



Artificial Intelligence as a Driver of Innovation in Rondônia's Agriculture

A Inteligência Artificial como Vetor de Inovação na Agricultura de Rondônia

Leonardo Lopes Almeida¹; Leslen Laianny Lima Soares¹; Silvana Fraga da Silva^{1*}

Abstract: Rondônia's Agriculture faces challenges in adopting precision technologies due to edaphoclimatic heterogeneity, land fragmentation, and limitations in digital infrastructure, as well as a scarcity of studies that quantify the impacts of artificial intelligence (AI) in the Amazonian context. This study presents a literature review, conducted according to the PRISMA protocol, focusing on the applications and impacts of AI mediated by drones, smart sensors, and predictive analysis systems in agriculture in Rondônia. A total of 31 national and international publications (2010–2025) from the Scopus, Web of Science, SciELO, and Google Scholar databases were analyzed using the PICO strategy, covering variables such as productivity, environmental sustainability, and economic feasibility. It was observed that, although few empirical studies have been carried out directly in Rondônia, evidence from other regions and tropical contexts indicates potential gains of up to 10 bags per hectare in grain production and reductions of up to 90% in pesticide use with AI-based solutions. These results, although inferential, suggest high potential for local application, especially in crops such as coffee, cocoa, and soybeans. In addition to promoting production efficiency, AI contributes to low-carbon agricultural practices and the mitigation of environmental impacts. In economic terms, analyses indicate a return on investment within up to three harvests, depending on production scale, while small and medium-sized producers remain dependent on cooperatives and credit policies to enable access. It is concluded that AI is promising for agriculture in Rondônia, but its full adoption requires public policies, digital inclusion and the strengthening of regional research.

Key words: Agribusiness. Artificial intelligence. Sustainability. Productivity.

Resumo: A agricultura de Rondônia enfrenta desafios na adoção de tecnologias de precisão devido à heterogeneidade edafoclimática, à fragmentação fundiária e às limitações de infraestrutura digital, além da escassez de estudos que quantifiquem os impactos da inteligência artificial (IA) em contexto amazônico. Este estudo apresenta uma revisão da literatura, conduzida segundo o protocolo PRISMA, com foco nas aplicações e impactos da IA mediada por drones, sensores inteligentes e sistemas de análise preditiva na agricultura rondoniense. Foram analisadas 31 publicações nacionais e internacionais (2010–2025) das bases Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, a partir da estratégia PICO, abrangendo variáveis como produtividade, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. Observou-se que, embora poucos estudos empíricos tenham sido realizados diretamente em Rondônia, evidências de outras regiões e contextos tropicais indicam ganhos potenciais de até 10 sacas por hectare em grãos e reduções de até 90% no uso de pesticidas com soluções baseadas em IA. Esses resultados, ainda que inferenciais, sugerem elevado potencial de aplicação local, especialmente em culturas como café, cacau e soja. Além de promover eficiência produtiva, a IA contribui para práticas agrícolas de baixo carbono e mitigação de impactos ambientais. No campo econômico, as análises indicam retorno dos investimentos em até três safras, dependendo da escala produtiva, enquanto pequenos e médios produtores seguem dependentes de cooperativas e políticas de crédito para viabilizar o acesso. Conclui-se que a IA é promissora para a agricultura rondoniense, mas sua adoção plena exige políticas públicas, inclusão digital e fortalecimento da pesquisa regional.

Palavras-chave: Agronegócio. Inteligência artificial. Sustentabilidade. Produtividade.

*Corresponding author

¹Centro Universitário Aparício Carvalho (Fimca), Curso de Agronomia, Rua Araras, nº 241 – Bairro Jardim Eldorado, Porto Velho – RO, Brasil. E-mails: leonardo.pvh.30@gmail.com; laiannyleslen@gmail.com; silvana.fraga2021@gmail.com

INTRODUCTION

Agriculture faces a growing challenge related to input waste, low efficiency in productive management, and the difficulty of making decisions based on accurate data, especially in regions with high environmental variability. In this context, the diffusion of artificial intelligence (AI) - with an emphasis on drones and smart sensors - has emerged as one of the most significant technological transformations in the contemporary agricultural landscape, replacing empirical decisions with data-driven actions (AKKEMet *et al.*, 2023; JAVAID *et al.*, 2022). However, in the state of Rondônia, this transformation still encounters substantial knowledge gaps, mainly due to the lack of studies quantifying the impacts of AI by crop, environment, and soil type, which hinders a systematic assessment of its benefits and limitations within the Amazonian context.

The traditional production model based on extensive practices and intensive use of inputs, has been gradually replaced by data-oriented systems, capable of improving efficiency, reducing waste and promoting sustainability (HUO *et al.*, 2024). Estimates from the Brazilian Confederation of Agriculture and Livestock (CNA) indicate that investments in agricultural technologies are expected to grow in the upcoming year, with a significant share allocated to data collection and analysis, platform integration, and the application of AI-based solutions associated with sensor and robotic platforms (SOUZA; ADANIYA, 2025).

Recent experiences demonstrate significant results from the use of AI in agricultural processes. A study by SAFAEINEJAD *et al.* (2025) showed that the use of drones in agriculture significantly reduced pesticide use and increased productivity by approximately 10 sacks per hectare in crops such as wheat, demonstrating the potential of the technology to make agricultural production more efficient and sustainable. Similarly, selective spraying technologies, such as John Deere's "See & Spray" system, use cameras and machine learning to identify and treat weeds individually (NORSWORTHY, HUFFMAN; DARR, 2025).

INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta um desafio crescente relacionado ao desperdício de insumos, à baixa eficiência no manejo produtivo e à dificuldade de tomada de decisão baseada em dados precisos, especialmente em regiões com alta variabilidade ambiental. Nesse contexto, a difusão da inteligência artificial (IA) - com ênfase em drones e sensores inteligentes - tem configurado uma das transformações tecnológicas mais expressivas do cenário agrícola contemporâneo, ao substituir decisões empíricas por ações guiadas por dados (AKKEMet *et al.*, 2023; JAVAID *et al.*, 2022). Entretanto, no estado de Rondônia, essa transformação ainda enfrenta lacunas significativas de conhecimento, sobretudo pela ausência de estudos que quantifiquem os impactos da IA segundo cultura, ambiente e tipo de solo, o que dificulta a avaliação sistemática dos seus benefícios e limitações no contexto amazônico.

O modelo produtivo tradicional, baseado em práticas extensivas e uso intensivo de insumos, vem sendo gradualmente substituído por sistemas orientados por dados capazes de ampliar a eficiência, reduzir desperdícios e favorecer a sustentabilidade (HUO *et al.*, 2024). Estimativas da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) indicam que os investimentos em tecnologia para o campo deverão crescer no próximo ano, sendo parte significativa destinada à coleta e análise de dados, integração de plataformas e aplicação de soluções baseadas em IA associadas a plataformas sensoriais e robóticas (SOUZA; ADANIYA, 2025).

Experiências recentes evidenciam resultados expressivos no uso de IA em processos agrícolas. Um estudo de SAFAEINEJAD *et al.* (2025) mostrou que o uso de drones na agricultura reduziu significativamente o uso de pesticidas e aumentou a produtividade em cerca de 10 sacas por hectare em culturas como trigo, demonstrando o potencial da tecnologia para tornar a produção agrícola mais eficiente e sustentável. Da mesma forma, tecnologias de pulverização seletiva, como o sistema "See & Spray" da John Deere, utilizam câmeras e aprendizado de máquina para identificar e tratar plantas daninhas individualmente (NORSWORTHY; HUFFMAN; DARR, 2025).

However, in the Amazonian context, particularly in States such as Rondônia, the adoption of drones and AI-mediated smart sensors presents unique challenges (OURO-SALIM; FANHO, 2025). Factors such as edaphoclimatic heterogeneity, variation in soil types, land fragmentation, differences in production scale, and unequal access to technological infrastructure, influence the real impacts of these innovations (HOLZINGER *et al.*, 2022). To date, few studies have focused on systematically measuring the benefits and limitations of AI applications in rural areas in Rondônia, especially those that distinguish results by crop, environment, and soil class, demonstrating a scientific and technical knowledge gap regarding local realities (OURO-SALIM; FANHO, 2025).

Accordingly, this research adopts the agricultural context of Rondônia as its analytical framework, characterized by the predominance of grain, coffee, and beef cattle production on Red Latosols and Argisols under a humid tropical climate, with a rainy season from October to April and a dry season from May to September. This delimitation seeks to align the regional scope of the review with the environmental and productive specificities of the State, enabling a more contextualized analysis of the impacts of artificial intelligence on agriculture in Rondônia.

Given this scenario, the present study aims to synthesize and critically assess the impacts of artificial intelligence on agriculture in Rondônia, with an emphasis on productivity, environmental sustainability, and the reduction of operational costs. Through the analysis of regional data, review of national and international experiences, and evaluation of practices in grain farms and typical local crops, the study seeks to contribute to the understanding of AI applicability within the territory of Rondônia. It positions the research within the field of technological innovation applied to agriculture and articulates concepts of sustainability, productive efficiency, and digital transformation in the countryside, with the objective of offering technical support to guide producers, public institutions, and rural extension agents in formulating strategies for incorporating AI into Rondônia's productive systems.

Entretanto, no contexto amazônico, particularmente em estados como Rondônia, a incorporação de drones e sensores inteligentes mediada por IA assume contornos desafiadores (OURO-SALIM; FANHO, 2025). Elementos como heterogeneidade edafoclimática, variação dos tipos de solo, fragmentação fundiária, diferenças de escala produtiva e desigualdades no acesso a infraestrutura tecnológica condicionam os impactos reais dessas inovações (HOLZINGER *et al.*, 2022). Até o momento, poucos estudos têm se dedicado a mensurar, de forma sistemática, os benefícios e limitações da aplicação da IA nas propriedades rurais rondonienses, especialmente aqueles que discriminam resultados por cultura, ambiente e classe de solo, o que evidencia uma lacuna de conhecimento científico e técnico sobre a realidade local (OURO-SALIM; FANHO, 2025).

Nesse sentido, a presente pesquisa adota, como referência analítica, o contexto agropecuário de Rondônia, caracterizado pela predominância de cultivos de grãos, café e pecuária de corte, desenvolvidos sobre Latossolos Vermelhos e Argissolos sob regime climático tropical úmido, com um período chuvoso de outubro a abril e um período seco de maio a setembro. Essa delimitação busca alinhar o escopo regional da revisão às especificidades ambientais e produtivas do estado, permitindo uma análise mais contextualizada dos impactos da inteligência artificial na agricultura rondoniense.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe-se a sintetizar e avaliar criticamente os impactos da inteligência artificial na agricultura em Rondônia, com ênfase na produtividade, sustentabilidade ambiental e redução de custos operacionais. Busca-se, por meio da análise de dados regionais, revisão de experiências nacionais e internacionais e avaliação das práticas em propriedades de grãos e culturas típicas locais, contribuir para a compreensão da aplicabilidade da IA no território rondoniense, inserindo a pesquisa no campo da inovação tecnológica aplicada à agricultura e articulando conceitos de sustentabilidade, eficiência produtiva e transformação digital no campo, de modo a oferecer subsídios técnicos que orientem produtores, instituições públicas e agentes de extensão rural na formulação de estratégias para a incorporação da IA nos sistemas produtivos de Rondônia.

MATERIAL AND METHODS

This study consists of a systematic literature review conducted according to the criteria established by the international PRISMA protocol (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), recognized for ensuring transparency, reproducibility, and methodological rigor in scientific synthesis research. The choice of this approach is justified by the need to critically and rigorously map the main findings related to the application of artificial intelligence (AI) in agriculture in Rondônia, considering impacts on productivity, environmental sustainability, and operational costs. The review followed PRISMA 2020 guidelines, with the checklist completed and the selection flowchart documented.

To guide the investigation, an adaptation of the PICO strategy - widely used in systematic reviews - was applied: the target population (P) corresponded to agricultural practices in Rondônia; the intervention (I) was defined as the application of artificial intelligence technologies (remote sensing, data analysis, automation, and forecasting systems); the comparison (C) involved different agricultural production contexts (small, medium, and large farms, distinct cropping systems, and varying levels of technological adoption); and the outcomes (O) referred to impacts on productivity, input reduction, environmental sustainability, and economic feasibility.

Based on this framework, the following guiding question was formulated: *“What are the main impacts of artificial intelligence applications on agriculture in Rondônia in terms of productivity, environmental sustainability, and operational costs?”*

The search for publications was conducted between January and September 2025 across the following scientific databases: Scopus, Web of Science, SciELO, and, as a complementary source, Google Scholar. DeCS/MeSH descriptors and free terms were combined with Boolean operators as follows: (“artificial intelligence” OR “inteligência artificial”) AND (“agriculture” OR “agricultura”) AND (“Rondônia” OR “Amazônia” OR “Northern Brazil”) AND (“productivity” OR “produtividade”) AND (“sustainability” OR “sustentabilidade”) AND (“production costs” OR “custos agrícolas”).

MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, conduzida segundo os critérios estabelecidos pelo protocolo internacional PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), reconhecido por garantir transparência, reprodutibilidade e rigor metodológico em pesquisas de síntese científica. A escolha por esta abordagem justifica-se pela necessidade de mapear, de forma crítica e criteriosa, os principais achados relacionados à aplicação da inteligência artificial (IA) na agricultura de Rondônia, considerando impactos sobre produtividade, sustentabilidade ambiental e custos operacionais. A condução seguiu as recomendações do PRISMA 2020, com checklist preenchido e fluxograma de seleção.

Para guiar a investigação, utilizou-se uma adaptação da estratégia PICO, amplamente utilizada em revisões sistemáticas: a população-alvo (P) correspondeu às práticas agrícolas desenvolvidas em Rondônia; a intervenção (I) foi definida como a aplicação de tecnologias de inteligência artificial (sensoriamento remoto, análise de dados, automação e sistemas de previsão); a comparação (C) envolveu diferentes contextos de produção agrícola (pequenas, médias e grandes propriedades, distintos sistemas de cultivo e diferentes níveis de adoção tecnológica); e os desfechos (O) observados referiram-se aos impactos sobre produtividade, redução de insumos, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Com base nessa estrutura, formulou-se a seguinte pergunta norteadora: *“Quais são os principais impactos da aplicação da inteligência artificial na agricultura de Rondônia em termos de produtividade, sustentabilidade ambiental e custos operacionais?”*

A busca por publicações foi realizada entre janeiro e setembro de 2025, abrangendo as seguintes bases de dados científicas: Scopus, Web of Science, SciELO e, de forma complementar, o Google Scholar. Foram combinados descritores DeCS/MeSH e termos livres com operadores booleanos, conforme o seguinte modelo: (“inteligência artificial” OR “artificial intelligence”) AND (“agricultura” OR “agriculture”) AND (“Rondônia” OR “Amazônia” OR “Northern Brazil”) AND (“produtividade” OR “productivity”) AND (“sustentabilidade” OR “sustainability”) AND (“custos agrícolas” OR “production costs”).

The completion of the search fields followed the “Title, Abstract, and Keywords” pattern in the Scopus and Web of Science databases, while in SciELO the “subject” field was used, and in Google Scholar the search was performed in “any part of the article.” Language filters (Portuguese and English), a time range (2010–2025), and document types (scientific articles and reviews) were applied.

The eligibility criteria included peer-reviewed articles published between 2010 and 2025, in Portuguese and English, that addressed the application of artificial intelligence (AI) in agriculture, focusing on productivity, sustainability, or operational costs, including studies conducted in Rondônia or in comparable contexts. The inclusion of external studies was allowed when they presented environmental, productive, or technological conditions similar to those of the Amazon biome (humid tropical climate, seasonal rainfall patterns, and highly weathered soils), correspondence of agricultural crops (grains, coffee, cocoa, and pastures), compatibility of the technologies employed (drones, sensors, computer vision, and machine learning), and equivalence in production scale in small and medium-sized farms. These criteria ensured that the relevance and regional coherence of the systematic review. A total of 27 articles were included in the review, while duplicate articles, publications without full-text access, works irrelevant to the topic, and strictly technological studies with no interface with the agricultural sector were excluded.

The selection of studies followed four sequential steps: (i) reading of titles; (ii) reading of abstracts; (iii) full reading of potentially eligible texts; and (iv) final qualitative evaluation. Two reviewers worked independently at all stages, and the agreement between them was assessed using Cohen’s Kappa coefficient, which showed a value above 0.80, indicating a high level of consistency in decision-making. Persistent disagreements were resolved through consensus discussion between the reviewers, ensuring impartiality and robustness in the selection process.

From the selected articles, the following information were extracted: authors, year of publication, study region, AI technologies evaluated, type of crop or agricultural system, observed impacts on productivity, sustainability, and costs, as well as the recommendations provided by the authors. The data were organized into summary tables and submitted to qualitative critical analysis in order to identify trends, knowledge gaps, and convergences among the different studies.

O preenchimento dos campos de busca seguiu o padrão “título, resumo e palavras-chave” (Title, Abstract, Keywords) nas bases Scopus e Web of Science, enquanto na SciELO utilizou-se o campo “assunto” e, no Google Scholar, a busca foi feita em “qualquer parte do artigo”. Foram aplicados filtros de idioma (português e inglês), recorte temporal (2010–2025) e tipos de documento (artigos científicos e revisões).

Os critérios de elegibilidade incluíram artigos revisados por pares, publicados entre 2010 e 2025, em português e inglês, que abordassem a aplicação da inteligência artificial (IA) na agricultura, com foco em produtividade, sustentabilidade ou custos operacionais, contemplando estudos realizados em Rondônia ou em contextos comparáveis. A inclusão de trabalhos externos foi admitida quando apresentavam condições ambientais, produtivas ou tecnológicas análogas, considerando a similaridade com o bioma amazônico (clima tropical úmido, regime sazonal de chuvas e solos intemperizados), a correspondência de culturas agrícolas (grãos, café, cacau e pastagens), a compatibilidade das tecnologias empregadas (drones, sensores, visão computacional e aprendizado de máquina) e a equivalência de escala produtiva em pequenas e médias propriedades. Esses critérios garantiram a pertinência e a coerência regional da revisão sistemática. Foram incluídos 27 artigos nessa revisão e excluídos artigos duplicados, publicações sem acesso ao texto completo, trabalhos irrelevantes ao tema e estudos estritamente tecnológicos sem interface com o setor agropecuário.

A seleção dos estudos seguiu quatro etapas sequenciais: (i) leitura dos títulos; (ii) leitura dos resumos; (iii) leitura integral dos textos potencialmente elegíveis; e (iv) avaliação qualitativa final. Dois revisores atuaram de forma independente em todas as fases, e a concordância entre eles foi avaliada pelo coeficiente Kappa de Cohen, que apresentou valor superior a 0,80, indicando alto nível de consistência nas decisões. As discordâncias persistentes foram resolvidas por meio de discussão consensual entre os revisores, garantindo a imparcialidade e a robustez do processo de seleção.

Dos artigos selecionados, foram extraídas as seguintes informações: autores, ano de publicação, região estudada, tecnologias de IA avaliadas, tipo de cultivo ou sistema agrícola, impactos observados sobre produtividade, sustentabilidade e custos, além das recomendações apresentadas pelos autores. Os dados foram organizados em tabelas de síntese e submetidos à análise crítica qualitativa, de modo a identificar tendências, lacunas de conhecimento e convergências entre os diferentes estudos.

Data organization and analysis were performed using Microsoft Excel 365 (for tabulation and synthesis of the extracted information). Finally, a PRISMA flowchart was created, graphically representing the stages of identification, screening, eligibility, and inclusion of the studies that make up this systematic review.

A organização e análise dos dados foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Excel 365 (para tabulação e síntese das informações extraídas). Ao final, foi elaborado um fluxograma PRISMA, representando graficamente as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos que compõem esta revisão sistemática:

IDENTIFICATION	References identified in: Database: PubMed (n = 65) Scopus (n = 45) Web of Science (n = 35), SciELO (n = 17), Google Scholar (n = 28) Total (n = 190)	Records removed before the selection process: Duplicates (n = 42) Records deemed ineligible by automated tools (n = 5) Removed for other reasons (n = 3) Total (n = 50)
	References evaluated by title and abstract: (n = 140)	Excluded references (n = 86)
SCREENING	References included for full text assessment: (n = 54)	References whose full text was not identified (n = 7)
	References assessed in full text: (n = 47)	References assessed in full text (n = 31) Reasons: they did not address the topic (n = 7), use of AI in a context not related to agriculture/livestock (n = 6), lack of data (n = 3).
INCLUDED	Studies included in the review (n = 31)	

Figure 1 - Flow of Identification, Screening, Eligibility, and Inclusion of Studies in the Systematic Review based on the PRISMA 2020 Protocol.

Figura 1 - Fluxo de Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão de Estudos na Revisão Sistemática com base no Protocolo PRISMA 2020.

RESULTS AND DISCUSSION

Agricultural Productivity

The literature shows that the application of artificial intelligence (AI) in agricultural processes is directly associated with significant gains in production efficiency. National and international studies indicate that the use of machine learning algorithms and remote sensing-based systems can increase the average efficiency of input use by up to 18%, reduce operational losses by approximately 12%, and boost productivity by 8–15%, depending on the crop and edaphoclimatic conditions (GUPTA; SUDHIR, 2025; WANG *et al.*, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtividade agrícola

A literatura evidencia que a aplicação da inteligência artificial (IA) em processos agrícolas está diretamente associada a ganhos significativos de eficiência produtiva. Estudos nacionais e internacionais apontam que o uso de algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas baseados em sensoriamento remoto pode elevar a eficiência média do uso de insumos em até 18%, reduzir perdas operacionais em cerca de 12% e aumentar a produtividade entre 8% e 15%, dependendo da cultura e das condições edafoclimáticas (GUPTA; SUDHIR, 2025; WANG *et al.*, 2024).

In crops such as wheat, increases of up to 10 bags per hectare have been observed when AI is applied to the analysis of climatic variables, soil mapping, and integrated pest management (SAFAEINEJAD *et al.*, 2025), demonstrating the statistical consistency of gains observed across different production contexts. These increases result from greater decision-making precision, which reduces management errors and optimizes input use.

Selective spraying exemplifies this practical application. Technologies such as the “See & Spray” system developed by John Deere have already demonstrated a significant reduction of 43-59% in the volume of herbicides used, reaching up to 90% in areas with low infestation, without compromising crop productivity, by using cameras and machine learning to identify and treat individual weeds, thereby preserving productivity and minimizing environmental impacts (NORSWORTHY *et al.*, 2025). This technology has proven especially effective in controlling weeds over large areas, where manual or traditional management would require high costs and more time.

Beyond grains, permanent crops such as coffee and cocoa, cultivated in Rondônia, have also benefited from AI in stages such as precision irrigation, early pest diagnosis, and harvest forecasting (FERREIRA *et al.*, 2025). Sensor- and predictive algorithm-based process automation in post-harvest environments supports production logistics planning, reduces operational losses, extends product shelf life, and strengthens market competitiveness (DAS *et al.*, 2025). These results suggest that the incorporation of AI in Rondônia's agriculture has the potential to increase not only productivity but also the final quality of agricultural products.

However, the full implementation of these technologies depends on calibrating AI and Internet of Things (IoT) tools to the Amazonian edaphoclimatic conditions (FERREIRA *et al.*, 2025). Although, developed in an Amazonian context, the study addresses IoT applications in aquaponics and fish farming with controlled variables, which differs significantly from Rondônia's agriculture, characterized by heterogeneous soils and strong climatic seasonality. These differences limit the direct transfer of results, requiring regional calibrations that consider local soil, climate and management data to ensure accuracy and efficiency in open-field applications.

Em culturas como o trigo, registram-se incrementos de até 10 sacas por hectare quando a IA é aplicada à análise de variáveis climáticas, mapeamento de solo e manejo integrado de pragas (SAFAEINEJAD *et al.*, 2025), demonstrando a consistência estatística dos ganhos observados em diferentes contextos produtivos. Tais incrementos decorrem da maior precisão na tomada de decisão, que reduz falhas no manejo e otimiza o uso de insumos.

A pulverização seletiva exemplifica essa aplicação prática. Tecnologias como o sistema “See & Spray”, desenvolvido pela John Deere, já demonstraram uma redução expressiva de 43-59% no volume de herbicidas utilizados, podendo alcançar até 90% em áreas de baixa infestação, sem comprometer a produtividade das culturas, por meio da utilização de câmeras e aprendizado de máquina para a identificação e tratamento de plantas daninhas individualmente, preservando a produtividade e minimizando os impactos ambientais (NORSWORTHY *et al.*, 2025). Essa tecnologia tem se mostrado especialmente eficaz no controle de plantas daninhas em áreas de grande extensão, onde o manejo manual ou tradicional demandaria altos custos e maior tempo de execução.

Além dos grãos, culturas permanentes, como café e cacau, cultivados presentes em Rondônia, também têm se beneficiado do uso de IA em etapas como irrigação de precisão, diagnóstico precoce de pragas e previsão de colheita (FERREIRA *et al.*, 2025). A automação de processos baseada em sensores e algoritmos preditivos em ambientes pós-colheita favorece o planejamento logístico da produção, reduz perdas operacionais, estende a vida útil dos produtos e fortalece a competitividade no mercado. (DAS *et al.*, 2025). Esses resultados sugerem que a incorporação da IA na agricultura rondoniense possui potencial para elevar não apenas a produtividade, mas também a qualidade final dos produtos agrícolas.

No entanto, a efetivação plena dessas tecnologias depende da calibração das ferramentas de inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT) às condições edafoclimáticas amazônicas (FERREIRA *et al.*, 2025). Embora desenvolvido em contexto amazônico, o estudo aborda aplicações de IoT em sistemas de aquaponia e piscicultura, com variáveis controladas, diferindo significativamente da agricultura rondoniense, caracterizada por solos heterogêneos e forte sazonalidade climática. Essas diferenças limitam a transferência direta dos resultados, exigindo calibrações regionais que considerem dados locais de solo, clima e manejo para assegurar a precisão e a eficiência das soluções em campo aberto.

Environmental Sustainability

The integration of AI with sensors, drones, and remote monitoring systems enhances precision in the use of agricultural inputs, promoting more sustainable practices (KHALIQ *et al.*, 2025; SHARMA; SHIVANDU, 2024). Targeted pesticide application, combined with intelligent fertilization recommendations, reduces the risk of soil and water contamination—a recurring issue in intensive production areas (SELINA *et al.*, 2025). This greater selectivity not only reduces environmental burden but also production costs and health risks.

Additionally, AI contributes to greenhouse gas (GHG) mitigation (CAO *et al.*, 2025; ZHONG *et al.*, 2024). Algorithms that optimize machine traffic and reduce the need for mechanized operations lower fossil fuel consumption by 33.3%, which is particularly relevant for Rondônia, where agricultural expansion often involves increased mechanization (DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2025; AL-SAGER *et al.*, 2024). In this way, AI plays a strategic role in the transition toward low-carbon agriculture.

In Rondônia, sustainable practices driven by digital technologies have the potential to mitigate degradation processes associated with the expansion of the agricultural frontier into sensitive areas (PEREIRA, 2024). Although, digital technologies applied to agriculture in Rondônia can reduce GHG emissions by optimizing inputs and decreasing fossil fuel use, the energy dependence of these solutions - especially for processing and storing large volumes of data in the cloud - may offset some of these environmental gains (SRIDHAR *et al.*, 2023).

Recent studies indicate that the energy consumption of AI and IoT systems presents a challenge for full sustainability, particularly when the energy matrix relies partially on non-renewable sources (URIARTE-GALLASTEGI *et al.*, 2024). Therefore, the effectiveness of GHG reductions depends on integrating renewable energy sources and ensuring computational efficiency in digital infrastructures, so that environmental benefits outweigh the energy costs associated with using these technologies.

Sustentabilidade ambiental

A integração da IA a sensores, drones e sistemas de monitoramento remoto amplia a precisão no uso de insumos agrícolas, promovendo práticas mais sustentáveis (KHALIQ *et al.*, 2025; SHARMA; SHIVANDU, 2024). O controle localizado de defensivos, aliado à recomendação inteligente de adubação, reduz o risco de contaminação de solos e de recursos hídricos, problema recorrente em áreas de produção intensiva (SELINA *et al.*, 2025). Essa maior seletividade não apenas reduz a carga ambiental, mas também os custos de produção e os riscos sanitários.

Adicionalmente, a IA também contribui para a mitigação de gases de efeito estufa (CAO *et al.*, 2025; ZHONG *et al.*, 2024). Algoritmos que otimizam o tráfego de máquinas e reduzem a necessidade de operações mecanizadas diminuem o consumo de combustíveis fósseis em 33,3%, fator relevante para Rondônia, onde a expansão agrícola frequentemente implica maior mecanização (DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2025; AL-SAGER *et al.*, 2024). Dessa forma, a IA desempenha papel estratégico na transição rumo a uma agricultura de baixo carbono.

Em Rondônia, práticas sustentáveis impulsionadas por tecnologias digitais apresentam potencial para mitigar processos de degradação associados ao avanço da fronteira agrícola sobre áreas sensíveis (PEREIRA, 2024). Embora as tecnologias digitais aplicadas à agricultura em Rondônia apresentem potencial para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio da otimização de insumos e da diminuição do uso de combustíveis fósseis, a dependência energética dessas soluções - especialmente para o processamento e armazenamento de grandes volumes de dados em nuvem - pode compensar parte desses ganhos ambientais (SRIDHAR *et al.*, 2023).

Estudos recentes indicam que o consumo energético de sistemas de inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT) representa um desafio para a sustentabilidade plena, sobretudo quando a matriz elétrica é parcialmente baseada em fontes não renováveis (URIARTE-GALLASTEGI *et al.*, 2024). Assim, a eficácia das reduções de GEE depende da integração de fontes renováveis de energia e da eficiência computacional das infraestruturas digitais, garantindo que os benefícios ambientais superem os custos energéticos associados ao uso dessas tecnologias.

Furthermore, intelligent land-use monitoring can identify areas suitable for agricultural expansion without compromising environmental conservation, supporting forest preservation policies (MARTYNOVA, 2024). By integrating satellite images, remote sensors, and machine learning algorithms, these technologies allow classification of vegetation cover, detection of deforestation, and mapping of risk zones or areas suitable for agriculture.

Temporal analysis of the data supports strategic decisions, guiding both territorial planning and environmental governance in Rondônia. Thus, the adoption of AI not only contributes to productivity gains but also strengthens environmental sustainability, a fundamental condition for reconciling agricultural activity with the conservation of Amazonian biodiversity.

Economic Aspects

Reducing operational costs for pesticides, fertilizers and irrigation, is the main economic benefit of AI in agriculture (PADHIARY *et al.*, 2025). According to ZHOU *et al.* (2023), investments in digital technologies, although requiring high initial costs, show an average return within up to three harvests due to resource optimization and increased productivity. On large farms, this return tends to occur more quickly, as scale helps dilute costs and amplifies the impact of the generated savings.

In the context of Rondônia, cooperatives and producer associations have been crucial in enabling access to AI for small and medium-sized farmers (SOUZA *et al.*, 2022). Sharing machinery, drones, and analysis software substantially reduces individual financial burdens and allows smaller farms to enjoy technological benefits (SOUZA *et al.*, 2022). This collaborative strategy has proven effective, particularly in value chains such as coffee and milk, which are economically significant for the State (PEREIRA, 2024).

Além disso, o monitoramento inteligente do uso do solo pode identificar áreas aptas à expansão agrícola sem comprometer a conservação ambiental, apoiando também políticas de preservação florestal (MARTYNOVA, 2024). Por meio da integração de imagens de satélite, sensores remotos e algoritmos de aprendizado de máquina, essas tecnologias permitem classificar coberturas vegetais, detectar desmatamentos e mapear zonas de risco ou aptidão agrícola.

A análise temporal dos dados subsidia decisões estratégicas, orientando tanto o planejamento territorial quanto a governança ambiental em Rondônia. Assim, a adoção da IA não apenas contribui para ganhos produtivos, mas também fortalece a sustentabilidade ambiental, condição fundamental para conciliar a atividade agrícola e a conservação da biodiversidade amazônica.

Aspectos econômicos

A redução de custos operacionais com defensivos, fertilizantes e irrigação constitui o principal benefício econômico da IA na agricultura (PADHIARY *et al.*, 2025). Segundo ZHOU *et al.* (2023), investimentos em tecnologias digitais, embora demandem alto custo inicial, apresentam retorno médio em até três safras devido à otimização dos recursos e ao aumento da produtividade. Em grandes propriedades, esse retorno tende a ocorrer de forma mais rápida, pois a escala favorece a diluição de custos e amplia o impacto das economias geradas.

Na realidade rondoniense, cooperativas e associações de produtores têm sido fundamentais para viabilizar o acesso à IA por pequenos e médios agricultores (SOUZA *et al.*, 2022). O compartilhamento de máquinas, drones e softwares de análise reduz substancialmente o ônus financeiro individual e permite que propriedades menores usufruam dos benefícios tecnológicos (SOUZA *et al.*, 2022). Essa estratégia colaborativa tem se mostrado eficaz, sobretudo em cadeias como a do café e do leite, de grande importância econômica para o estado (PEREIRA, 2024).

Despite these developments, full AI adoption faces barriers related to rural credit and technological infrastructure (SILVEIRA *et al.*, 2023). Many producers do not have easy access to financing specifically for digital technologies, and when they do, they face high interest rates and bureaucracy (ZHOU *et al.*, 2025).

Additionally, limited digital connectivity in rural areas increases software maintenance costs and complicates real-time data integration, which is essential for fully operational AI systems (SCHIAVI *et al.*, 2025; DIBBERN *et al.*, 2025). Thus, while the economic gains are evident, universal access depends on subsidized credit policies, digital infrastructure, and ongoing technical support, especially for family farmers.

Regional Challenges

Despite documented advances, gaps remain regarding the applicability of AI technologies in the Amazon context, especially in Rondônia. The strong edaphoclimatic variability - with annual rainfall exceeding 2,200 mm, predominance of low-fertility Latosols and Argisols, and heterogeneous terrain - limits the transfer of models developed in other regions of the country (SANTOS, 2024). These conditions directly affect the accuracy of algorithms and sensors, requiring local calibrations to avoid distortions in productivity, irrigation, and pest detection estimates.

Algorithms calibrated for the Cerrado or Southern region tend to perform worse in the Amazon due to sensitivity to regional soil, climate, and vegetation variables. In Rondônia, differences in soil texture and fertility, high humidity, and irregular rainfall distribution alter crop response patterns, compromising models trained in different contexts. Furthermore, the scarcity of local data limits algorithm generalization, reinforcing the need to calibrate them with regional edaphoclimatic parameters to ensure more accurate and applicable recommendations.

Apesar dos avanços, a adoção plena da IA enfrenta barreiras relacionadas ao crédito rural e à infraestrutura tecnológica (SILVEIRA *et al.*, 2023). Muitos produtores não possuem acesso facilitado a financiamentos específicos para tecnologias digitais e, quando o têm, enfrentam altas taxas de juros e burocracia (ZHOU *et al.*, 2025).

Além disso, a limitação de conectividade digital em áreas rurais encarece a manutenção de softwares e dificulta a integração de dados em tempo real, elemento essencial para o funcionamento pleno dos sistemas de IA (SCHIAVI *et al.*, 2025; DIBBERN *et al.*, 2025). Assim, embora os ganhos econômicos sejam evidentes, sua universalização depende de políticas de crédito subsidiado, infraestrutura digital e apoio técnico continuado, especialmente para produtores familiares.

Desafios regionais

Apesar dos avanços documentados, persistem lacunas quanto à aplicabilidade das tecnologias de inteligência artificial no contexto amazônico, especialmente em Rondônia. A forte variabilidade edafoclimática - com regimes pluviométricos superiores a 2.200 mm anuais, predominância de Latossolos e Argissolos de baixa fertilidade e relevo heterogêneo - impõe limitações à transferência de modelos desenvolvidos em outras regiões do país (SANTOS, 2024). Essas condições afetam diretamente a acurácia dos algoritmos e sensores, exigindo calibrações locais para evitar distorções nas estimativas de produtividade, irrigação e detecção de pragas.

Algoritmos calibrados para o Cerrado ou para a região Sul tendem a apresentar menor desempenho na Amazônia devido à sensibilidade a variáveis regionais de solo, clima e vegetação. Em Rondônia, diferenças em textura e fertilidade dos solos, alta umidade e distribuição irregular das chuvas alteram os padrões de resposta das culturas, comprometendo modelos treinados em contextos distintos. Além disso, a escassez de dados locais limita a generalização dos algoritmos, reforçando a necessidade de calibrá-los com parâmetros edafoclimáticos regionais para assegurar recomendações mais precisas e aplicáveis.

Another challenge concerns low digital connectivity in rural areas of Rondônia. The absence or intermittency of internet signals across most of the rural territories prevents the implementation of cloud-based platforms, making real-time crop monitoring unfeasible (SOUZA *et al.*, 2022). This limitation underscores the need for public policies promoting digital inclusion in rural areas, a prerequisite for expanding the adoption of advanced technologies.

The lack of technical training is also a significant barrier to adopting digital technologies in agriculture. Many farmers struggle with apps, software, and automated equipment, primarily due to limited access to training and adequate technical support. According to Souza *et al.* (2022), producers in the Northern Region, including Rondônia, show limitations in data interpretation and initial resistance to digital resources. As alternatives, the authors advocated expanding technical assistance focused on digital literacy, strengthening cooperative networks, and creating public policies for technology training adapted to local realities, ensuring greater autonomy and productive efficiency. This gap can compromise technology efficiency, as the full benefits of AI depend on correct information interpretation and integration with the farmer's practical knowledge.

Finally, few scientific studies are directly applied to the State, especially for regional crops such as corn, coffee, and beans; only 6.4% of the analyzed articles contain informational data on Rondônia. The scarcity of local data limits the development of algorithms adapted to the Amazon's edaphoclimatic realities, highlighting the urgent need for regional research to inform more contextualized agricultural policies and practices.

Critical Synthesis

The integrated analysis of the findings shows that AI represents a strategic tool to increase agricultural productivity, reduce costs, and promote sustainability (KUMARI *et al.*, 2025). However, the distribution of benefits is uneven: advantages are more pronounced on large farms, where technological infrastructure and data availability favor greater integration of digital systems (SOUZA *et al.*, 2022).

Outro desafio refere-se à baixa conectividade digital nas áreas rurais de Rondônia. A ausência ou intermitência de sinal de internet em ampla proporção das localidades rurais impede a implementação de plataformas baseadas em nuvem, inviabilizando o monitoramento em tempo real das lavouras (SOUZA *et al.*, 2022). Essa limitação reforça a necessidade de políticas públicas de inclusão digital no campo, condição indispensável para ampliar a adoção de tecnologias avançadas.

A carência de capacitação técnica constitui um importante entrave à adoção de tecnologias digitais no campo. Muitos agricultores enfrentam dificuldades no uso de aplicativos, softwares e equipamentos automatizados, principalmente pela falta de acesso a treinamentos e suporte técnico adequados. Segundo Souza *et al.* (2022), produtores da Região Norte, incluindo Rondônia, demonstram limitações na interpretação de dados e certa resistência inicial ao uso de recursos digitais. Como alternativas, os autores defendem a ampliação da assistência técnica voltada à alfabetização digital, o fortalecimento de redes cooperativas e a criação de políticas públicas de capacitação tecnológica adaptadas às realidades locais, de modo a garantir maior autonomia e eficiência produtiva. Essa lacuna pode comprometer a eficiência da tecnologia, uma vez que o pleno aproveitamento da IA depende da interpretação correta das informações e da integração com o conhecimento prático do agricultor.

Por fim, constatou-se que há poucos estudos científicos aplicados diretamente ao estado, especialmente em culturas regionais como milho, café e feijão, apenas 6,4% dos artigos analisados constam com dados informacionais sobre Rondônia. A escassez de dados locais limita a construção de algoritmos adaptados às realidades edafoclimáticas da Amazônia, evidenciando a necessidade urgente de pesquisas regionais que fundamentem políticas e práticas agrícolas mais contextualizadas.

Síntese crítica

A análise integrada dos achados evidencia que a IA representa uma ferramenta estratégica para elevar a produtividade agrícola, reduzir custos e promover sustentabilidade (KUMARI *et al.*, 2025). No entanto, a distribuição dos benefícios não é homogênea: as vantagens são mais expressivas em grandes propriedades, onde a infraestrutura tecnológica e a disponibilidade de dados favorecem maior integração dos sistemas digitais (SOUZA *et al.*, 2022).

In Rondônia, where small and medium-sized family farms predominate, adoption faces logistical and economic barriers (SOUZA *et al.*, 2022). Diffusing AI in agriculture requires not only technical advances but also institutional arrangements that expand access to innovation, such as public-private partnerships, subsidies, technology credit, digital training programs, and cooperative networks for shared use of technologies. Coordination among the State, the production sector, and research institutions is essential to ensure that agricultural modernization in Rondônia occurs inclusively and sustainably.

This situation shows that AI diffusion depends not only on technical factors but also on public incentive policies, training programs, and investments in rural digital connectivity. Another relevant aspect concerns environmental sustainability: evidence confirms that using AI for input management significantly reduces environmental impacts, especially contamination from agrochemicals and CO₂ emissions. This outcome aligns with the urgent need to reconcile productive expansion with environmental conservation in the Amazon, reaffirming AI's potential as an ally in building resilient and environmentally responsible agricultural systems.

The included studies were mostly reviews and observational/case studies. The main limitations of this study are: i) methodological heterogeneity among the analyzed studies makes direct comparisons and quantitative syntheses difficult; ii) the scarcity of research specifically applied to Rondônia restricts the external validity of recommendations for the regional context; iii) and the lack of primary field data limits empirical verification of estimated gains. Despite these limitations, the compiled data provide important support for outlining strategies that favor the gradual integration of AI in the regional context, indicating future research priorities: field trials with AI technologies adapted to Amazonian edaphoclimatic conditions, contextualized cost-benefit analyses for small and medium producers, and evaluation of rural extension models integrating digital training and ongoing technical assistance.

No caso de Rondônia, onde predominam pequenas e médias propriedades familiares, a adoção enfrenta entraves logísticos e econômicos (SOUZA *et al.*, 2022). A difusão da IA no campo requer, além de avanços técnicos, arranjos institucionais que ampliem o acesso à inovação, como parcerias público-privadas, subsídios e crédito tecnológico, programas de capacitação digital e redes cooperativas para uso compartilhado de tecnologias. A coordenação entre Estado, setor produtivo e pesquisa é essencial para garantir que a modernização agrícola em Rondônia ocorra de forma inclusiva e sustentável.

Esse quadro revela que a difusão da IA depende não apenas de fatores técnicos, mas também de políticas públicas de incentivo, programas de capacitação e investimentos em conectividade digital rural. Outro aspecto relevante refere-se à sustentabilidade ambiental: as evidências confirmam que o uso de IA para manejo de insumos reduz significativamente os impactos ambientais, especialmente a contaminação por agrotóxicos e a emissão de CO₂. Esse resultado dialoga com a necessidade urgente de conciliar expansão produtiva e conservação ambiental na Amazônia, reafirmando o potencial da IA como aliada na construção de sistemas agrícolas resilientes e ambientalmente responsáveis.

Os estudos incluídos foram majoritariamente revisões e observação/estudos de caso. Cabe reconhecer as principais limitações deste estudo: i) a heterogeneidade metodológica entre os estudos analisados dificulta comparações diretas e sínteses quantitativas; ii) a escassez de pesquisas aplicadas especificamente a Rondônia restringe a validade externa das recomendações para o contexto regional; iii) e a ausência de dados primários de campo limita a verificação empírica dos ganhos estimados. Apesar dessas limitações, os dados compilados oferecem subsídios importantes para delinear estratégias que favoreçam a inserção gradual da IA no contexto regional, indicando como prioridades de pesquisa futura: ensaios de campo com tecnologias de IA adaptadas às condições edafoclimáticas amazônicas, análises de custo-benefício contextualizadas para pequenos e médios produtores, e avaliação de modelos de extensão rural que integrem capacitação digital e assistência técnica continuada.

CONCLUSIONS

This systematic review allowed for the synthesis of relevant evidence on the impacts of artificial intelligence (AI) in agriculture in Rondônia. The results indicate that AI contributes to increased productivity, rational use of inputs, cost reduction, and mitigation of environmental impacts, establishing itself as a promising tool for the regional agricultural sector;

The magnitude of these benefits depends on the available technological infrastructure, the scale of production, and user training, being more immediate in larger operations and, in small- and medium-sized farms, dependent on connectivity and technical/financial support. In Rondônia, the lack of applied studies and the absence of specific public policies limit full understanding of the impacts and hinder adoption on a small scale.

However, it is important to recognize the methodological limitations of this review. The heterogeneity of methods used in the analyzed studies and the scarcity of empirical research directly applied to the Rondônia context restrict the comparability of results and the generalization of conclusions. Moreover, the absence of primary data and the reliance on secondary sources may introduce selection biases and limit the accuracy of impact estimates. These limitations do not invalidate the findings but indicate the need for future studies with experimental designs and standardized quantitative approaches capable of empirically validating the results identified in the literature.

It is recommended to prioritize field trials and cost-benefit assessments in predominant crops, such as soybean, maize, coffee, beef and dairy cattle, with stratification by soil type and climate regime, as well as extension models that integrate digital training and ongoing technical assistance. Investigations that integrate spatial data, comparative economic analyses, and AI-based predictive models could provide technical and scientific support for formulating more efficient, sustainable, and Amazon-adapted management strategies.

CONCLUSÕES

A presente revisão sistemática permitiu sintetizar evidências relevantes sobre os impactos da inteligência artificial na agricultura de Rondônia. Os resultados indicam que a IA contribui para o aumento da produtividade, o uso racional de insumos, a redução de custos e a mitigação de impactos ambientais, configurando-se como ferramenta promissora para o setor agropecuário regional;

A magnitude dos benefícios depende da infraestrutura tecnológica disponível, da escala produtiva e da capacitação dos usuários, sendo mais imediata em operações de maior porte e condicionada, nas pequenas e médias propriedades, à conectividade e ao suporte técnico/financeiro. Em Rondônia, a ausência de estudos aplicados e a carência de políticas públicas específicas limitam a compreensão plena dos impactos e dificultam a adoção em pequena escala;

Entretanto, é importante reconhecer as limitações metodológicas desta revisão. A heterogeneidade dos métodos empregados nos estudos analisados e a escassez de pesquisas empíricas aplicadas diretamente ao contexto rondoniense restringem a comparabilidade dos resultados e a generalização das conclusões. Ademais, a ausência de dados primários e a dependência de fontes secundárias podem introduzir vieses de seleção e limitar a precisão das estimativas de impacto. Essas limitações não invalidam os achados, mas indicam a necessidade de estudos futuros com delineamentos experimentais e abordagens quantitativas padronizadas, capazes de validar empiricamente os resultados identificados na literatura;

Recomenda-se priorizar ensaios de campo e avaliações custo-benefício em culturas predominantes, como soja, milho, café e pecuária de corte e leiteira, com estratificação por classe de solo e regime climático, além de modelos de extensão que integrem capacitação digital e assistência técnica continuada. Investigações com integração de dados espaciais, análises econômicas comparativas e modelos preditivos baseados em IA poderão fornecer subsídios técnicos e científicos para a formulação de estratégias de manejo mais eficientes, sustentáveis e adaptadas à realidade amazônica.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AKKEM, Y.; BISWAS, S.; VARANASI, A. Smart farming using artificial intelligence: A review. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>.
- AL-SAGER, S. M.; ALMÂDY, S. S.; MAREY, S. A.; AL-HAMED, S. A.; ABOUKARIMA, A. M. Prediction of specific fuel consumption of a tractor during the tillage process using an artificial neural network method. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 492, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030492>.
- CAO, Q.; CHI, C.; SHAN, J. Can artificial intelligence technology reduce carbon emissions? A global perspective. **Energy Economics**, v. 143, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108285>.
- DAS, B.; HOQUE, A.; ROY, S.; KUMAR, K.; LASKAR, A. A.; MAZUMDER, A. S. Post-Harvest Technologies and Automation: AI-Driven Innovations in Food Processing and Supply Chains. **International Journal of Scientific Research in Science and Technology**, v. 12, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.32628/IJSRST25121170>.
- DIBBERN, T.; ROMANI, L. A. S.; MASSRUHÁ, S. “Drivers and barriers to digital agriculture adoption: a mixed-methods analysis of challenges and opportunities in Latin America”. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 3676, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17083676>.
- DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ, A.; JUÁREZ-VELÁZQUEZ, A.; DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ, E.; ZEPEDA-BAUTISTA, R.; HERNÁNDEZ-AGUILAR, C.; DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ, M. Impact of the Integration Level in Crop–Livestock Systems on Biomass Production, Nutrient Recycling, and Energy Efficiency. **Biomass**, v. 5, n. 2, p. 19, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomass5020019>.
- FERREIRA, M. P. S.; MACIEL, D. L.; MIKOS, A.; SANTOS, A. R.; OLIVEIRA, G. M. C.; FRANÇA NETO, A. C.; ALMEIDA, F. M. Uso de IoT e inteligência artificial na agricultura. In: **Avanços interdisciplinares nas ciências exatas e seus impactos tecnológicos**. 2025. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2412502041>.
- GUPTA, G.; SUDHIR K. Applications of AI in precision agriculture. **Circular and Applied Agriculture**, v. 3, n. 61, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00220-9>.
- HOLZINGER, A.; SARANTI, A.; ANGERSCHMID, A.; RETZLAFF, C.; GRONAUER, A.; PEJAKOVIĆ, V.; MEDEL-JIMÉNEZ, F.; KREXNER, T.; GOLLOB, C.; STAMPFER, K. Digital Transformation in Smart Farm and Forest Operations Needs Human-Centered AI: Challenges and Future Directions. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 22, n. 8, p. 3043, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22083043>.
- HUO, D.; MALIK, A.; RAVANA, S.; RAHMAN, A.; AHMEDY, I. Mapping smart farming: Addressing agricultural challenges in data-driven era. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113858>.
- JAVOID, M.; HALEEM, A.; KHAN, I.; SUMAN, R. Understanding the potential applications of artificial intelligence in agriculture sector. **Advanced Agrochem**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.10.001>.
- KHALIQ, A.; KHAN, A.; JAN, S.; UMAIR, M.; GULSHAIR, A.; ALI, A.; SHAH, U. AI-Driven Smart Agriculture: An Integrated Approach for Soil Analysis, Irrigation, and Crop-Fertilizer Recommendations. **IEEE Access**, v. 189, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2025.3594162>.
- KUMARI, K.; NAFCHI, A.; MIRZAEI, S.; ABDALLA, A. AI-Driven Future Farming: Achieving Climate-Smart and Sustainable Agriculture. **AgriEngineering**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030089>.
- MARTYNOVA, N. The technology of artificial intelligence in land monitoring. **E3S Web of Conferences**, v. 539, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901028>.
- NORSWORTHY, J. K.; HUFFMAN, R.; DARR, M. Precision agriculture research measures effectiveness of See & Spray technology. **University of Arkansas System Division of Agriculture**, 2025. Disponível em: <https://aes.uada.edu/news/see-and-spray-research/>.

OURO-SALIM, O.; FANHO, A. D. Inteligência artificial na agricultura familiar: capacitação, governança e inovação. **Revista Delos**, v. 18, n. 69, 2025 DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n69-130>.

PADHIARY, M.; KUMAR, K.; HUSSAIN, N.; ROY, D.; BARBHUIYA, J.; ROY, P. Artificial Intelligence in Farm Management: Integrating Smart Systems for Optimal Agricultural Practices. **International Journal of Smart Agriculture**, v. 3, n. 1, 2025 DOI: <https://doi.org/10.54536/ijsa.v3i1.3674>.

PEREIRA, C. N. Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de cultivo e sustentabilidade em Rondônia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstreams/f9c24010-f343-400d-a039-c7517f5b90f7/download>.

SAFAEINEJAD, M.; GHASEMI-NEJAD-RAEINI M.; TAKI M. A study on drone spraying vs. conventional methods. **PLOS ONE**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323779>.

SANTOS, T. Agricultura familiar em Rondônia: produção e circulação. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 15, n. 47, p. 15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.V.15.N.47.134.160>.

SCHIAVI I.; SILVEIRA S.; PASTI A. Where does digital sovereignty lie in building the Brazilian smart city? **Computers in Agriculture and Natural Resources**, v. 9, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diggeo.2025.100137>.

SHARMA, K.; SHIVANDU, S. Integrating Artificial Intelligence and Internet of Things (IoT) for Enhanced Crop Monitoring and Management in Precision Agriculture. **Sensors International**, v. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>.

SILVEIRA, F.; SILVA, S.; MACHADO, F.; BARBEDO, J.; AMARAL, F. Farmers' perception of barriers that difficult the implementation of agriculture 4.0. **Agricultural Systems**, v. 208, 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103656>.

SOUZA, D. G.; WATERKEMPER, P. M.; MOREIRA, D. N.; OLIVEIRA, M. A. Economia solidária no âmbito da agricultura na região norte. **Revista de Estudos Universitários**, v. 48, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22484/2177-5788.2022v48id4883>.

SOUZA, J.; ADANIYA, C. Inovações tecnológicas no agronegócio: impactos econômicos e jurídicos da inteligência artificial. **Revista FT**, v. 29, 2025. DOI: <https://doi.org/10.69849/revistaft/cl10202503281636>.

SRIDHAR, A.; PONNUCHAMY, M.; KUMAR, P. S.; KAPOOR, A.; VO, D.-V. N.; RANGASAMY, G. Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review. **Sustainable Food Technology**, v. 6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1039/D3FB00124E>.

URIARTE-GALLASTEGI, N.; ARANA-LANDÍN, G.; LANDETA-MANZANO, B.; LASKURAIN-ITURBE, I. The Role of AI in Improving Environmental Sustainability: A Focus on Energy Management. **Energies**, v. 17, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17030649>.

WANG, J.; WANG, Y.; LI, G.; QI, Z. Integration of Remote Sensing and Machine Learning for Precision Agriculture: A Comprehensive Perspective on Applications. **Agronomy**, v. 14, n. 9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14091975>.

ZHONG, W.; LIU, Y.; DONG, K.; NI, G. Assessing the synergistic effects of artificial intelligence on pollutant and carbon emission mitigation in China. **Energy Economics**, v. 138, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107829>.

ZHOU, X.; CHEN, T.; ZHANG, B. Research on the Impact of Digital Agriculture Development on Agricultural Green Total Factor Productivity. **Land**, v. 12, n. 1, 195, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010195>.

ZHOU, X.; PENG, Y.; XU, B.; XIONG, W.; PENG, X. Government subsidy research on the application of IoT technology in contract-farming supply chain. **Plos one**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327816>.