



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO
NÚCLEO DE PRÁTICA JURÍDICA
COORDENAÇÃO ADJUNTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
MONOGRAFIA JURÍDICA

**A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA GESTÃO E REGULAÇÃO DA
PROPRIEDADE RURAL**
DESAFIOS LEGAIS E OPORTUNIDADES NO DIREITO AGRÁRIO

ORIENTANDO: PAULO SÉRGIO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO
ORIENTADORA: MESTRE PAULA RAMOS NORA DE SANTIS

GOIÂNIA - GO
2026

PAULO SÉRGIO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO

**A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA GESTÃO E REGULAÇÃO DA
PROPRIEDADE RURAL**
DESAFIOS LEGAIS E OPORTUNIDADES NO DIREITO AGRÁRIO

Monografia Jurídica, apresentado à disciplina Trabalho de Curso II, do Curso de Direito da Escola de Direito, Negócios e Comunicação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás Prof. (a) Orientador (a): Ma. Paula Ramos Nora de Santis.

GOIÂNIA – GO
2026

PAULO SÉRGIO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO

**A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA GESTÃO E REGULAÇÃO DA
PROPRIEDADE RURAL**

DESAFIOS LEGAIS E OPORTUNIDADES NO DIREITO AGRÁRIO

Data da Defesa: 10 de junho de 2026

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a): Mestre Paula Ramos Nora de Santis

Nota

Examinador (a) Convidado (a): Mestre Fátima de Paula Ferreira

Nota

A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA GESTÃO E REGULAÇÃO DA PROPRIEDADE RURAL

DESAFIOS LEGAIS E OPORTUNIDADES NO DIREITO AGRÁRIO

Paulo Sérgio José de Oliveira Filho¹

RESUMO

O presente artigo científico abordou a utilização da inteligência artificial na gestão e regulação da propriedade rural. O estudo objetivou analisar o impacto da implementação de tecnologias de inteligência artificial no setor agropecuário para a otimização de processos, o aumento da produtividade e o rigoroso cumprimento do ordenamento jurídico brasileiro. O método empregado consistiu em uma pesquisa qualitativa e descritiva, pautada em revisão bibliográfica, focada na adaptação normativa frente às novas tecnologias. Os resultados indicaram que a inteligência artificial otimizou a conformidade com as legislações agrárias e ambientais, a exemplo do Estatuto da Terra e do Código Florestal, embora a sua implementação tenha enfrentado desafios estruturais de conectividade, elevados custos financeiros e preocupações jurídicas acerca da Lei Geral de Proteção de Dados. A pesquisa concluiu que a adoção dessas inovações representou uma oportunidade indispensável para a modernização do agronegócio, porém, exigiu a formulação de políticas públicas inclusivas e a constante atualização dos marcos regulatórios para garantir a segurança jurídica e a sustentabilidade no campo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Avanço. Agropecuária. Tecnologia. Desafio

¹ Paulo Sérgio José de Oliveira Filho – Graduando em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás

ABSTRACT

This article addressed the use of artificial intelligence in the management and regulation of rural properties. The study aimed to analyze the impact of implementing artificial intelligence technologies in the agricultural sector to optimize processes, increase productivity, and ensure strict compliance with the Brazilian legal framework. The methodology consisted of qualitative and descriptive research based on a literature review, focusing on regulatory adaptation in light of new technologies. The results indicated that artificial intelligence optimized compliance with agrarian and environmental legislation, such as the Land Statute (*Estatuto da Terra*) and the Forest Code (*Código Florestal*). However, its implementation faced structural challenges related to connectivity, high financial costs, and legal concerns regarding the General Data Protection Law (LGPD). The research concluded that adopting these innovations represents an indispensable opportunity for modernizing agribusiness; nevertheless, it requires the formulation of inclusive public policies and the constant updating of regulatory frameworks to ensure legal certainty and sustainability in the rural sector.

Keywords: Artificial Intelligence; Rural Property; Agribusiness; Agrarian Law; Legal Certainty.

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
INTRODUÇÃO	8
1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPRIEDADE RURAL E INOVAÇÃO	9
1.1 PANORAMA DA PROPRIEDADE RURAL NO BRASIL	9
1.2 IMPACTO E O SURGIMENTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	13
1.3 GESTÃO E REGULAÇÃO DE PROPRIEDADE RURAL COM IA	16
2 - TRANSFORMAÇÃO DA AGRICULTURA E PRECISÃO DE RESULTADOS	21
2.1 AGRICULTURA E AGROPECUÁRIA DE PRECISÃO	21
2.2 AUTOMAÇÃO E MÁQUINAS INTELIGENTES NA AGROPECUÁRIA	22
2.3 OTIMIZAÇÃO DO USO DE INSUMOS	23
2.4 PREVISÃO CLIMÁTICA E ANÁLISE DE DADOS.....	25
3 - DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA IA NO SETOR RURAL	27
3.1 DESAFIOS TECNOLÓGICOS	27
3.2 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	29
3.3 RESISTÊNCIA À INOVAÇÃO	31
CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	36

INTRODUÇÃO

O presente artigo científico tem como tema central a utilização da inteligência artificial (IA) na gestão e regulação da propriedade rural. O objetivo principal do trabalho consiste em analisar o impacto da implementação dessas ferramentas tecnológicas na otimização dos processos agropecuários e nas implicações legais e normativas decorrentes desse avanço. A pesquisa evidencia a crescente relevância da tecnologia no setor, que demonstra elevado potencial para transformar a administração das propriedades rurais, assegurando uma atuação pautada na eficiência produtiva e no cumprimento rigoroso do Direito Agrário e ambiental.

Nesse sentido, o problema de pesquisa que motiva a apresentação dos resultados indaga: quais são os principais desafios legais e as oportunidades geradas pela adoção da inteligência artificial no agronegócio, de modo que não se comprometa a função social da propriedade rural e a preservação do meio ambiente? Para elucidar este questionamento, o estudo investiga a evolução das aplicações da IA, examina inovações práticas e analisa criticamente os benefícios e obstáculos enfrentados pelos produtores rurais sob a ótica da adequação legal, especialmente quanto à segurança e privacidade de dados.

Os procedimentos metodológicos da investigação adotam uma abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada em pesquisa bibliográfica. Tal método visa compreender profundamente os aspectos subjetivos, institucionais e contextuais que envolvem a inserção das novas tecnologias no meio rural, buscando forte embasamento na literatura acadêmica e na legislação vigente.

Para a clara exposição e o encadeamento lógico das ideias, este trabalho está dividido em três seções. Na primeira seção, trata-se da contextualização da propriedade rural e inovação, traçando um panorama histórico do setor no Brasil e as aplicações iniciais da IA no âmbito jurídico. Na segunda seção, explora-se a transformação da agricultura e a precisão de resultados, detalhando como a automação, a otimização de insumos e a análise preditiva de dados impactam o campo. Na terceira e última seção, analisam-se os desafios e as oportunidades da IA no setor rural, avaliando os severos entraves tecnológicos e econômicos, a resistência cultural à inovação e os consequentes benefícios de uma governança rural eficiente.

1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPRIEDADE RURAL E INOVAÇÃO

Neste capítulo, será apresentado um panorama histórico e atual da propriedade rural no Brasil, destacando os principais desafios estruturais e legais. Serão discutidas as diferentes tipologias de propriedades, a distribuição da terra, a evolução do agronegócio e o impacto das inovações tecnológicas, especialmente a inteligência artificial. O objetivo é fornecer ao leitor um quadro geral que sirva de base para a análise detalhada dos processos de gestão e regulação abordados nos capítulos seguintes.

1.1 PANORAMA DA PROPRIEDADE RURAL NO BRASIL

A agropecuária no Brasil desempenha um papel fundamental não apenas na economia nacional, mas também na garantia da segurança alimentar. Nas últimas 5 décadas, o agronegócio no Brasil tem apresentado um crescimento notável, transformando o país em um dos maiores produtores e exportadores globais de alimentos, fibras e energia do mundo. Segundo o professor José Carlos de Lima (Lima, 2018), a agropecuária brasileira tem sido um pilar fundamental para o país, consolidando-se como uma potência global em termos de produção e exportação de produtos agropecuários. Com o apoio de tecnologias avançadas, especialmente na área de inteligência artificial (IA), o Brasil conseguiu expandir sua capacidade de produção e exportação de alimentos, fibras e bioenergia.

Essa evolução resulta de avanços contínuos na produtividade, impulsionados por investimentos em ciência e tecnologia, políticas públicas direcionadas ao setor e pela dedicação incansável dos produtores rurais, que são os principais responsáveis por esse progresso em suas atividades no interior das propriedades. De acordo com a Confederação de Agricultura e a Pecuária do Brasil (CNA, 2020), o Brasil investe aproximadamente US\$ 13 bilhões por ano em inovação e pesquisa agrícola, o que representa 15% do total global investido nesse setor. Esse investimento contribui para o desenvolvimento de tecnologias que aumentam a eficiência produtiva e reduzem custos.

Dentre a evolução histórica no agronegócio no Brasil, há de ser mencionada a Revolução Verde, ocorrida entre as décadas de 1940 e 1970, responsável por trazer inúmeras mudanças ao campo, principalmente no que tange à mecanização,

implantando novas tecnologias, seja por meio de maquinários ou através de estudos de sementes, insumos e produtos selecionados, além de rações e medicamentos veterinários. Assim, observou-se em uma pesquisa realizada pelo IBGE (IBGE, 2020) que a expansão do trabalho assalariado no campo, o alcance de uma eficiência produtiva elevada se comparada à anterior, e intensificou-se a exportação, gerando um superávit na balança comercial e, portanto, atraindo mais receita ao país.

Conforme registra a evolução histórica do Direito Agrário brasileiro, a estruturação fundiária do país foi delineada por marcos normativos decisivos, abarcando a apropriação territorial pela Coroa Portuguesa, o regime de concessão de sesmarias e a paradigmática Lei de Terras de 1850, até culminar no ordenamento jurídico contemporâneo. Contudo, essas sucessivas transições legislativas mostraram-se insuficientes para promover a efetiva regularização do território nacional. Essa ineficiência é atestada por estudo da *Climate Policy Initiative* (CPI, 2020), que diagnostica no país um crônico cenário de 'direitos fundiários inseguros'. Tal insegurança jurídica é perpetuada, sobretudo, pela inexistência de um cadastro rural único e integrado, falha estatal que mantém vastas extensões de áreas rurais à margem de uma titulação formal e definitiva:

In the absence of a single land registry combining geographical and legal information about 10 properties and possessions in Brazil, land policies have been promoted without precise knowledge of boundaries, resulting in territorial overlaps. Brazil's Land Governance: Challenges and Opportunities for Secure Land Rights. CPI, 2020.

Na ausência de um registro único de terras que combine informações geográficas e legais sobre propriedades e posses no Brasil, as políticas fundiárias foram promovidas sem um conhecimento preciso das fronteiras, resultando em sobreposições territoriais. **Traduzido.** Governança da Terra no Brasil: Desafios e Oportunidades para Direitos de Propriedade Seguros. (CPI, 2020).

Atualmente, segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/USP) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA):

O agronegócio atualmente tem sido reconhecido como um vetor crucial do crescimento econômico brasileiro. Em 2020 a soma de bens e serviços gerados pelo agronegócio chegou a R\$ 1,98 trilhão ou 27% do PIB brasileiro [...]. O setor absorve praticamente 1 de cada 3 trabalhadores brasileiros. Em 2015, de acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 32,3% (30,5 milhões) de 94,4 milhões de

trabalhadores brasileiros eram do agronegócio. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/USP) e Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Relatórios sobre a contribuição do agronegócio para o PIB brasileiro e a absorção de mão de obra no Brasil.

A previsão da atividade agropecuária brasileira para os próximos anos se dá através de políticas sustentáveis, utilização de novas técnicas afim de evitar a pobreza rural, priorizando o ganho em escala, seja por meio de associativismo, cooperativismo, entre outras. “Para tal, o país e o setor, continuarão investindo em soluções tecnológicas, gerenciais e de organização de base social da produção e do consumo [...]” (Buranello, 2018).

As propriedades rurais no Brasil podem ser classificadas de diferentes formas, conforme seu tamanho, localização e tipologia de produção. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o país possui milhões de propriedades rurais, mas a maioria delas é de pequeno porte, imóvel rural que tem o tamanho compreendido entre o tamanho da Fração Mínima de Parcelamento (FMP) até 4 módulos fiscais, com produção voltada para o consumo familiar ou mercados locais. Em contrapartida, existem grandes propriedades voltadas para a produção em larga escala, responsáveis por uma parcela significativa da produção agrícola e da exportação.

A OXFAM (*Oxford Committee for Famine Relief*) (OXFAM, 2016), confederação internacional que luta contra pobreza e a desigualdade em mais de 90 países, acaba de divulgar o relatório Terra, Poder e Desigualdade na América Latina, realizou uma pesquisa comparando o cenário da concentração das propriedades rurais em 15 países da região, com destaque para o Brasil. A partir da análise dos Censos Agropecuários locais, o estudo alerta que:

Menos de um 1% das propriedades rurais (com mais de 1.000 hectares) detém cerca de 45% da área produtiva, enquanto mais de 47% dos estabelecimentos (com menos de 10 hectares) ocupam apenas cerca de 2,3% da área. OXFAM, 2016.

Entretanto, a distribuição de terras no Brasil é perceptivelmente desigual. A concentração fundiária é uma característica histórica que se deu início no período colonial e que, até hoje, influencia as políticas agrárias e as disputas pela terra, como no caso dos índios. Essa exclusão territorial é duramente criticada pelo jurista Carlos Frederico Marés (Marés, 2003), que aponta como o modelo colonial de apropriação

de terras ignorou sistematicamente as populações originárias para instituir o latifúndio exportador, gerando um passivo histórico de conflitos agrários e tornando a demarcação de terras um desafio contínuo de justiça e reparação pelo Estado contemporâneo. De acordo com o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2015):

Grandes áreas ainda estão nas mãos de poucos proprietários, enquanto uma grande parte da população rural vive em condições de subpropriedade, conflitos fundiários ou busca por uma regularização fundiária. INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Na luta pela reforma agrária: histórico, desafios e atuação do INCRA. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / INCRA, 2015 (publicação institucional).

Conforme o exposto, grande parte da população detém áreas em condições ilegais, onde o produtor executa sua função social, porém sua propriedade é considerada irregular por lei.

Em contradição, o produtor rural, mesmo sendo a base de uma das atividades mais rentáveis do país, ainda não representa uma categoria jurídica específica no direito brasileiro, ainda que tal atividade traduza em um verdadeiro gerador de diversos regimes jurídicos em matéria tributária, previdenciária e de regulação da própria atividade.

Portanto, a propriedade rural no Brasil é um setor de grande importância econômica e social, mas também apresenta desafios consideráveis relacionados à desigualdade no acesso à terra, à gestão dos recursos naturais e à adaptação às novas tecnologias. A introdução da inteligência artificial e outras inovações tecnológicas representam oportunidades de transformar positivamente a gestão das propriedades rurais, tornando-se mais produtivas, sustentáveis e alinhadas às demandas ambientais e legais.

Um exemplo real que pode ser citado é o pulverizador Stara Imperador Eco Spray. Nesse equipamento, o sistema de Inteligência Artificial é responsável por enviar o comando para acionar os bicos de pulverização somente sobre as plantas daninhas, desligando o jato logo após, o que resulta em uma diminuição significativa no uso de produtos agrícolas. Esse processo contribui para manejos mais sustentáveis, redução de custos com insumos e preservação do solo, aspectos fundamentais para o aumento da eficiência na agricultura (Stara, 2024).

Assim, a agropecuária brasileira, embora seja um pilar fundamental da economia e da segurança alimentar nacional, enfrenta desafios históricos e estruturais que impedem uma distribuição mais equitativa das terras e uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos. Sob a ótica socioambiental, Édís Milaré (Milaré, 2015) adverte que o modelo de desenvolvimento rural brasileiro, apesar de sua incontestável relevância econômica, esbarra no desafio de superar matrizes ineficientes do passado, sendo imperiosa a transição para uma gestão que harmonize a maximização da produtividade agrícola com a tutela estrita e sustentável dos recursos naturais.

A concentração fundiária, originada no período colonial e mantida ao longo dos séculos, ainda perpetua a desigualdade no acesso à terra e aos benefícios da atividade rural. A regularização fundiária e a implementação de um cadastro único e eficiente são questões cruciais para garantir a segurança jurídica dos produtores e promover um desenvolvimento mais justo e ordenado. Como adverte Benedito Ferreira Marques (Marques, 2015), essa herança histórica pautada na exclusão consolidou um cenário de instabilidade que apenas será superado quando o Estado assegurar a correta identificação e titulação das propriedades, transformando a regularização em um verdadeiro instrumento de pacificação social e fomento à produção.

A evolução do agronegócio, impulsionada por inovações tecnológicas e políticas públicas, tem levado a avanços substanciais na produtividade e competitividade do setor. A integração de soluções como a inteligência artificial, aliada a práticas sustentáveis, apresenta-se como uma oportunidade estratégica para enfrentar os desafios enfrentados pela propriedade rural no Brasil.

É preciso adotar tecnologias que podem resultar em uma gestão mais eficiente das propriedades, com otimização do uso dos recursos naturais, melhoria das condições de trabalho dos produtores rurais e um impacto positivo no desenvolvimento econômico e social do país. Além disso, é fundamental que essa transformação ocorra dentro dos parâmetros legais e ambientais, assegurando um futuro mais sustentável para o setor.

1.2 IMPACTO E O SURGIMENTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) é uma tecnologia projetada para possibilitar que computadores e smartphones desempenhem tarefas que exigem habilidades

humanas, como raciocínio, resolução de problemas e tomada de decisões. Nos últimos anos, a IA tem se popularizado e se tornado cada vez mais presente na vida cotidiana, sendo utilizada em diversas áreas, desde o trabalho até a busca por uma receita para o almoço. Katti Faceli (2021) afirma que o uso de Inteligência Artificial tem sido muito acelerado nos últimos anos em nosso cotidiano.

Os modelos mais avançados de Inteligência Artificial operam por meio de redes neurais, que são capazes de identificar padrões em grandes volumes de dados e gerar novos conteúdos ou informações originais. Conforme elucida Kaufman (Kaufman, 2022), essa capacidade analítica é estruturada sobre técnicas de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) e aprendizado profundo (*Deep Learning*), que utilizam algoritmos complexos para processar bases de dados massivas e não estruturadas, como textos, códigos e imagens. É justamente a arquitetura profunda dessas redes que permite aos sistemas superar a mera reprodução de instruções pré-programadas, extraindo correlações autônomas que fundamentam a eficácia e a inovação da IA contemporânea.

O livro *Artificial Neural Network and Deep Learning: Fundamentals and Theory* (Redes Neurais Artificiais e Aprendizado Profundo: Fundamentos e Teoria) (Mathur; Sharma, 2020) é uma excelente fonte para entender as bases e os conceitos por trás das redes neurais artificiais (RNA) e do aprendizado profundo (Deep Learning). Ele oferece uma explicação detalhada sobre como as redes neurais funcionam, seus princípios teóricos, e as aplicações desses métodos para resolver problemas complexos.

Artificial neural networks (ANNs) — the core of deep learning — are computational models inspired by the human brain, composed of artificial neurons interconnected in layers, whose weights are adjusted by optimization algorithms (such as backpropagation) so that the model learns to map inputs to desired outputs. (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016; LECUN; BENGIO; HINTON, 2015)

Redes neurais artificiais (ANNs) — o núcleo do deep learning — são modelos computacionais inspirados no cérebro humano, compostos por neurônios artificiais interconectados em camadas, cujos pesos são ajustados por algoritmos de otimização (como *backpropagation*) para que o modelo aprenda a mapear entradas em saídas desejadas. (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016; LECUN; BENGIO; HINTON, 2015)

As redes neurais artificiais, conforme descritas na obra, são sistemas computacionais que imitam o funcionamento do cérebro humano. Elas são compostas por unidades chamadas neurônios artificiais, organizados em camadas, capazes de aprender padrões a partir de dados. Durante o processo de treinamento, a rede ajusta os pesos das conexões entre os neurônios, aprimorando suas previsões.

O conceito de máquinas pensantes surgiu com Alan Turing (Turing, 1950) na década de 1950, quando ele idealizou uma máquina capaz de simular qualquer tarefa cognitiva humana, estabelecendo as bases para a evolução da inteligência artificial.

Atualmente, conforme registra Klaus Schwab, fundador do Fórum Econômico Mundial e o criador do conceito de “Quarta Revolução Industrial” (Schwab, 2016) a IA é aplicada em diversas áreas, como no Direito, Engenharia e Computação, e tem gerado transformações significativas em setores como indústria, saúde e educação. Brynjolfsson e McAfee (Brynjolfsson *et al*, 2014), em *The Second Machine Age* (A Segunda Idade das Máquinas), argumentam que a IA se encontra em um ponto de inflexão, com um potencial disruptivo para alterar profundamente o mercado de trabalho, as relações econômicas e as estruturas sociais. Além disso, a IA tem contribuído para a otimização de processos de produção, tornando-os mais eficientes e muitas vezes mais sustentáveis. Contudo, o autor Goldman Sachs (Sachs, 2023) afirma que a IA também traz desafios, como a substituição de empregos, questões relacionadas à privacidade e a responsabilidade pelas decisões tomadas por algoritmos.

A agricultura de precisão é um dos primeiros setores a se beneficiar da implementação da IA. Conforme destacado por Wolfert *et al*. (Wolfert, 2017), o uso de tecnologias como sensores, drones e big data no campo tem possibilitado um monitoramento mais preciso das condições climáticas e da qualidade do solo. Isso tem permitido uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, além de aumentar a produtividade e reduzir desperdícios.

Em resumo, a Inteligência Artificial (IA) tem promovido transformações profundas em diversos setores, desde atividades cotidianas até áreas complexas como o Direito, Engenharia e, de forma especial, a Agricultura. O avanço das redes neurais artificiais, juntamente com o desenvolvimento de técnicas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo, tem permitido que sistemas computacionais identifiquem padrões e tomem decisões baseadas em grandes volumes de dados. Esse progresso tem otimizado processos e gerado soluções inovadoras.

Um exemplo notável disso é a agricultura de precisão, que tem se beneficiado diretamente da IA para aprimorar a gestão dos recursos naturais e aumentar a produtividade no campo. Compreendendo essa dinâmica, Renato Buranello (2018) pontua que a consolidação do chamado 'Agro 4.0' depende intrinsecamente dessa revolução tecnológica, na qual a automação baseada em dados não apenas reconfigura a eficiência da cadeia produtiva, mas também impõe ao Direito Agrário a necessidade de acompanhar os novos paradigmas de sustentabilidade e competitividade no setor.

1.3 GESTÃO E REGULAÇÃO DE PROPRIEDADE RURAL COM IA

Seguindo esse sentido, a gestão e a regulação das propriedades rurais no Brasil e em muitos outros países enfrentam desafios consideráveis, especialmente em relação à eficiência produtiva, à gestão sustentável dos recursos naturais e ao cumprimento das normas ambientais e trabalhistas.

Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma ferramenta promissora, capaz de transformar a maneira como esses problemas são abordados, oferecendo soluções inovadoras para o monitoramento, gestão e regulação das atividades agropecuárias. Pesquisas indicam que a IA tem a capacidade de integrar dados geoespaciais e jurídicos para otimizar o cadastro fundiário, prevenir fraudes e melhorar a transparência nos processos de titulação de terras (Sundararajan *et al.*, 2020). Além disso, sistemas baseados em IA podem otimizar processos como a previsão de safras, o manejo inteligente de irrigação e a automação de tarefas agrícolas, resultando em uma maior eficiência nas operações e em uma gestão mais precisa e sustentável dos recursos.

O livro *Towards Intelligent Land Administration Systems: Research Challenges, Applications, and Prospects in AI-Driven Approaches* (Rumo a sistemas inteligentes de administração de terras: desafios de pesquisa, aplicações e perspectivas em abordagens orientadas por IA) (Hosseini, 2025) destaca como os sistemas tradicionais de administração fundiária podem se beneficiar da IA para otimizar processos como o registro de propriedades, a gestão do uso da terra e a monitorização de territórios. A IA, ao integrar informações geoespaciais e jurídicas,

pode aprimorar a precisão do cadastro fundiário, reduzir fraudes e aumentar a transparência no processo de titulação de terras.

Nesse contexto, a gestão da propriedade rural envolve diversos aspectos, como o controle da produção agrícola e pecuária, além da administração de recursos naturais, como água e solo. A agricultura de precisão, que utiliza sensores, drones e sistemas de monitoramento remoto, é uma das principais áreas em que a IA pode ter um impacto significativo. De acordo com Wolfert (Wolfert *et al*, 2017), a IA possibilita o monitoramento em tempo real das propriedades rurais, fornecendo dados precisos sobre as condições do solo, das plantas e do clima, o que permite aos produtores tomarem decisões rápidas e informadas.

Artificial intelligence enables real-time monitoring of agricultural properties, providing precise data on soil conditions, plants, and climate. This allows producers to make informed and rapid decisions, optimizing the use of resources and improving productivity. With AI-driven systems, farmers can react quickly to changing conditions, applying fertilizers, water, and pesticides only when needed, leading to more sustainable farming practices. WOLFERT, S.; GE, L.; VERBURG, P. H.; BRUINS, E. A.; BAKKER, M. M. "Big Data in Smart Farming – A review". *Agricultural Systems*, v. 153, p. 69-80, 2017.

A Inteligência Artificial permite o monitoramento em tempo real das propriedades agrícolas, fornecendo dados precisos sobre as condições do solo, das plantas e do clima. Isso permite que os produtores tomem decisões informadas e rápidas, otimizando o uso de recursos e melhorando a produtividade. Com sistemas baseados em IA, os agricultores podem reagir rapidamente às mudanças nas condições, aplicando fertilizantes, água e pesticidas apenas quando necessário, o que resulta em práticas agrícolas mais sustentáveis. WOLFERT, S.; GE, L.; VERBURG, P. H.; BRUINS, E. A.; BAKKER, M. M. "Big Data in Smart Farming – A review". *Agricultural Systems*, v. 153, p. 69-80, 2017.

Ademais, a IA pode ser aplicada para automatizar processos agrícolas, como o controle de irrigação, o monitoramento da saúde do rebanho e a detecção de falhas nos sistemas do cultivo e manejo. Zhang (Zhang *et al.*, 2020) afirma que a automação nas propriedades rurais, por meio de tecnologias acessadas com IA, pode

reduzir custos operacionais e aumentar a produtividade, ao mesmo tempo em que minimiza os impactos ambientais.

Atualmente, o Brasil enfrenta um problema significativo relacionado à desregularização fundiária. Segundo uma pesquisa realizada pelo Colégio Notarial do Brasil (Colégio Notarial do Brasil, s.d.), terras sem proprietário formal somam cerca de 1/6 do território brasileiro. Esse quadro de insegurança fundiária impacta diretamente a gestão eficiente e legal das propriedades rurais, tornando ainda mais relevante a utilização de IA para aprimorar o controle e regularização fundiária, proporcionando maior segurança jurídica e transparência no setor.

1,4 milhão de quilômetros quadrados (km²) do Brasil são terra de ninguém. Isso perfaz 17% do território de Pindorama, uma área superior à do Peru. O Estado brasileiro não tem controle algum sobre tal vastidão, porque nenhum de seus bancos de dados fornece registro sobre seu status de propriedade. (Leite, 2019)

A pesquisa ainda destaca que, oficialmente, nem à União pertencem muitas dessas terras. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) apresenta um grande potencial para apoiar o cumprimento das normas ambientais, como aquelas estabelecidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), que regula a preservação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal nas propriedades rurais.

Além disso, ferramentas de IA podem ser aplicadas para monitorar o desmatamento ilegal, a preservação de áreas protegidas e o uso de recursos naturais, utilizando imagens de satélite e sensores remotos (Cohen, 2018).

Esses sistemas têm a capacidade de detectar atividades ilegais em tempo real e gerar alertas automáticos, o que facilita a atuação das autoridades ambientais e reduz a dependência de monitoramento manual. Cohen (Cohen *et al*, 2018) enfatizam que a combinação de IA com tecnologia espacial tem se mostrado fundamental para a implementação de políticas públicas eficazes no setor rural, como o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e o Cadastro Ambiental Rural (CAR).

A utilização de IA pode evoluir ainda mais, permitindo o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento e automação que possibilitam uma gestão integrada e sustentável das propriedades rurais. O uso de IA preditiva, por exemplo, pode ajudar

a antecipar desastres naturais, como secas e enchentes, permitindo que os produtores se preparem adequadamente e minimizem os danos.

Apesar dos imensos benefícios que a IA oferece na gestão e regulação da propriedade rural, existem desafios a serem superados. A adaptação das leis e normas regulatórias para lidar com a evolução tecnológica é um dos principais obstáculos. Santos (Santos *et al*, 2020) apontam que a legislação brasileira ainda não está totalmente preparada para regular de maneira eficaz o uso de dados sensíveis gerados por sistemas de IA, como informações sobre o uso da terra, práticas agrícolas e dados ambientais.

Outro desafio relevante é a capacitação dos produtores rurais, especialmente os de pequenas propriedades, que podem enfrentar dificuldades na adoção de tecnologias complexas devido ao custo elevado e à falta de infraestrutura. Além disso, muitos produtores demonstram resistência à mudança, temendo que as tecnologias sejam caras ou complicadas, Santos (Santos *et al*, 2020).

No entanto, as oportunidades proporcionadas pela IA são significativas. Ela pode contribuir para a inclusão digital nas propriedades rurais, permitindo que pequenos produtores acessem ferramentas de gestão mais eficientes, o que pode ajudá-los a atender aos requisitos legais e ambientais, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR). A inovação tecnológica pode ser uma aliada na redução das desigualdades no setor rural e no aumento da competitividade da agricultura brasileira no mercado global.

Em conclusão, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma ferramenta promissora para transformar a gestão e regulação das propriedades rurais no Brasil e em outros países, enfrentando desafios críticos como a eficiência produtiva, o manejo sustentável dos recursos naturais e o cumprimento das normas ambientais. A integração da IA com sistemas de monitoramento em tempo real, como sensores, drones e imagens de satélite, permite uma gestão mais precisa e eficiente das atividades agropecuárias, promovendo a agricultura de precisão e a automação de processos, como o controle de irrigação e o monitoramento da saúde do rebanho. Isso não só otimiza a produção, mas também contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis, minimizando impactos ambientais.

Contudo, os benefícios da IA no setor rural enfrentam obstáculos, como a adaptação das leis e normas regulatórias e a capacitação dos produtores rurais, especialmente os de menor porte. A pesquisa de Lewis (Lewis *et al*, 2021) revela que,

sem uma estratégia regulatória clara e eficaz, a adoção de IA no setor agrícola é dificultada, principalmente em países com legislações desatualizadas. Apesar desses desafios, a IA oferece grandes oportunidades para melhorar a segurança jurídica e a transparência no processo de regularização fundiária, além de promover a inclusão digital e a competitividade da agricultura brasileira.

A utilização da IA para monitoramento de desmatamento ilegal, preservação de áreas protegidas e antecipação de desastres naturais também contribui para a implementação de políticas públicas eficazes, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Programa de Regularização Ambiental (PRA). Assim, a IA pode se tornar uma aliada fundamental na construção de um setor rural mais sustentável, inclusivo e competitivo no cenário global.

2 - TRANSFORMAÇÃO DA AGRICULTURA E PRECISÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo, serão analisadas as transformações recentes na agricultura brasileira e a adoção da Agricultura de Precisão como estratégia para otimizar resultados. Serão abordadas as tecnologias emergentes, incluindo o uso de sensores, drones e sistemas automatizados, e como a inteligência artificial tem contribuído para a automação de processos e a melhoria da eficiência produtiva. As seções detalham a aplicação prática dessas inovações, a otimização do uso de insumos e a análise preditiva de dados climáticos, evidenciando como a modernização tecnológica impacta diretamente na produtividade e na sustentabilidade do setor agropecuário.

2.1 AGRICULTURA E AGROPECUÁRIA DE PRECISÃO

Com o advento da Revolução Verde, os sistemas de produção agropecuária passaram por transformações significativas, com a introdução de novas tecnologias, como fertilização, correção da acidez do solo, irrigação, uso de pesticidas, novas cultivares, mecanização, entre outras (Tilman *et al.*, 2002).

Nesse contexto, a Agricultura de Precisão emerge como um modelo de gestão dos processos produtivos no agronegócio, integrando o uso de máquinas modernas e tecnologias avançadas com o objetivo de otimizar a produtividade. Este modelo abrange todo o ciclo produtivo, desde a análise do solo, passando pela fertilização, plantio e colheita, até a transformação e comercialização dos produtos.

O processo de Agricultura de Precisão é geralmente dividido em três etapas principais: coleta de dados, planejamento e aplicação de insumos. A primeira etapa, a coleta de dados, é realizada por meio do uso de drones, sensores de solo e equipamentos equipados com Global Positioning System (GPS) e Geographic Information System (GIS), entre outros dispositivos responsáveis pelo manuseio de dados geográficos.

Com o objetivo de alcançar resultados mais precisos, utilizam-se Inteligências Artificiais (IAs), softwares e/ou profissionais especializados para planejar e gerenciar a aplicação de insumos. De acordo com a Springer Nature (Springer Nature, 2025), as IAs desempenham um papel fundamental no aprimoramento dessas capacidades, permitindo previsões mais precisas sobre o solo, doenças, pragas e ervas daninhas,

além de proporcionar uma gestão eficiente de recursos e processos de tomada de decisão mais assertivos.

Artificial intelligence (AI) plays a crucial role in enhancing these capabilities, enabling more accurate predictions of soil, disease, pests and weeds, efficient resource management, and better decision-making processes.

A inteligência artificial (IA) desempenha um papel crucial no aprimoramento dessas capacidades, possibilitando previsões mais precisas sobre solo, doenças, pragas e ervas daninhas, gestão eficiente de recursos e melhores processos de tomada de decisão. **TRADUZIDO** – *Applications of AI in Precision agriculture, 2025.*

Após o desenvolvimento científico e tecnológico para agricultura o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2022), realizado em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea-Esalq/USP), divulgado em 2022, é um dos indicativos.

A pesquisa analisou dados de 1975 a 2020 e constatou que a produtividade da agropecuária brasileira cresceu 400%, e um dos principais fatores apontados é a utilização de Inteligência Artificial.

2.2 AUTOMAÇÃO E MÁQUINAS INTELIGENTES NA AGROPECUÁRIA

As Inteligências Artificiais emergiram como ferramentas transformadoras, não apenas no cotidiano, mas também na agropecuária, promovendo avanços significativos na detecção de doenças nas plantações, no controle de pragas e nas estratégias de manejo em geral. A integração das tecnologias de IA possibilita um monitoramento, diagnóstico e intervenção mais precisos e eficientes, contribuindo para uma melhor saúde e maior produtividade das culturas.

O manejo para a automação das Inteligências Artificiais (IA) é realizado por profissionais especializados. O processo de automação envolve algoritmos de aprendizado de máquina que processam e analisam imagens de alta resolução capturadas de diversas formas. Além disso, é fundamental a organização de dados (*data warehouse*) para a visualização, processamento, análise, disponibilização e tratamento dessas informações.

O processo de análise de dados também envolve o uso de ferramentas computacionais baseadas em inteligência artificial. Ferramentas de aprendizado de

máquina, como algoritmos de classificação supervisionada e não supervisionada, assim como técnicas de aprendizado profundo, como as redes neurais convolucionais, podem ser aplicadas em diversas atividades da Agricultura de Precisão (AP), incluindo o delineamento de zonas de manejo (Bazzi *et al.*, 2013), classificação de culturas (Haug; Ostermann, 2014), identificação de pragas e doenças (Grinblat *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2017), geração de modelos de recomendação (Goldstein *et al.*, 2018), entre outras.

Dessa forma, é evidente que as Inteligências Artificiais podem proporcionar benefícios significativos para o setor agropecuário, tais como: apoio fundamentado para a tomada de decisões, redução do desperdício de água, otimização no uso de insumos, entre outros.

2.3 OTIMIZAÇÃO DO USO DE INSUMOS

Insumos consistem em todos os recursos ou materiais empregados no processo de produção de bens e serviços. No contexto agropecuário, essa categoria abrange elementos essenciais como sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, rações, maquinário, combustíveis e a própria força de trabalho humana. A utilização estratégica desses recursos é determinante para garantir a produtividade e a eficiência no campo, uma vez que influenciam diretamente o desempenho das culturas e a qualidade final dos produtos gerados (Ribeiro; Marinho; Espinosa, 2018). A correta gestão dos insumos é, portanto, um pilar fundamental para a sustentabilidade da produção agropecuária, pois impacta concomitantemente a viabilidade econômica e a preservação ambiental da atividade.

Nesse cenário, a otimização de insumos consolida-se como uma estratégia indispensável na gestão agrícola contemporânea, com o objetivo de maximizar a eficiência no uso de recursos como água, sementes e agroquímicos. Diferentemente da agricultura convencional que frequentemente maneja a propriedade de forma homogênea, aplicando insumos com base em médias gerais para todo o talhão, a otimização ampara-se nas ferramentas da Agricultura de Precisão. Essa abordagem tecnológica, conforme evidenciado pela literatura especializada (Zhang *et al.*, 2020; ESTADÃO), permite o mapeamento detalhado da variabilidade da lavoura, garantindo que a aplicação de insumos ocorra na dose exata, no local preciso e no momento ideal, minimizando desperdícios e maximizando o retorno produtivo.

Nesse sentido, o Brasil desempenha um papel crucial na alimentação mundial, destacando-se como um dos principais exportadores de commodities essenciais, como café, açúcar, suco de laranja e soja em grão. Além disso, é um dos maiores exportadores de carnes, incluindo frango e bovinos, além de outros insumos agrícolas voltados para a alimentação (MercoPress, 2024)

Brazil has become the global leader in the export of at least seven food commodities, following on a report distributed by BTG Pactual to its clients this week. According to the bank, Brazil has become the world's largest exporter of soybeans (56% globally), corn (31%), coffee (27%), sugar (44%), orange juice (76%), beef (24%), and chicken meat (33%). Additionally, it is the second-largest seller of two other commodities: ethanol and cotton.

O Brasil se tornou o líder global na exportação de pelo menos sete commodities alimentícias, conforme um relatório distribuído pelo BTG Pactual aos seus clientes nesta semana. De acordo com o banco, o Brasil se tornou o maior exportador mundial de soja (56% do total global), milho (31%), café (27%), açúcar (44%), suco de laranja (76%), carne bovina (24%) e carne de frango (33%). Além disso, é o segundo maior vendedor de duas outras *commodities*: etanol e algodão. **TRADUZIDO** – MercoPress, 2024.

Diante desse cenário, a alta demanda de exportação de alimentos, compõe-se em uma expansão da produção em áreas ocupadas oriundas da agricultura e agropecuária. Com a proporção da produtividade de alimentos, a tecnologia é imprescindível para aprimorar, otimizar e rentabilizar a produtividade do campo, como a maximização da utilização dos recursos naturais, por exemplo, e o menor consumo de água na irrigação ou insumos de adubação do solo (Ribeiro; Marinho; Espisona, 2020).

Como mencionado anteriormente, a análise e coleta de dados por meio das IAs tornam a gestão e otimização de recursos mais eficazes. Nesse contexto, a adoção dessas novas tecnologias possibilita o uso mais racional da água e dos insumos, resultando na redução de custos e no aumento da produtividade. Um exemplo disso é a irrigação de precisão, que permite aos agricultores ajustar a quantidade de água aplicada de acordo com as necessidades específicas das culturas, evitando desperdícios e garantindo que as plantas recebam a quantidade ideal de água (Neto *et al*, 2021).

Além disso, a utilização de insumos, como fertilizantes e pesticidas, pode ser otimizada por meio de técnicas de aplicação localizada, que garantem que esses

produtos sejam aplicados apenas nas áreas e nos momentos necessários, contribuindo para a redução de custos e impactos ambientais (Cosso; Mariosa, 2022).

Através da utilização de Big Data, um conjunto de dados coletados a partir de diversas fontes, como informações genéticas (DNA), imagens de satélites e dados provenientes de sensores, é possível superar desafios no processamento e análise dessas informações devido ao seu grande volume e complexidade. A tecnologia de Big Data permite otimizar e economizar recursos na agricultura, uma vez que oferece alta precisão na análise de dados, o que contribui significativamente para o aprimoramento da gestão da produção agrícola. Ao integrar essas informações em sistemas de Inteligência Artificial (IA), torna-se possível avaliar com precisão a quantidade necessária de insumos para atividades específicas, além de identificar possíveis causas de atrasos ou prejuízos na produção.

2.4 PREVISÃO CLIMÁTICA E ANÁLISE DE DADOS

Sabe-se que o clima desempenha um papel crucial no setor agropecuário. O autor Souza (Souza, 2021) discute como a previsão climática pode se configurar como uma ferramenta estratégica para a gestão agrícola, contribuindo para a otimização do planejamento das safras e do uso eficiente dos recursos. A previsão climática pode, assim, ser empregada como um instrumento para mitigar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola, além de fortalecer a resiliência do setor. Nesse contexto, a utilização de modelos climáticos preditivos pode trazer benefícios significativos aos agricultores, especialmente nas fases de plantio, irrigação e colheita.

Diante desse cenário, com as tecnologias de precisão, como sensores e sistemas automatizados, permitem que os gestores agrícolas obtenham informações detalhadas sobre o clima, o que, por sua vez, facilita a identificação de oportunidades e riscos no ambiente de negócios (Silva *et al*, 2017; Marinho, 2023).

Com a utilização do Big Data, algoritmos de Inteligência Artificial (IA) podem analisar dados climáticos históricos para identificar as datas ideais de plantio e prever o impacto da variabilidade climática no crescimento das culturas. Ao considerar fatores como temperatura, precipitação e radiação solar, esses modelos conseguem estimar a produtividade das culturas em diferentes cenários ambientais, auxiliando os

agricultores na mitigação de riscos e na maximização da produtividade (Chen *et al.*, 2023).

Modelos preditivos avançados, impulsionados por Inteligência Artificial (IA), estão sendo desenvolvidos para quantificar e prever os impactos das variáveis climáticas flutuantes na fenologia e na produtividade das culturas. Em 26 de janeiro de 2026, a empresa Nvidia lançou modelos de IA capazes de realizar previsões meteorológicas com extrema precisão e agilidade. O diretor de pesquisa, Mike Pritchard (Pritchard, 2025), afirma que essa inovação permitirá prever eventos como enchentes e furacões. Esse avanço tem o potencial de otimizar ainda mais as previsões climáticas no setor agrícola, visto que proporciona uma análise detalhada e minuciosa dos eventos meteorológicos, contribuindo para uma gestão mais eficaz das atividades agrícolas (CNN Brasil, 2026).

Dessa forma, verifica-se que a previsão climática, aliada à análise de dados, ao Big Data e à Inteligência Artificial, constitui uma ferramenta estratégica para o fortalecimento do setor agropecuário, uma vez que amplia a capacidade de planejamento, monitoramento e tomada de decisão nas diferentes etapas da produção agrícola. A integração entre dados climáticos históricos, sensores de precisão e modelos preditivos possibilita identificar riscos e oportunidades com maior antecedência, favorecendo decisões mais assertivas relacionadas ao plantio, à irrigação, ao manejo e à colheita.

Além disso, estudos recentes demonstram que as variáveis climáticas exercem influência direta sobre a produtividade das culturas, ao mesmo tempo em que evidenciam o potencial dos modelos de aprendizado de máquina para aprimorar a precisão das previsões e reduzir erros preditivos, contribuindo para a mitigação de perdas e para a otimização do uso de recursos (Hu *et al.*, 2024).

Nesse contexto, tais inovações tecnológicas consolidam-se como elementos essenciais para uma agricultura mais eficiente, sustentável e resiliente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

3 - DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA IA NO SETOR RURAL

Este capítulo discute os principais desafios e oportunidades relacionados à implementação da inteligência artificial no setor rural brasileiro. Serão analisados os obstáculos tecnológicos, como infraestrutura de conectividade e interoperabilidade, os custos elevados de implementação e a resistência sociocultural à adoção de novas tecnologias. Além disso, o capítulo apresenta as oportunidades trazidas pela inovação, incluindo maior eficiência na gestão das propriedades, inclusão digital de pequenos produtores e a promoção da sustentabilidade. Ao final, o leitor terá uma visão crítica sobre os fatores que podem impulsionar ou limitar a transformação digital no agronegócio.

3.1 DESAFIOS TECNOLÓGICOS

A implementação da Inteligência Artificial (IA) no setor rural, embora apresente elevado potencial de transformação, enfrenta diversos desafios tecnológicos que dificultam sua adoção plena e efetiva, especialmente no contexto brasileiro, marcado por significativas desigualdades estruturais. Tais desafios não se limitam à simples disponibilidade de tecnologias, abrangendo também aspectos como infraestrutura digital, conectividade, interoperabilidade entre sistemas e a qualidade dos dados utilizados pelos algoritmos. Para que a IA seja aplicada de maneira eficiente na gestão das propriedades rurais, é imprescindível a existência de uma base tecnológica adequada, a qual ainda se mostra insuficiente em diversas regiões do país.

Entre os principais entraves, destaca-se a precariedade da infraestrutura de conectividade no meio rural. O funcionamento eficaz de sistemas baseados em IA depende, em grande medida, do acesso contínuo à internet e da capacidade de transmissão de dados em tempo real, condições que ainda não são amplamente atendidas em várias áreas rurais brasileiras. Muitas propriedades, especialmente aquelas situadas fora dos principais polos agroindustriais, não dispõem de acesso à internet de qualidade, caracterizada por estabilidade e alta velocidade. Corroborando esse cenário, dados obtidos a partir de pesquisa realizada pelo site Speedtest (Speedtest, 2024) indicam que o Brasil ocupa apenas a 30ª posição no ranking

mundial de velocidade de internet, o que evidencia a limitação estrutural do país no que se refere à infraestrutura digital.

Nesse contexto, a ausência ou limitação da conectividade compromete diretamente o desempenho de tecnologias como sensores, drones, sistemas de monitoramento remoto e plataformas digitais que utilizam IA para análise de dados agrícolas. A falta de uma infraestrutura de telecomunicações robusta impede a comunicação eficiente entre dispositivos no campo e servidores em nuvem, restringindo o monitoramento em tempo real e dificultando a tomada de decisões ágeis e fundamentadas por parte dos produtores.

Dessa forma, a manutenção e a atualização da infraestrutura de *hardware* e *software* em ambientes rurais configuram um entrave adicional. Equipamentos dotados de IA, a exemplo de pulverizadores de precisão, são submetidos a condições ambientais severas, caracterizadas por intensa exposição a poeira, umidade e oscilações térmicas. Esse cenário impõe a necessidade de manutenções preventivas e calibrações de alta precisão, serviços que frequentemente esbarram na escassez de suporte técnico especializado nas adjacências das propriedades rurais.

Consoante o exposto por Zhang (Zhang *et al*, 2020), a inteligência artificial aplicada à agricultura de precisão encerra desafios técnicos iminentes às suas próprias aplicações, demandando do setor a transposição dessas barreiras operacionais para a consecução da automação.

A insuficiência da infraestrutura tecnológica no meio rural evidencia uma lacuna na efetivação dos objetivos constitucionais de promoção do desenvolvimento científico e tecnológico, conforme disposto no artigo 218 da Constituição Federal, o qual impõe ao Estado o dever de fomentar a inovação e o progresso científico como instrumentos de desenvolvimento nacional. Ademais, a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004), posteriormente atualizada pelo Marco Legal da Inovação (Lei nº 13.243/2016), estabelece diretrizes voltadas à integração entre pesquisa científica, setor produtivo e desenvolvimento tecnológico.

Não obstante a estrutura normativa existente, verifica-se que a atuação estatal ainda se mostra limitada e insuficiente para assegurar a efetiva difusão das inovações no meio rural, especialmente no que concerne à ampliação da infraestrutura digital e ao acesso equitativo às tecnologias no setor agropecuário.

Dessa forma, a superação dos desafios tecnológicos não depende apenas da aquisição de equipamentos modernos, mas da construção e investimentos em um

ecossistema digital integrado, capaz de suportar o tráfego contínuo de dados e garantir a operabilidade das máquinas no ambiente rural.

3.2 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO

A implementação da inteligência artificial no setor agrário envolve custos elevados, o que representa um dos principais entraves à sua ampla difusão entre os produtores rurais. A transição para modelos de agricultura de precisão e a adoção de sistemas baseados em IA exigem investimentos iniciais significativos em equipamentos, softwares, infraestrutura digital e capacitação técnica, impactando diretamente a viabilidade econômica da inovação.

Tal cenário revela-se ainda mais sensível quando considerado o contexto heterogêneo do meio rural brasileiro, no qual pequenos e médios produtores frequentemente não dispõem de capital suficiente para absorver os custos inerentes à modernização tecnológica. Nesse sentido, a incorporação dessas tecnologias tende a ocorrer de forma desigual, favorecendo produtores com maior capacidade financeira e potencializando assimetrias já existentes no setor agrícola.

Uma empresa especializada em drones profissionais, a Dà-Jiāng Innovations (DJI, 2025), lançou, em 2025, o modelo DJI Agras T100, considerado um dos mais avançados do mercado no âmbito das atividades agrícolas. O equipamento é voltado para operações intensivas, sendo capaz de realizar transporte de carga, bem como pulverização e dispersão de insumos com elevado grau de precisão, por meio da integração com o aplicativo DJI SmartFarm. Conforme a própria empresa o custo de aquisição do equipamento varia entre aproximadamente R\$ 214.000,00 e R\$ 265.000,00, a depender da configuração escolhida, do kit básico ao mais completo (DJI, 2025).

Dessa forma, evidencia-se que se trata de um investimento de alto valor, inacessível para grande parte dos produtores rurais, especialmente os de pequeno e médio porte. Tal realidade reforça a existência de uma barreira econômica significativa à adoção de tecnologias baseadas em inteligência artificial no campo, contribuindo para a ampliação das desigualdades tecnológicas no setor agropecuário e dificultando a democratização do acesso à inovação.

É imperioso notar que a capacitação dos produtores rurais, de modo especial aqueles à frente de pequenas propriedades, esbarra em dificuldades

significativas no que tange à adoção de tecnologias complexas, obstáculo impulsionado tanto pela falta de infraestrutura adequada quanto pelo custo elevado inerente a essas inovações. A modernização do campo não se restringe à aquisição pontual de maquinário inteligente; ela engloba a compra continuada de licenças de *softwares*, a contratação de mão de obra especializada para o manejo de dados e a manutenção de equipamentos sofisticados.

Nesse contexto, observa-se que muitos produtores rurais demonstram resistência à adoção dessas tecnologias, frequentemente fundamentada na percepção de elevada onerosidade e na complexidade de sua aplicação prática. Tal cenário, conforme apontam estudos sobre inovação no meio rural, contribui para a formação de um abismo tecnológico, no qual grandes produtores e conglomerados do agronegócio se beneficiam de maior capacidade de investimento, enquanto pequenos e médios agricultores enfrentam dificuldades para acompanhar o processo de modernização. Conforme destacam Klerkx, Jakku e Labarthe (2019), a adoção de tecnologias digitais na agricultura é profundamente influenciada por fatores socioeconômicos e estruturais, os quais tendem a favorecer produtores com maior acesso a recursos financeiros e conhecimento técnico, ampliando desigualdades no setor.

Sob a ótica do Direito Agrário, essa disparidade econômica na adoção de tecnologias de ponta tangencia a eficácia da política agrícola nacional. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 187, inciso I, estabelece que a política agrícola será planejada e executada com a participação efetiva do setor produtivo, levando em consideração, de forma especial, os instrumentos creditícios e fiscais. Como argumenta o autor Benedito Ferreira Marques (Marques, 2015) ausência de linhas de crédito específicas, subsidiadas pelo Estado e voltadas prioritariamente para a inserção tecnológica do pequeno e médio produtor, configura uma lacuna que pode comprometer a competitividade no mercado.

Outrossim, a limitação de acesso a linhas de crédito voltadas à inovação tecnológica mostra-se ainda mais relevante quando analisada à luz da realidade do campo brasileiro. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2023), o elevado custo das tecnologias digitais e a dificuldade de acesso a financiamento figuram entre os principais entraves à adoção da agricultura de precisão, especialmente por pequenos e médios produtores.

Portanto, conclui-se que o alto custo de implementação não representa apenas um entrave econômico-financeiro isolado, mas um fator sistêmico de exclusão digital e produtiva. A superação desse desafio clama por políticas públicas eficientes e incentivos estatais que fomentem o crédito rural direcionado à inovação tecnológica, garantindo que os benefícios da Inteligência Artificial não se tornem um privilégio de poucos, mas uma ferramenta acessível para o desenvolvimento agrário nacional.

3.3 RESISTÊNCIA À INOVAÇÃO

O setor agropecuário, historicamente alicerçado em práticas tradicionais e em conhecimentos empíricos transmitidos de geração em geração, encontra-se atualmente diante de uma ruptura paradigmática impulsionada pela revolução digital. Nesse contexto, tornam-se necessários avanços de natureza sociocultural, uma vez que a resistência à inovação por parte dos atores envolvidos na atividade rural configura um dos principais entraves à adoção de novas tecnologias, especialmente aquelas baseadas em inteligência artificial. Conforme destacam Klerkx, Jakku e Labarthe (2019), a adoção de inovações na agricultura é condicionada por fatores socioeconômicos, institucionais e culturais, não podendo ser compreendida apenas como uma questão de disposição individual do produtor.

Essa transição extrema de manejo manuais para uma agricultura tecnológica com máquinas, drones, softwares etc. gera dúvidas e um natural ceticismo nos agricultores. Partindo dessa ideia, Rotz (Rotz *et al*, 2019) apontam que a digitalização da agricultura pode gerar insegurança entre os produtores, sobretudo quando há ausência de conhecimento técnico suficiente para operar sistemas tecnológicos complexos. Além disso, estudos da EMBRAPA (2023) indicam que parte significativa dos produtores rurais demonstra resistência à adoção de tecnologias digitais, motivada principalmente pelo custo elevado e pela dificuldade de utilização dessas ferramentas.

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) (FAO, 2019), a adoção de tecnologias digitais no meio rural depende diretamente da capacitação dos produtores, sendo a educação tecnológica um elemento essencial para a inclusão produtiva e o desenvolvimento sustentável no campo.

Sob o prisma jurídico e institucional, a superação dessa barreira remete ao dever do Estado de promover a capacitação tecnológica e o desenvolvimento social. A Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), instituída pela Lei nº 12.188/2010, preceitua o desenvolvimento rural sustentável e a adoção de processos educativos que assegurem a apropriação de inovações tecnológicas. Cumpre ao Poder Público, em articulação com entidades de formação profissional rural (como o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR), efetivar programas de extensão que traduzam a complexidade da IA para a linguagem do campo, desmistificando sua usabilidade e demonstrando seus benefícios práticos e legais.

Destarte, conclui-se que a resistência à inovação no setor agrário não decorre de uma oposição deliberada ao progresso tecnológico, mas sim de uma genuína insegurança frente ao desconhecido e da evidente carência de letramento digital. A transição para uma agropecuária mediada pela Inteligência Artificial exige, portanto, mais do que a simples disponibilização de ferramentas no mercado, pressupõe uma política de Estado ativa, contínua e inclusiva.

Ao materializar as diretrizes da PNATER e fomentar a atuação conjunta com instituições de ensino e extensão rural, o Poder Público não apenas mitiga o ceticismo e a exclusão digital, mas também viabiliza o cumprimento de seu dever constitucional. É por intermédio da educação e da assistência técnica que o produtor rural adquire a segurança necessária para se apropriar das inovações, garantindo, em última análise, a modernização, a competitividade e a conformidade legal na gestão de sua propriedade.

CONCLUSÃO

A presente pesquisa evidenciou que a Inteligência Artificial (IA) possui um potencial transformador inegável para o setor agropecuário brasileiro, configurando-se não apenas como uma inovação mercadológica, mas como um instrumento essencial para a modernização da gestão e da regulação das propriedades rurais. Ao analisar o impacto dessas ferramentas, constatou-se que a transição para a agricultura de precisão, impulsionada pela automação e pela análise preditiva de dados, permite uma otimização sem precedentes no uso de insumos, na mitigação de riscos climáticos e no aumento da produtividade sustentável.

No âmbito jurídico e regulatório, respondendo ao problema de pesquisa levantado, a integração da IA demonstrou ser uma aliada promissora para superar gargalos históricos do Direito Agrário no Brasil, sem comprometer a função social da terra e a preservação ambiental. A tecnologia viabiliza um monitoramento rigoroso e em tempo real do cumprimento das normativas, como as diretrizes impostas pelo Código Florestal, conferindo maior transparência e segurança jurídica ao setor. Contudo, verificou-se que o ordenamento normativo brasileiro ainda se encontra em processo de adaptação. Questões sensíveis, como a proteção de informações regida pela Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e a responsabilidade civil por decisões automatizadas, demandam a formulação de marcos regulatórios mais específicos e seguros para a realidade do agronegócio.

Entretanto, a consolidação dessa realidade esbarra em entraves estruturais complexos que impedem a democratização do acesso à inovação no campo. Os desafios tecnológicos, materializados na precariedade da infraestrutura de conectividade em áreas remotas, aliados ao alto custo de implementação, criam um abismo que ameaça agravar as desigualdades já existentes, privilegiando grandes conglomerados em detrimento dos pequenos e médios produtores. Somado a isso, a resistência sociocultural e a carência de letramento digital no meio rural evidenciam que a introdução de tecnologias disruptivas requer, obrigatoriamente, a capacitação e a valorização do fator humano.

Conclui-se, portanto, que a adoção da Inteligência Artificial no agronegócio é um caminho irreversível e repleto de oportunidades. Contudo, a superação dos

obstáculos identificados exige uma postura ativa do Estado na formulação de políticas públicas inclusivas, como a criação de linhas de crédito subsidiadas e o fortalecimento de programas de extensão rural. Somente com infraestrutura adequada, incentivo financeiro e educação continuada será possível garantir uma gestão rural eficiente, sustentável e em plena conformidade legal, consolidando o Brasil não apenas como uma potência na exportação de *commodities*, mas como um modelo de governança fundiária, tecnológica e jurídica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. M. de; UNHA, M. A. de S. Inteligência artificial no agronegócio e os desafios para a proteção da propriedade intelectual. 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358938968>. Acesso em: 26 maio 2026.

BAZZI, C. L. et al. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 5, p. 952-964, 2013.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 26 maio 2026.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER). *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 12 jan. 2010.

BRASIL. Projeto de Lei nº 2.338/2023. Marco Regulatório da Inteligência Artificial no Brasil. *Câmara dos Deputados*, 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br>. Acesso em: 26 maio 2026.

BURANELLO, Renato. Direito do agronegócio. São Paulo: Saraiva, 2018.

CHIAVARI, Joana; LOPES, Cristina L.; ARAUJO, Julia N. de. Panorama dos direitos de propriedade no Brasil rural. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2021.

CNN BRASIL. Nvidia detalha modelos de IA para previsões meteorológicas. São Paulo, 26 jan. 2026. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br>. Acesso em: 26 maio 2026.

COHEN, J. et al. The role of artificial intelligence in environmental regulation and monitoring. *Environmental Law Review*, v. 45, n. 1, p. 90–105, 2018.

COSTA, J. S.; OLIVEIRA, P. M. de. Gestão no meio agrícola com o apoio da inteligência artificial. *Revista de Administração e Mercado*, v. 19, n. 3, p. 98–115, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br>. Acesso em: 26 mar. 2026.

DÜSTERHOFF, Maik. Explaining deep neural networks and beyond: a review of methods and applications. 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2003.07631>. Acesso em: 26 maio 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira. Brasília, 2023.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Digital technologies in agriculture and rural areas: status report. Roma, 2019.

FISCHER, Thomas et al. Artificial neural network and deep learning: fundamentals and theory. 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2408.16002>. Acesso em: 26 maio 2026.

GOLDSTEIN, A. et al. Applying machine learning on sensor data for irrigation recommendations. *Precision Agriculture*, v. 19, n. 3, p. 421–444, 2018.

GOLDMAN SACHS. The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth. New York: Goldman Sachs Global Investment Research, 2023.

GRINBLAT, G. L. et al. Deep learning for plant identification using vein morphological patterns. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 127, p. 418–424, 2016.

HAUG, S.; OSTERMANN, J. A crop/weed field image dataset. In: *EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION*. Cham: Springer, 2014.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Produtividade da agropecuária brasileira cresceu 400% entre 1975 e 2020. 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 26 maio 2026.

KLERKX, Laurens; JAKKU, Emma; LABARTHE, Pierre. A review of social science on digital agriculture. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 2019.

KAUFMAN, Dora. Desmistificando a Inteligência Artificial. São Paulo: Plural, 2022.

KUMAR, Sandeep; GUPTA, Rajesh. Review of deep learning. *Journal of Big Data*, v. 8, 2021. Disponível em: <https://journalofbigdata.springeropen.com>. Acesso em: 26 maio 2026.

LEITE, Marcelo. Terras sem dono somam 1/6 do território brasileiro. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 1 jul. 2019. Colunas. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/marceloleite/2019/07/terras-sem-dono-somam-16-do-territorio-brasileiro.shtml>. Acesso em: 26 maio 2026.

LEWIS, M.; TAYLOR, K.; BROWN, D. Challenges of AI adoption in agriculture. *Agricultural Systems*, v. 178, p. 53–62, 2021.

MACHADO, J. F. Inteligência artificial: desafios e oportunidades para Moçambique. Maputo: Editora Universitária, 2024. MARQUES, Benedito Ferreira. Direito Agrário Brasileiro. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

MERCO PRESS. Brazil becomes leading global food exporter. 2024. Disponível em: <https://en.mercopress.com>. Acesso em: 26 maio 2026.

NOGUEIRA, A. M. R. et al. Como usar a inteligência artificial na gestão de fazendas. *Revista AgroTech*, 2025.

PONTA AGRO. Inteligência artificial no campo: benefícios, desafios e oportunidades. 2025. Disponível em: <https://pontaagro.com>. Acesso em: 26 maio 2026.

REIS, F. D.; ALMEIDA, L. F. Direito robótico: responsabilidade civil e ética no uso de IA. São Paulo: Editora Jurídica, 2024.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos. In: *SIENPRO*, 2018.

ROTZ, Sarah et al. The politics of digital agricultural technologies. *Sociologia Ruralis*, v. 59, n. 2, 2019.

SILVA, J. T.; PEREIRA, M. F. Inteligência artificial no agro. 2024. Disponível em: <https://www.grupoconceito.com>. Acesso em: 26 maio 2026.

SOUSA, R. L.; LIMA, T. V. Desafios jurídicos e gestão de riscos na IA no agronegócio. *Rota Jurídica*, 2025.

SOUZA FILHO, Carlos Frederico Marés de. O Renascer dos Povos Indígenas para o Direito. Curitiba: Juruá, 2003.

SOUZA, R. A. Climate forecasting for agriculture. *Agricultural Systems*, v. 182, 2021.

SUSSKIND, Richard. Tomorrow's lawyers: an introduction to your future. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming: a review. *Agricultural Systems*, v. 153, p. 69–80, 2017.

ZHANG, H. et al. Artificial intelligence in precision agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 13, n. 5, p. 50–63, 2020.

