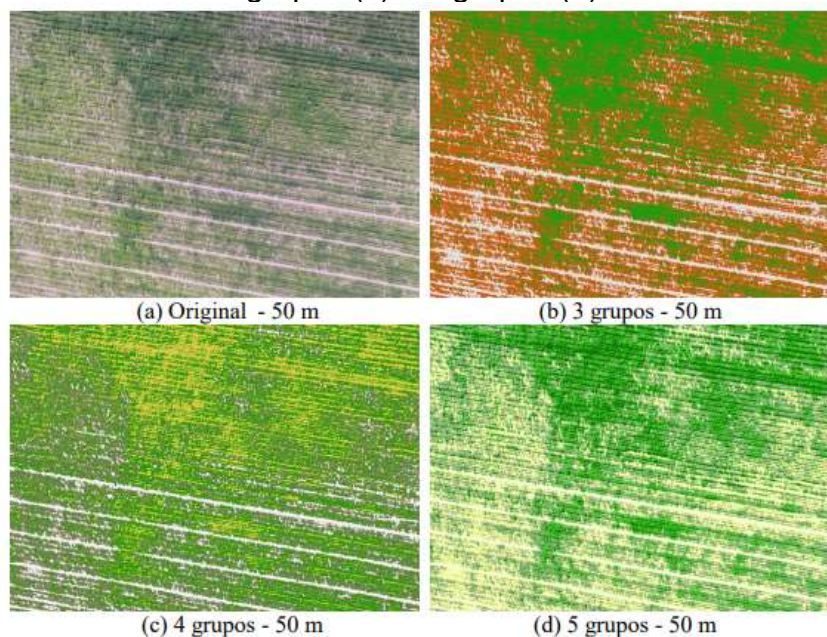
A utilização de drones equipados com câmeras multiespectrais tem se destacado por fornecerem imagens de alta resolução, possibilitando o cálculo de índices vegetativos, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), e a elaboração de mapas de manejo que orientam intervenções localizadas e precisas (Michelon, 2016).

No estudo de Costa (2023), o sensoriamento remoto com drones na cultura da soja identificou áreas de alto e baixo desempenho produtivo. Os autores elaboraram diferentes tipos de mapas a partir das imagens, como os de biomassa, indicando áreas apresentando diferentes estádios de desenvolvimento da lavoura de soja, além do mapa de *powerzone*, que indica zonas com diferentes necessidades de nutrição e manejo. A combinação dessas informações possibilitou o zoneamento específico da área agrícola, favorecendo tomadas de decisão mais assertivas e maior eficiência no manejo da cultura.

Em outro estudo semelhante, Souza et. al (2019), analisaram por meio de

imagens geradas por drone, áreas com desuniformidades no plantio e áreas com baixa emergência (Figura 2), fatores que podem comprometer o desenvolvimento inicial de soja, assim como o estande final de plantas, e consequentemente reduzindo a produtividade.

Figura 2 - Identificação de desuniformidades no plantio e áreas com baixa emergência da cultura, imagem original (a), imagens processadas em 3 grupos (b), 4 grupos (c) e 5 grupos (d).



Fonte: SOUZA, D.C et al. (2019).

Outro dos principais manejos que ocorre a utilização de drones é no monitoramento da lavoura, para a identificação e controle de pragas, doenças e plantas invasoras. Esses fatores, quando não controlados, podem causar perdas significativas na produção de soja e gerar prejuízos aos produtores (Fidelis; Al-Khoury; Rosa, 2023).

Além do monitoramento, podem ser utilizados para pulverização de defensivos agrícolas. Basseto Filho et al. (2020), em um estudo destacam que a pulverização de inseticida com drone utilizando uma dose de 10 L de calda/ha apresentou um desempenho no controle de percevejos equivalente a aplicação com trator, que utilizou volumes de calda de 36 L e 80 L/ha e costal com 200 L/ha. Em um estudo semelhante, Hiremath et al. (2024) verificaram que a aplicação por drones apresentou resultados estatisticamente equivalentes aos pulverizadores costais, porém com maior eficiência em relação ao tempo de aplicação, ao consumo de água, herbicidas e mão de obra. Foram comparados os equipamentos de aplicação por drone, barra e costal, ambos em uma área de 1 hectare. Dessa forma, o drone pulverizador

destacou-se com a melhor eficiência de trabalho.

A adoção de drones na produção agrícola tem se consolidado como uma ferramenta fundamental para impulsionar a eficiência produtiva de forma sustentável. Essas tecnologias permitem estimativas de produtividade, monitoramento das lavouras de soja e aplicação eficiente de insumos. Dessa forma, os drones atuam como aliados estratégicos da agricultura de precisão, ao gerar dados de alta resolução que otimizam o manejo da cultura da soja e contribuem para a tomada de decisões mais assertivas (Moraes et al., 2024).

3.2.2 Fertilizantes a taxa variável

De acordo com Bernardi et al. (2015), a baixa eficiência na aplicação de corretivos e nutrientes no solo são pontos que devem ser melhoradas. Nesse sentido, a agricultura de precisão destaca-se como uma alternativa útil para o entendimento da variabilidade espacial, gerando informações que possibilitam melhores intervenções no manejo agrícola, como a ATV.

A aplicação em taxa variável (ATV) é uma das práticas mais representativas da agricultura de precisão, consistindo na distribuição de insumos, como fertilizantes, corretivos e sementes em quantidades diferenciadas dentro de um mesmo talhão, de acordo com as variações de fertilidade do solo e produtividade das plantas. Essa tecnologia busca otimizar o uso de recursos, adequando as doses de insumos às necessidades específicas de cada área, o que resulta em maior eficiência agrônômica e sustentabilidade ambiental (Machado; Bassoi, 2019).

Segundo Artuzo (2015), o uso racional dos fertilizantes destaca-se como um dos principais benefícios gerados a partir da aplicação a taxa variável. De acordo com o autor, em média 82% dos entrevistados em seu estudo, relataram uma redução do uso de fertilizantes em comparação com a aplicação convencional. Além disso, todos os produtores que adotam a aplicação a taxa variável a quatro ou mais safras reduziram significativamente o uso de fertilizantes na cultura da soja. Esses resultados corroboram com os de Basso et al. (2016), que constataram por meio de experimentos de campo e modelagem agrônômica, uma redução das taxas de nitrogênio em zonas específicas, sem gerar prejuízos a produtividade.

Alves et al. (2025), por sua vez, destacam que a calagem em taxa variada permitiu a redução no volume total de calcário aplicado, quando comparada ao método convencional (taxa fixa). Nesse estudo, observou-se que cerca de 71% da

área total receberia a dosagem correta, pelo método de taxa fixa, enquanto o restante poderia sofrer com subdoses ou superdoses de calcário, o que afetaria o solo na disponibilidade de nutrientes e consequentemente na produtividade de soja. De modo semelhante, Pereira et al. (2020), destacam que a aplicação à taxa variável diminuiu a variabilidade espacial dos atributos do solo, diminuindo a heterogeneidade da área, assim como reduziu desperdícios de calcário e prejuízos econômicos e ambientais.

O princípio da ATV baseia-se na coleta e análise de dados georreferenciados obtidos por meio de amostragens de solo, sensores embarcados e mapas de produtividade. Esses dados são processados em softwares de gestão agrícola, que geram mapas de prescrição indicando as doses adequadas para cada zona de manejo. A aplicação é, então, realizada por equipamentos equipados com controladores eletrônicos e sistemas GPS, que permitem ajustar a quantidade de insumo aplicada em tempo real (Molin et al., 2015).

Para Cazale (2023), a ATV é também um impulsionador da competitividade do agronegócio, pois melhora a rentabilidade ao reduzir custos com insumos e aumentar a produtividade média. O autor destaca que a tecnologia, quando associada a diagnósticos de solo de alta resolução e a sistemas de monitoramento remoto, permite um controle mais preciso das variações dentro do talhão e favorece o manejo sustentável.

O uso criterioso da fertilização em taxa variável, aliado a tecnologias de mapeamento e análise, contribui para a uniformização da área produtiva, otimiza o manejo agrícola e conserva os recursos naturais (Fensterseifer et al, 2025).

3.2.3 Piloto automático e agricultura guiada

Os sistemas de piloto automático e agricultura guiada representam um dos avanços mais expressivos no campo da automação agrícola, integrando tecnologias de posicionamento por satélite (GNSS/GPS), sensores e controladores eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas. Esses sistemas têm como principal objetivo otimizar as operações mecanizadas, garantindo maior precisão na execução de atividades como plantio, pulverização e colheita, além de reduzir sobreposições, falhas e o consumo de insumos e combustível (Molin et al., 2015).

O piloto automático baseia-se em receptores GNSS de alta precisão, capazes de posicionar equipamentos com margens de erro inferiores a 2,5 centímetros, quando integrados a sistemas de correção como RTK (*Real Time Kinematic*). Essa

precisão é essencial para assegurar linhas de semeadura perfeitamente paralelas e trajetórias otimizadas em todas as operações agrícolas. Segundo Bernardes et al. (2019), o uso do piloto automático pode reduzir em até 10% o custo operacional de campo, devido à economia de insumos e ao melhor aproveitamento do tempo de trabalho.

Já a agricultura guiada compreende tanto o uso do piloto automático quanto sistemas de orientação assistida, nos quais o operador segue, manualmente, linhas virtuais projetadas em monitores de cabine. Essa tecnologia, embora menos complexa, também contribui para minimizar erros humanos e garantir o alinhamento adequado das passadas da máquina, aumentando a eficiência das operações (Souza; Camargo; Lopes, 2020).

A evolução dos maquinários agrícolas foi um marco essencial para o aumento da produtividade no campo, permitindo maior precisão nas operações e melhor aproveitamento de insumos. Com o avanço da agricultura de precisão, esses equipamentos passaram a incorporar sensores, sistemas de análise de dados e receptores de GPS, possibilitando a geração de mapas detalhados da lavoura e a automação de diversas atividades (Costa et al., 2015).

No cultivo da soja, os benefícios da agricultura guiada se tornam evidentes nas etapas de plantio e pulverização, em que a precisão das linhas e o controle das áreas de sobreposição influenciam diretamente o estande de plantas e a eficiência do uso de defensivos agrícolas. Conforme relatado por Cordeiro et al. (2022), a utilização de sistemas de guiamento automático resultou em maior uniformidade na distribuição das sementes e na cobertura dos talhões, refletindo em ganhos de produtividade e economia de insumos.

Segundo Rizello et al. (2024), a integração entre maquinários e agricultura de precisão torna o trabalho no campo mais eficiente e financeiramente viável, ao direcionar melhor os investimentos e otimizar os processos produtivos. Nesse sentido, a adoção do GPS revolucionou o planejamento e o manejo agrícola, permitindo o uso de ferramentas como piloto automático, facilitando a operação de máquinas e reduzindo falhas durante o cultivo (Brusadin; Alves; Cavichioli, 2023; Villarroel et al., 2023).

De acordo com Garcia et al. (2016), o uso de piloto automático promove economias no tempo e no custo operacional na semeadura de soja, tornando-se um processo mais eficiente. Os autores avaliaram o tempo de manobra durante a

semeadura com e sem uso de sistema de navegação. Afirmando assim, que as manobras no sistema de precisão foram em média, 49% mais rápidas do que as convencionais, gerando uma economia de R\$ 4,15 por hectare em áreas com comprimento de passadas maiores, enquanto nas menores a economia foi de R\$ 19,90 por hectare.

A automação também melhora as condições ergonômicas do operador, reduzindo fadiga e erros durante longas jornadas de trabalho, além de possibilitar operações noturnas ou em condições de baixa visibilidade, com segurança e precisão (Oliveira; Molin, 2021). Isso reflete diretamente em maior eficiência operacional e menor tempo ocioso das máquinas.

Portanto, a integração de maquinários agrícolas com a agricultura de precisão representa uma estratégia fundamental para aumentar a eficiência produtiva na sojicultura. Além de melhorar a qualidade das operações no campo, essas tecnologias reduzem desperdícios, diminuem custos e contribuem para a sustentabilidade do sistema produtivo.

3.2.4 Estações meteorológicas e modelos preditivos

As estações meteorológicas e os modelos preditivos desempenham papel estratégico na agricultura de precisão, pois fornecem informações essenciais sobre as condições climáticas e permitem o monitoramento contínuo de variáveis que afetam diretamente o desenvolvimento das culturas agrícolas, como temperatura, precipitação, umidade do solo, radiação solar, velocidade do vento e pressão atmosférica. Esses dados, quando coletados e integrados a sistemas digitais de gestão agrícola, permitem prever e mitigar riscos associados à variabilidade climática, otimizando o planejamento das operações e o uso racional de insumos (Machado; Bassoi, 2019).

Essas ferramentas estão equipadas com sensores digitais capazes de transmitir informações em tempo real por meio de redes sem fio e sistemas IoT (*Internet of Things*). Essas estações são frequentemente integradas a plataformas online que armazenam e analisam os dados coletados, permitindo a geração de alertas automáticos e recomendações agronômicas personalizadas (Fernandes; Oliveira; Santos, 2020).

Em propriedades que cultivam soja em larga escala, esse tipo de monitoramento tem se mostrado crucial para a tomada de decisão baseada em dados

(data-driven agriculture), um dos pilares da agricultura 4.0. Na cultura, a dependência das condições meteorológicas é particularmente significativa, uma vez que fatores como o regime de chuvas e as temperaturas médias influenciam fortemente a germinação, o florescimento e a formação de grãos. O monitoramento climático de alta resolução, possibilitado pelas estações meteorológicas automatizadas, permite identificar períodos críticos para o manejo, como o melhor momento para o plantio, a aplicação de defensivos e a colheita (Souza et al., 2021).

Os modelos preditivos, por sua vez, utilizam algoritmos estatísticos e inteligência artificial para estimar condições futuras, como a probabilidade de ocorrência de pragas, doenças e eventos climáticos extremos. Segundo Silva e Silva-Mann (2020), esses modelos são capazes de combinar informações meteorológicas, dados de sensoriamento remoto e histórico de produtividade para prever o comportamento da cultura em diferentes cenários climáticos, o que auxilia na definição de estratégias preventivas e na redução de perdas.

Um exemplo prático de aplicação é o uso de modelos fenológicos da soja, que simulam as fases de desenvolvimento da planta em função das variáveis meteorológicas e ajudam a prever o ciclo da cultura e o rendimento potencial em determinadas regiões. Segundo Cordeiro et al. (2023), o uso combinado de dados de estações meteorológicas e modelos preditivos aumentou em até 15% a eficiência do manejo da irrigação e reduziu em 10% o consumo de defensivos agrícolas em propriedades no cerrado mineiro.

Além disso, o avanço das tecnologias de aprendizado de máquina (machine learning) e big data tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas mais robustos, capazes de processar grandes volumes de informações meteorológicas e agronômicas em tempo real. Plataformas como o *AgroAPI* da Embrapa e o *Agritempo* do INMET são exemplos de sistemas nacionais que disponibilizam dados climáticos integrados e previsões de curto e médio prazo, fundamentais para o planejamento agrícola e a gestão do risco climático no Brasil (EMBRAPA, 2022; INMET, 2023).

Contudo, a utilização efetiva de estações meteorológicas e modelos preditivos ainda enfrenta desafios importantes, especialmente em regiões rurais com baixa conectividade, escassez de infraestrutura tecnológica e carência de capacitação técnica para a interpretação dos dados. Segundo Lemos et al. (2021), a ausência de redes de monitoramento localizadas pode comprometer a precisão das previsões e limitar o uso dessas informações pelos pequenos e médios produtores.

Portanto, para consolidar o uso de ferramentas meteorológicas e preditivas na agricultura de precisão, é necessário ampliar os investimentos em infraestrutura digital rural, capacitação técnica e cooperação entre instituições públicas, universidades e setor privado. O fortalecimento dessas iniciativas permitirá um manejo mais inteligente e sustentável da cultura da soja, garantindo maior previsibilidade produtiva e resiliência frente às mudanças climáticas.

3.3 Desafios da agricultura de precisão na produção agrícola

A adoção da agricultura de precisão no Brasil enfrenta diversos desafios, que variam conforme o perfil do produtor e a infraestrutura disponível no campo. Um dos principais entraves é a resistência de alguns agricultores, decorrente da falta de conhecimento sobre os benefícios reais das tecnologias e da dificuldade em reconhecer o retorno econômico do investimento (Silva; Silva-Mann, 2020; Silva et al., 2024).

Além disso, os custos elevados para aquisição de equipamentos, *softwares* e infraestrutura representam uma barreira significativa, especialmente para pequenos e médios produtores, que muitas vezes não possuem assistência técnica qualificada para operar essas ferramentas (Abreu; Silva Junior, 2025).

A ausência de capacitação adequada e de mão de obra especializada também contribui para a baixa adoção, assim como a limitação da conectividade no campo, fator essencial para a implementação de sistemas integrados e para o fluxo de informações (Nascimento; Alves, 2024; Castro et al., 2024).

As operadoras vêm buscando direcionar investimentos para viabilizar a conectividade no campo, no entanto, o retorno econômico para os provedores desses serviços, ainda são limitações. As dimensões territoriais, baixa densidade demográfica e desigualdades sociais no meio rural são alguns dos desafios enfrentados pelas empresas (Milanez et al., 2020; Bolfe et al., 2020).

Os desafios ambientais e climáticos também impactam a efetividade da agricultura de precisão. A variabilidade espacial e temporal do clima, associada às mudanças climáticas globais, exige sistemas cada vez mais dinâmicos e robustos de coleta e análise de dados meteorológicos. Sem o suporte de modelos preditivos e estações meteorológicas integradas, o potencial de adaptação das tecnologias de precisão às condições locais torna-se limitado (Souza et al., 2021).

Outro ponto crítico é a disponibilidade de dados geoespaciais atualizados e de

alta resolução. Embora o Brasil possua diversas bases de dados públicas, como as fornecidas pelo INPE e pela Embrapa, a periodicidade e a qualidade das atualizações nem sempre são suficientes para atender às demandas de precisão requeridas pelas análises modernas (Cordeiro et al., 2023).

Por fim, a sustentabilidade econômica e ambiental da agricultura de precisão ainda depende de estratégias coordenadas entre governo, instituições de pesquisa, setor privado e produtores. É necessário ampliar programas de fomento à inovação, incentivar a criação de cooperativas tecnológicas e estabelecer redes de compartilhamento de equipamentos e dados. Segundo Lima et al. (2024), modelos colaborativos entre produtores e startups agrícolas têm mostrado bons resultados em termos de redução de custos e aumento de eficiência, mas ainda são pouco difundidos em escala nacional.

Em síntese, a superação dos desafios da agricultura de precisão na produção agrícola brasileira depende de um esforço conjunto e sistêmico, que una avanços tecnológicos, políticas públicas inclusivas e ações de capacitação contínua. Somente assim será possível consolidar um modelo de agricultura de precisão democrático, eficiente e ambientalmente sustentável, capaz de atender às exigências produtivas da cultura da soja e de outras commodities agrícolas no país.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura de precisão tem se destacado como um recurso essencial para a produção de soja, trazendo os ganhos de produtividade, eficiência no uso de insumos e a redução de custos, por meio de ferramentas como mapeamento de produção, aplicação em taxa variável, drones e maquinários automatizados. Apesar disso, sua adoção por parte dos produtores ainda é limitada por fatores como desconhecimento dos retornos gerados pelos investimentos nessas tecnologias, alto custo, falta de assistência técnica, conectividade no campo e necessidade de capacitação.

Ampliar o acesso às tecnologias exige investimentos em pesquisa, crédito rural, políticas públicas e programas de formação, além de fortalecer a conectividade no campo e difundir informações aos produtores por meio de instituições públicas, cooperativas e empresas privadas.

A agricultura de precisão no cultivo da soja depende da integração entre tecnologia, capacitação e infraestrutura, de modo a transformar desafios em oportunidades para uma produção mais sustentável, competitiva e inclusiva.

REFERÊNCIAS

ABREU, L.A; DA SILVA JUNIOR, M.P. Dificuldades de acesso às ferramentas e tecnologia da agricultura de precisão para pequenos e médios produtores. **Revista Diálogo e Interação**, v. 19, n. 1, p. 121-144, 2025.

ALARCÃO JÚNIOR, J.C; NUÑEZ, D.N.C. O uso de drones na agricultura 4.0. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2024.

ALVES, R.W.P et al. Análise econômica da aplicação de calcário em taxa variável na manutenção da fertilidade do solo para o cultivo de soja. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 4, p. e14068, 2025.

ARTUZO, F.D. Análise da eficiência técnica e econômica da agricultura de precisão a taxa variável de fertilizantes na cultura da soja no RS (**Dissertação de mestrado**), 2015.

ARTUZO, F.D; FOGUESATTO, C.R; SILVA, L.X. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 13, n. 29, 2017.

BASSETTO FILHO, J. J. et al. Controle do percevejo *Euschistus heros* em soja com inseticidas químicos pulverizados com drone. **XVI Jornada Acadêmica da Embrapa Soja: Resumos expandidos**. Embrapa Soja, n. 440, p. 163, 2021.

BASSO, B. et al. Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone. **Science of the total environment**, v. 545, p. 227-235, 2016.

BASSOI, L.H et al. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, 2019.

BERNARDES, M. S.; SANTOS, R. L.; PIRES, F. R. Impactos econômicos e operacionais do uso de piloto automático em máquinas agrícolas no Cerrado brasileiro. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 4, p. 512–520, 2019.

BERNARDI, A.C.C et al. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, 2015.

BERNARDI, A.C.C; et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

BOLFE, E.L; et al. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

BRUSADIN, I.E; ALVES, M.R; CAVICHIOLI, F.A. O uso da agricultura 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 20, n. 1, p. 518-529, 2023.

CASTRO, A.C.O; GONÇALVES, M.D; CASTRO, J.A.C. Agricultura de precisão e digital: adoção de tecnologias e percepção dos principais stakeholders no Brasil. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 12, n. 2, p. 1-11, 2024.

CAZALE, A.T; CAZALE, R.C.T. Agricultura de precisão e a aplicação por taxa variável: impulsionadores da competitividade e desenvolvimento do agronegócio. **Ciências Agrárias: diálogos em pesquisa, tecnologia e transformação**, v. 4, cap. 16, p. 380-406, 2023.

CHERUBIN, M.R et al. Agricultura de precisão no Brasil: a trajetória de 25 anos de pesquisa científica. **Agricultura**, v. 12, n. 11, p. 1882, 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/2024 – 9º levantamento. Brasília, DF, 2025. Disponível em: [Safra de Grãos — Companhia Nacional de Abastecimento](#). Acesso em: 24 out. 2025.

CORDEIRO, L. P. et al. Modelos preditivos e estações meteorológicas na otimização do manejo da soja em regiões de Cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 31, n. 2, p. 145–162, 2023.

CORDEIRO, L. P.; FERREIRA, W. A.; RIBEIRO, L. D. Avaliação da eficiência operacional do uso de piloto automático no plantio e pulverização da soja. **Revista Brasileira de Agricultura de Precisão**, v. 8, n. 2, p. 44–59, 2022.

COSTA, F.T et al. Uma visão geral da aplicação de sensores em máquinas agrícolas. **Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 2015.

COSTA, T.M. Uso do sensoriamento remoto como suporte à identificação de áreas de alto e baixo desempenho na cultura da soja: um estudo de caso na região de Jales-SP, 2023.

EMBRAPA. Plataforma AgroAPI: integração de dados climáticos e agrícolas para o agronegócio brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informática Agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroapi>.

FENSTERSEIFER, S.B; BARTH, P.H.B; MORAES PADILHA, Izadora de. Aplicação de taxa variável para adubação de potássio no município de Sorriso-MT. **Journal of Education Science and Health**, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2025.

FERNANDES, J. M.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, D. P. Estações meteorológicas automáticas e agricultura digital: aplicações no monitoramento da cultura da soja. **Revista Tecnologia & Inovação no Agronegócio**, v. 4, n. 1, p. 23–38, 2020.

FIDELES, B.O; AL-KHOURY, S.C.S; LIMA ROSA, Felipe de. O uso de drones como tecnologia aplicável na agricultura de precisão. **Ciências Agrárias**, v. 122, 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. The future of food and agriculture: trends and challenges. Rome: **FAO**, 2017.

GARCIA, L.C. et al. Manobras de semeadura com sistema de navegação. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 361-366, 2016.

HIREMATH, Chaitanya; KHATRI, Narendra; JAGTAP, Megha P. Comparative studies of knapsack, boom, and drone sprayers for weed management in soybean (*Glycine max* L.). **Environmental Research**, v. 240, p. 117480, 2024.

INAMASU, R.Y. Agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C; NAIME, J.M; RESENDE, Á.V de; BASSOI, L.H; INAMASU, R.Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 21-33.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Sistema Agritempo: monitoramento e previsão climática para o agronegócio brasileiro**. Brasília, DF: INMET, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet>.

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE – ISPA. Definition of precision agriculture. 2024. Disponível em: <https://www.ispag.org/resources/definition>. Acesso em: 16 jul. 2025.

LAVORATO, M.P; BRAGA, M.J. Custos de produção da soja no sistema convencional e no de precisão em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 22-30, 2017.

LEMO, P. R.; NASCIMENTO, L. H.; MOURA, C. F. Desafios da conectividade rural e o uso de dados meteorológicos na agricultura de precisão. **Revista Engenharia Rural**, v. 33, n. 4, p. 201–216, 2021.

LIMA, A. D. et al. Cooperativas digitais e startups na agricultura de precisão: modelos colaborativos de inovação. **Revista Brasileira de Gestão Rural**, v. 15, n. 1, p. 77–95, 2024.

LUVISA, F.S; MADUREIRA, Edson; HERINGER, Eudiman. Agricultura de precisão no plantio, análise de produtividade da soja em uma propriedade no município de Braganey/PR. **Anais do Congresso Acadêmico Científico e Tecnológico**. Cascavel: FAG, 2024. p. 1-10.

MACHADO, P. L. O. de A.; BASSOI, L. H. **Agricultura de precisão para o manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas: estado da arte e perspectivas futuras no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019.

MICHELON, E. **Aplicação de técnicas de inteligência artificial na agricultura de precisão para estimar a produtividade da soja**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

MILANEZ, A.Y et al. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no Brasil. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, v. 26, n. 52, p. 7-43, set. 2020.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. **Boletim Técnico**, v. 3, p. 7, 2017.

MOLIN, J.P; AMARAL, L.R do; COLAÇO, André. *Agricultura de precisão*. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2015.

MORAES, L.R et al. 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.

NASCIMENTO, M.S do; ALVES, Y.G.C. Problemas enfrentados pela agricultura de precisão, 2024.

OLIVEIRA, M. C.; MOLIN, J. P. Telemetria e automação na agricultura moderna: impactos ergonômicos e produtivos do uso de piloto automático. **Engenharia Rural**, v. 32, n. 1, p. 88–102, 2021.

PEREIRA, J. H.G; et al. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e recomendação de calagem em taxa fixa e variável. In: ALFARO, A.T; TROJAN, D.G (org.). **Descobertas das Ciências Agrárias e Ambientais — Vol. 2**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2017. p. 274–287. ISBN 978-85-93243-35-6. DOI 10.22533/at.ed.3562508

RIZELLO, L.É et al. Tecnologia da agricultura de precisão: aplicações e benefícios do uso de máquinas agrícolas. **Revista Novos Desafios**, v. 4, n. 2, p. 216-222, 2024.

SILVA, C. G. da; GUIMARÃES, C. H.; COSTA, P. C. Agricultura de precisão e a conectividade no campo: uma revisão bibliográfica narrativa dos desafios de alcance e repasse de dados em tempo real. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 12, e12893, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.12-267.

SILVA, W.V.R da; SILVA-MANN, Renata. Agricultura de precisão no Brasil: conjuntura atual, desafios e perspectivas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e1979119603, 2020.

SOUZA, D.C. et al. Auxílio de tomada de decisão no manejo e planejamento do plantio de soja com o processo de segmentação de imagens. **Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação**, v. 1, n. 11, 2019.

SOUZA, E. R.; CAMARGO, R. F.; LOPES, C. A. Guiamento agrícola e precisão nas operações mecanizadas: avanços e limitações no contexto brasileiro. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 3, p. 33–48, 2020.

SOUZA, T. M.; REZENDE, L. C.; LOPES, C. R. O papel das estações meteorológicas na gestão climática da agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 2, p. 87–104, 2021.

TRENTIN, C. Uso de ferramentas de agricultura de precisão nas culturas da soja e do trigo (**Dissertação de mestrado**), 2019.