

Agronegócio 4.0: A Revolução Digital No Campo E Seus Desafios

Claudemir Bertuolo

Doutor

*Unirv - Universidade De Rio Verde
Fazenda Fontes Do Saber - Campus Universitário
Rio Verde/GO*

Leninne Guimarães Freitas

Doutora

*Unirv - Universidade De Rio Verde
Fazenda Fontes Do Saber - Campus Universitário
Rio Verde/GO*

Ivone Vieira Pereira

Doutora

*Unirv - Universidade De Rio Verde
Fazenda Fontes Do Saber - Campus Universitário
Rio Verde/GO*

Resumo:

O objetivo desta pesquisa foi analisar os impactos da digitalização sobre o agronegócio brasileiro, destacando seus benefícios, desafios e perspectivas para o desenvolvimento sustentável do setor. Para isso, utilizou-se uma revisão bibliográfica com levantamento e análise de artigos, dissertações, teses e documentos técnicos em bases nacionais e internacionais, como SciELO, Web of Science, Scopus e Google Acadêmico. Como resultado, constatou-se que o Agronegócio 4.0 representa uma transformação do setor agropecuário brasileiro, impulsionada pela adoção de tecnologias digitais avançadas como Internet das Coisas, Big Data, Inteligência Artificial, drones e sensores inteligentes, que permitem a digitalização e automação dos processos produtivos, aumentando a eficiência, sustentabilidade e competitividade do campo. A inovação tecnológica no agronegócio proporciona maior controle, previsibilidade e otimização dos recursos naturais, além de ampliar o acesso a mercados exigentes, contribuindo para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável. Entretanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta barreiras como a falta de conectividade em áreas rurais, altos custos, escassez de mão de obra qualificada, resistência cultural e desigualdades entre grandes e pequenos produtores, o que demanda políticas públicas inclusivas e investimentos em infraestrutura e capacitação. A consolidação do Agronegócio 4.0 depende de uma abordagem integrada entre governo, setor privado, instituições acadêmicas e produtores para garantir que essa revolução digital no campo promova um desenvolvimento sustentável, ético e equitativo para o Brasil.

Palavras-chave: Agronegócio; Revolução digital; Tecnologias.

Date of Submission: 27-05-2025

Date of Acceptance: 07-06-2025

I. Introdução

Nas últimas décadas, o setor agropecuário vem passando por profundas transformações impulsionadas pela adoção de tecnologias digitais, configurando o que se convencionou chamar de Agronegócio 4.0. Assim como a Indústria 4.0 trouxe a integração de tecnologias avançadas à manufatura, o Agronegócio 4.0 representa a incorporação de inovações como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial, automação, drones e sensores inteligentes ao ambiente rural. Essa nova etapa marca uma transição importante do modelo tradicional de produção para um sistema inteligente, conectado e altamente eficiente (Braga; Oliveira, 2018).

O conceito de Agricultura 4.0 está diretamente associado à digitalização de processos no campo, viabilizando a coleta e análise em tempo real de dados sobre clima, solo, produtividade, maquinário e até o comportamento animal. Com isso, o produtor rural passa a contar com informações precisas para tomada de decisão, otimizando o uso de recursos naturais e aumentando a produtividade de forma sustentável. Essa

transformação representa não apenas uma revolução tecnológica, mas também uma mudança de paradigma na forma de gerir a produção agrícola e pecuária (Costa, 2018).

Além de promover maior controle e previsibilidade, o uso de tecnologias digitais no campo contribui para reduzir perdas, melhorar a gestão de insumos e ampliar o controle sobre as etapas da cadeia produtiva. A integração entre sistemas de gestão e sensores permite, por exemplo, que um trator autônomo inicie a colheita de acordo com a maturação detectada pelas imagens de satélite, ou que a irrigação seja acionada automaticamente conforme a umidade do solo. São exemplos de como a conectividade está transformando o campo em um ambiente cada vez mais inteligente e interativo (Escher; Wikilson; Pereira, 2018).

No entanto, embora o Agronegócio 4.0 represente uma oportunidade sem precedentes para alavancar a produtividade e a competitividade do setor, sua adoção generalizada ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no contexto brasileiro. Barreiras como a falta de conectividade em áreas rurais, os altos custos de implementação, a carência de mão de obra qualificada e o baixo nível de alfabetização digital entre pequenos produtores dificultam a difusão equitativa dessas tecnologias (Cardoso; Nogueira, 2021).

Além dos desafios estruturais, há também resistências culturais à mudança, sobretudo em propriedades de pequeno e médio porte, onde predomina um modelo tradicional de gestão. A ausência de políticas públicas voltadas à democratização da tecnologia no campo, bem como de incentivos financeiros e fiscais para fomentar a inovação rural, agrava esse cenário. Assim, o risco de aprofundamento das desigualdades tecnológicas entre grandes e pequenos produtores se torna uma preocupação central no debate sobre a modernização agrícola (Fernandez, 2020).

Outro aspecto importante a ser considerado diz respeito à segurança da informação e à governança dos dados produzidos no campo. A digitalização das operações agrícolas implica na coleta massiva de dados sensíveis, cuja propriedade, uso e proteção ainda carecem de regulamentação clara e eficiente. Isso levanta questões éticas e jurídicas, sobretudo em relação à autonomia dos produtores sobre suas informações e à possibilidade de dependência tecnológica de grandes corporações do agronegócio e da tecnologia (Marsoli, 2023).

Apesar dos obstáculos, o avanço do Agronegócio 4.0 é irreversível e deve ser visto como uma estratégia nacional para promover o desenvolvimento sustentável, a competitividade internacional e a segurança alimentar. O Brasil, como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo, tem a oportunidade de liderar essa transformação, desde que enfrente com seriedade as barreiras existentes e promova uma agenda de inovação inclusiva, capaz de integrar todos os elos da cadeia produtiva (Oliveira et al., 2022).

Diante deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar os impactos da digitalização sobre o agronegócio brasileiro, com ênfase nos benefícios, nos desafios e nas perspectivas do Agronegócio 4.0, considerando os efeitos da adoção de tecnologias digitais na gestão da produção rural e no desenvolvimento sustentável do setor.

Para tanto, a presente pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, com o objetivo de reunir e analisar a produção científica atual sobre o tema. O levantamento de dados foi realizado em bases de referência nacional e internacional, tais como SciELO, Web of Science, Scopus, Google Acadêmico, entre outras plataformas acadêmicas. Foram selecionados artigos, dissertações, teses e documentos técnicos que abordam a digitalização no campo, os impactos das tecnologias emergentes no agronegócio, bem como os desafios e perspectivas do Agronegócio 4.0.

II. Desenvolvimento

Agronegócio: fundamentos e perspectivas históricas

O agronegócio tem desempenhado um papel central no desenvolvimento econômico do Brasil desde o período colonial, quando a economia nacional era essencialmente baseada na agricultura de exportação. Produtos como a cana-de-açúcar, o café, o algodão e, posteriormente, a soja foram fundamentais para a inserção do país no mercado internacional. Desde então, o setor evoluiu significativamente, acompanhando transformações sociais, políticas e tecnológicas, consolidando-se como um dos pilares da economia brasileira. Durante o século XX, especialmente a partir da década de 1970, o Brasil passou por uma profunda modernização do campo, marcada pela expansão das fronteiras agrícolas, mecanização da produção e uso intensivo de insumos químicos como fertilizantes e defensivos. Essa fase ficou conhecida como Revolução Verde, e foi responsável por ampliar drasticamente os índices de produtividade agrícola (Costa; Camelo, 2018).

Contudo, essa modernização não foi isenta de críticas, pois também trouxe consequências ambientais e sociais, como a concentração fundiária e o uso indiscriminado de agrotóxicos. Com o fortalecimento da agroindústria e da cadeia produtiva como um todo, consolidou-se o conceito de agronegócio, que vai além da produção no campo. Esse conceito engloba todos os agentes e processos envolvidos na cadeia agroalimentar, desde os fornecedores de insumos, máquinas e tecnologia, passando pelos produtores rurais, até os processadores, distribuidores e varejistas. O agronegócio, portanto, é um sistema complexo e articulado que envolve produção, transformação e comercialização (Castilho et al., 2016).

O termo "agronegócio" foi popularizado no Brasil a partir da década de 1990, influenciado pela literatura norte-americana, em especial pela obra de John Davis e Ray Goldberg, da Universidade de Harvard. Esses autores propuseram uma visão integrada da agricultura, em que a produção no campo é apenas uma parte de um sistema mais amplo, interligado por cadeias de suprimentos, serviços financeiros, logística e consumo. Essa abordagem passou a orientar políticas públicas, estratégias empresariais e estudos acadêmicos no país (Cardoso; Nogueira, 2021).

A partir dos anos 2000, o agronegócio brasileiro passou por uma fase de expansão acelerada, impulsionada pela valorização das commodities, pelo crescimento da demanda global por alimentos e pela ampliação do mercado interno. O Brasil se consolidou como um dos maiores exportadores mundiais de soja, milho, carne bovina e de frango, café e açúcar, exercendo papel de destaque no abastecimento alimentar global. Essa ascensão, entretanto, exigiu cada vez mais eficiência, controle de custos e capacidade de resposta às exigências internacionais. A complexidade crescente da cadeia produtiva também trouxe novos desafios de gestão, exigindo dos produtores maior controle sobre as variáveis que influenciam diretamente na produtividade e na qualidade dos produtos. A concorrência internacional, aliada às flutuações de mercado, tornou evidente a necessidade de profissionalização da gestão no campo, com foco em planejamento, análise de riscos e estratégias sustentáveis (Braga; Oliveira, 2018).

O ambiente rural passou a ser visto não apenas como um espaço de produção, mas como uma organização econômica complexa que precisa ser gerida com base em critérios empresariais. Nesse processo, o papel do Estado também se modificou. Ao longo das décadas, diversas políticas públicas foram criadas para apoiar o desenvolvimento do agronegócio, seja por meio de crédito rural, incentivos fiscais, pesquisa científica, extensão rural ou infraestrutura. Instituições como a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o SENAR (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural) desempenharam – e ainda desempenham – papel estratégico na disseminação de conhecimento técnico e inovação no campo (Costa, 2018).

A internacionalização do agronegócio brasileiro, sobretudo por meio das exportações, também impôs novas exigências relacionadas à rastreabilidade, controle sanitário, respeito às legislações ambientais e conformidade com normas técnicas. Para se manterem competitivas, as empresas do setor passaram a investir em certificações, auditorias e controles mais rigorosos, exigindo maior integração de informações e processos em toda a cadeia. Nesse cenário, o papel das tecnologias da informação e da comunicação (TICs) começou a ganhar espaço, ainda que de forma incipiente. Sistemas de gestão rural, softwares de controle de estoque e plataformas de previsão climática foram os primeiros indícios da digitalização no campo (Fernandez, 2020).

No entanto, essas soluções estavam, inicialmente, restritas às grandes propriedades e cooperativas mais estruturadas, evidenciando uma desigualdade no acesso às inovações. À medida que o avanço tecnológico se intensificou nos centros urbanos, com a popularização da internet, da computação em nuvem e dos dispositivos móveis, tornou-se inevitável o questionamento sobre como essas inovações poderiam ser adaptadas ao contexto rural. Esse movimento deu origem a uma nova fase do agronegócio: o início da era digital no campo, marcada pela tentativa de integrar tecnologias disruptivas à rotina das propriedades rurais (Gimenes; Gimenes, 2017).

A emergência do que hoje se denomina Agronegócio 4.0 está diretamente ligada a essa necessidade de transformação digital. Inspirado na Indústria 4.0, esse novo modelo de produção rural propõe a integração total de sistemas físicos e digitais, promovendo uma gestão conectada e baseada em dados. A ideia central é substituir a tomada de decisão empírica por uma abordagem analítica, fundamentada em informações em tempo real geradas por sensores, plataformas digitais e inteligência artificial (Fernandez, 2020).

Antes de se falar nas tecnologias em si, é preciso compreender que o Agronegócio 4.0 representa uma mudança de mentalidade. Ele exige que o produtor rural deixe de atuar como executor de tarefas isoladas e passe a adotar uma postura estratégica, alinhada às exigências do mercado global e às possibilidades oferecidas pela inovação. Isso envolve, inclusive, a formação de novos perfis profissionais no campo, com domínio de tecnologia, gestão e sustentabilidade. A mudança não acontece de forma homogênea em todo o território nacional. Enquanto regiões como o Centro-Oeste e partes do Sul do país apresentam alto nível de tecnificação e acesso à conectividade, outras áreas ainda enfrentam limitações significativas de infraestrutura, assistência técnica e acesso à informação. Essa desigualdade estrutural desafia a consolidação plena do Agronegócio 4.0 no Brasil e exige políticas públicas direcionadas à inclusão digital rural (Oliveira et al., 2022).

É importante destacar que o agronegócio contemporâneo opera em um ambiente altamente volátil, sujeito a flutuações de preço, instabilidades políticas, mudanças climáticas e pandemias globais. Nesse contexto, a capacidade de prever cenários, agir preventivamente e adaptar-se rapidamente se tornou um diferencial competitivo. O Agronegócio 4.0 surge como uma resposta a essa nova realidade, oferecendo ferramentas que ampliam a capacidade de planejamento, análise e resposta dos produtores (Sacomano et al., 2008).

Ao longo de sua evolução, o agronegócio deixou de ser visto apenas como setor primário e passou a ser reconhecido como um sistema complexo e multifacetado, capaz de gerar inovação, exportar tecnologia e articular-se com diversos segmentos da economia, como o setor financeiro, o comércio e os serviços. Essa característica torna o setor especialmente sensível às transformações tecnológicas e reforça a necessidade de adaptação contínua

às novas exigências. O papel da pesquisa científica e da inovação também se tornou cada vez mais relevante. Instituições públicas e privadas têm investido em soluções voltadas à produtividade, à sustentabilidade e à inclusão tecnológica no campo (Braga; Oliveira, 2018).

Os centros de pesquisa, universidades e startups têm se consolidado como protagonistas na geração de tecnologias adaptadas à realidade do campo brasileiro, fortalecendo o ecossistema de inovação agro. A transformação do agronegócio brasileiro ao longo das últimas décadas é resultado da combinação de esforços políticos, empresariais, tecnológicos e científicos. A integração desses elementos tornou possível que o país se posicionasse como um dos maiores players do setor agrícola global. No entanto, os desafios atuais exigem mais do que produtividade: exigem conectividade, inteligência de dados, sustentabilidade e responsabilidade socioambiental (Oliveira et al., 2022).

Impactos e benefícios do Agronegócio 4.0: produtividade, sustentabilidade e gestão inteligente

A incorporação das tecnologias digitais no setor agropecuário tem promovido uma verdadeira revolução nos indicadores de produtividade. A capacidade de monitoramento em tempo real, aliada à automação dos processos produtivos, permite que os produtores ajustem suas ações com maior precisão, reduzindo perdas e aumentando o rendimento das culturas. Com o uso de sensores e sistemas de apoio à decisão, é possível identificar falhas de plantio, controlar pragas precocemente e realizar intervenções localizadas, o que potencializa a eficiência de cada hectare cultivado (Schwab, 2016; Santos et al., 2016).

Outro impacto notável do Agronegócio 4.0 é a otimização do uso de insumos agrícolas. Ferramentas como drones e imagens de satélite permitem aplicar fertilizantes e defensivos apenas nas áreas que realmente necessitam, o que não só reduz os custos operacionais como também minimiza o impacto ambiental. Essa racionalização do uso de produtos químicos é fundamental para práticas de agricultura sustentável, cada vez mais exigidas por mercados consumidores e regulamentações internacionais. Além de promover a eficiência operacional, o uso de tecnologias digitais no campo contribui para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. O monitoramento da umidade do solo, por exemplo, possibilita a irrigação de precisão, evitando desperdício de água, um recurso cada vez mais escasso e estratégico (Braga; Oliveira, 2018).

Do mesmo modo, sensores climáticos e estações meteorológicas instaladas nas propriedades ajudam a prever eventos extremos, permitindo ações preventivas que preservam as lavouras e os rebanhos. A rastreabilidade da produção é outro benefício relevante proporcionado pela digitalização. Com softwares de gestão integrados, é possível registrar e acompanhar todas as etapas da produção, desde a origem da semente até a entrega do produto final. Isso confere mais transparência à cadeia produtiva, facilitando a certificação de produtos orgânicos, a conformidade com normas sanitárias e a construção de marcas com valor agregado, especialmente no mercado externo (Santos, 2016).

O controle sanitário de animais e culturas também foi aprimorado com o uso de tecnologias 4.0. Dispositivos eletrônicos, como chips e sensores de temperatura, são aplicados em bovinos para acompanhar sua saúde, alimentação e movimentação. Isso permite respostas rápidas em casos de surtos de doenças, contribuindo para a biossegurança e para a redução de perdas econômicas. No caso das lavouras, a detecção precoce de pragas e doenças evita a propagação e facilita o manejo mais eficaz. As tecnologias digitais também impactam a logística no agronegócio. Sistemas de monitoramento por GPS integrados aos veículos de transporte, aliados a softwares de gestão logística, permitem planejar rotas otimizadas, monitorar cargas e reduzir o tempo entre colheita e distribuição. Esse tipo de inovação é crucial para produtos perecíveis, como frutas e hortaliças, cuja qualidade depende diretamente da rapidez no escoamento (Braga; Oliveira, 2018).

Outro benefício importante é a capacidade de análise de dados em larga escala. Com o apoio de ferramentas de Big Data e inteligência artificial, os produtores podem analisar o desempenho das safras, comparar resultados entre talhões e antecipar tendências de produtividade. Esse conhecimento empírico, aliado à tecnologia, fortalece a tomada de decisão estratégica e orienta investimentos mais seguros e rentáveis. Além da produção em si, a gestão financeira das propriedades também foi beneficiada. Plataformas digitais permitem controlar custos, receitas, estoques e investimentos com maior precisão. Isso aumenta a transparência na administração, facilita o acesso a crédito rural e contribui para a profissionalização da gestão agrícola, especialmente entre médios e grandes produtores (Castilho et al., 2016).

A digitalização também favorece o planejamento de longo prazo. Com base em modelos preditivos, é possível estimar cenários futuros de produção, preços de mercado, disponibilidade de insumos e impacto climático. Isso permite ao produtor desenvolver estratégias de mitigação de riscos e ampliar sua resiliência frente a variáveis imprevisíveis, como oscilações cambiais, crises sanitárias ou alterações climáticas. Outro ganho significativo é o aumento da rentabilidade. A adoção de tecnologias tende a gerar retorno sobre investimento quando aplicada com planejamento. Embora os custos iniciais sejam altos, os ganhos com produtividade, redução de perdas, eficiência logística e acesso a mercados mais exigentes compensam, a médio e longo prazo, os investimentos realizados (Santos, 2016).

A conectividade promovida pelo Agronegócio 4.0 também estimula o acesso a novas formas de comercialização. Plataformas de venda direta, marketplaces digitais e blockchain permitem que pequenos e médios produtores comercializem seus produtos sem intermediários, ampliando sua margem de lucro e fortalecendo redes locais e regionais de abastecimento. O fortalecimento da agricultura familiar é outro ponto positivo. Embora o acesso à tecnologia ainda seja desigual, diversas iniciativas públicas e privadas têm promovido a capacitação e o financiamento de pequenos produtores para que possam usufruir dos benefícios da digitalização. Isso contribui para a inclusão produtiva e reduz as desigualdades no campo. Além disso, a digitalização melhora a comunicação entre os diversos elos da cadeia produtiva (Fernandez, 2020).

A integração entre produtores, cooperativas, fornecedores de insumos e distribuidores gera mais transparência, previsibilidade e confiança nos processos. A troca de informações em tempo real favorece a cooperação e a eficiência sistêmica do agronegócio. O monitoramento ambiental contínuo promovido pelas tecnologias digitais é essencial para atender às demandas da agenda ESG (Environmental, Social and Governance). O uso de sensores ambientais e o controle de emissões permitem que propriedades rurais adotem práticas mais responsáveis, fortaleçam sua reputação institucional e atraiam investidores comprometidos com a sustentabilidade. As inovações também contribuem para o bem-estar dos trabalhadores no campo (Costa, 2018).

Com a automação de tarefas pesadas e repetitivas, reduz-se a exposição a riscos físicos e químicos, melhorando as condições de trabalho. Além disso, a digitalização abre espaço para novos perfis profissionais, exigindo qualificação técnica e valorizando o conhecimento. O Agronegócio 4.0 também tem incentivado a formação de ecossistemas de inovação no meio rural, com o surgimento de agtechs (startups do setor agro), incubadoras tecnológicas, polos de pesquisa aplicada e parcerias entre universidades, empresas e produtores. Esses ambientes favorecem a geração de soluções específicas para os desafios locais do campo brasileiro (Santos; Barros Ferreira; Ferreira, 2023).

Em termos de políticas públicas, o avanço tecnológico contribui para o aprimoramento da fiscalização, da extensão rural e da formulação de programas mais eficientes de apoio ao produtor. A coleta de dados em tempo real sobre produtividade, uso do solo e movimentações comerciais permite aos gestores públicos uma visão mais clara e estratégica do setor agropecuário. A adoção de tecnologias digitais tem ainda favorecido a internacionalização do agronegócio brasileiro (Silva, 2012).

Ao atender padrões internacionais de rastreabilidade, sustentabilidade e eficiência, os produtos nacionais ganham competitividade e confiança nos mercados externos. Isso é essencial para a manutenção do protagonismo do Brasil como um dos maiores exportadores de alimentos do mundo. Finalmente, é importante destacar que o Agronegócio 4.0 representa não apenas um conjunto de inovações tecnológicas, mas uma mudança cultural e organizacional profunda. A transição para esse novo modelo de gestão e produção exige comprometimento, capacitação e visão estratégica por parte dos produtores, empresas e instituições envolvidas na cadeia do agro (Santos; Barros Ferreira; Ferreira, 2023).

Desafios da transformação digital no campo: conectividade, capacitação e desigualdade tecnológica

Embora o Agronegócio 4.0 represente uma revolução na forma de produzir no campo, sua consolidação no Brasil esbarra em uma série de desafios estruturais, econômicos e sociais. Entre os principais entraves está a deficiência na infraestrutura de conectividade em áreas rurais, um fator que compromete diretamente o funcionamento das tecnologias digitais que dependem de transmissão de dados em tempo real. Sem acesso à internet de qualidade, sensores, drones, softwares e sistemas de gestão perdem parte significativa de seu potencial transformador (Cardoso; Nogueira, 2021).

O Brasil, apesar de ser um dos maiores exportadores agrícolas do mundo, ainda convive com realidades muito distintas entre o campo e a cidade. Dados do IBGE e da Anatel apontam que boa parte das áreas rurais brasileiras não possui cobertura adequada de internet, seja fixa ou móvel. Isso significa que muitas propriedades não têm acesso à rede ou operam com conexões instáveis, o que dificulta a adoção de ferramentas digitais que exigem atualização e sincronização contínua com servidores na nuvem (Santos; Barros Ferreira; Ferreira, 2023).

Além da conectividade, outro desafio crítico é o custo de aquisição e manutenção das tecnologias do Agronegócio 4.0. Equipamentos como sensores, drones, tratores autônomos, sistemas de gestão integrada e softwares analíticos possuem alto valor de mercado. Isso os torna inacessíveis para muitos pequenos e médios produtores, especialmente aqueles localizados em regiões mais remotas ou sem apoio técnico-estrutural. A ausência de linhas de crédito específicas e políticas públicas direcionadas à inovação agrava esse cenário. As disparidades no acesso à tecnologia refletem diretamente na concentração da inovação (Braga; Oliveira, 2018).

As grandes propriedades rurais, que dispõem de capital, infraestrutura e equipes técnicas, tendem a adotar com maior rapidez os recursos do Agronegócio 4.0. Em contrapartida, os pequenos produtores permanecem à margem da revolução digital, o que pode acentuar as desigualdades regionais e produtivas já existentes no campo brasileiro. A digitalização seletiva do agronegócio é, portanto, uma ameaça à inclusão social e econômica no setor. Outro entrave está relacionado à falta de capacitação técnica da mão de obra rural (Santos; Barros Ferreira; Ferreira, 2023).

O uso eficaz das tecnologias digitais exige habilidades específicas, como interpretação de dados, operação de equipamentos tecnológicos e conhecimentos básicos em informática. Muitos trabalhadores e produtores, entretanto, não têm formação adequada para lidar com essas ferramentas. Essa lacuna de conhecimento técnico impede que a tecnologia seja plenamente incorporada ao dia a dia das propriedades. As instituições de ensino técnico e extensão rural, que poderiam suprir essa lacuna, muitas vezes enfrentam desafios próprios, como falta de estrutura, de atualização curricular e de profissionais qualificados (Cardoso; Nogueira, 2021).

Além disso, há um descompasso entre o ritmo da inovação tecnológica e a capacidade de formação e difusão desse conhecimento no interior do país. A ausência de programas contínuos e territorialmente integrados de capacitação compromete a democratização da transformação digital no campo. A resistência cultural à inovação também deve ser considerada. Muitos produtores, especialmente os mais experientes ou aqueles com menor escolaridade, tendem a confiar em métodos tradicionais de cultivo e manejo, transmitidos entre gerações. A introdução de tecnologias disruptivas pode ser percebida como uma ameaça ao saber prático acumulado, gerando desconfiança, insegurança ou rejeição. Esse aspecto cultural precisa ser respeitado e mediado por estratégias de sensibilização e educação (Santos; Dias; Peixoto, 2024).

Outro obstáculo diz respeito à governança dos dados agrícolas. À medida que as tecnologias digitais ganham espaço no campo, cresce também a quantidade de dados gerados sobre a produção, o clima, o solo, o maquinário e até o comportamento dos animais. Esses dados, muitas vezes processados por grandes empresas de tecnologia ou do setor agroindustrial, levantam dúvidas sobre a propriedade, o controle e o uso dessas informações. Falta regulamentação clara no Brasil que garanta a proteção dos dados do produtor e evite a concentração informacional nas mãos de poucos grupos econômicos (Santos; Barros Ferreira; Ferreira, 2023).

O risco de dependência tecnológica também é uma preocupação legítima. Ao adotarem soluções desenvolvidas por empresas estrangeiras ou por grandes corporações, os produtores podem ficar reféns de plataformas proprietárias, cujos custos, atualizações e suporte técnico nem sempre estão sob seu controle. Isso compromete a autonomia tecnológica do setor e limita as possibilidades de adaptação das ferramentas às realidades locais. A complexidade das soluções digitais disponíveis no mercado é outro desafio. Muitos sistemas não são suficientemente intuitivos ou compatíveis com as necessidades específicas das propriedades rurais brasileiras, o que pode gerar frustração e abandono precoce das tecnologias (Costa; Camelo, 2018).

Além disso, a interoperabilidade entre diferentes plataformas e equipamentos ainda é limitada, dificultando a integração total dos processos produtivos. As políticas públicas voltadas para inovação no agronegócio ainda são tímidas e fragmentadas. Faltam programas nacionais robustos que incentivem a adoção das tecnologias digitais de forma articulada e inclusiva. A ausência de uma estratégia governamental clara e de longo prazo impede que o Brasil aproveite todo o seu potencial no cenário do Agronegócio 4.0 e compromete a competitividade futura do setor (Escher; Wikilson; Pereira, 2018).

A falta de incentivos fiscais e linhas de financiamento específicas para aquisição de tecnologias agrícolas também inibe a adesão de produtores de menor porte. A burocracia e a insegurança jurídica em torno dos financiamentos rurais, aliados à alta carga tributária, tornam o investimento em tecnologia ainda mais arriscado para quem não dispõe de capital próprio. Além disso, há uma dificuldade de articulação entre o setor privado, o Estado e os centros de pesquisa na construção de soluções acessíveis, escaláveis e adaptadas à realidade do campo brasileiro. A inovação, quando não se conecta com as necessidades e limitações locais, tende a se concentrar em nichos, deixando grande parte dos produtores à margem do desenvolvimento tecnológico (Escher; Wikilson; Pereira, 2018).

Outro aspecto que merece atenção é o desequilíbrio regional. As regiões Sul e Centro-Oeste concentram grande parte das propriedades tecnificadas, enquanto o Norte e o Nordeste ainda enfrentam carências estruturais básicas, como energia elétrica estável, estradas acessíveis e redes de escoamento. Esse contraste aprofunda a desigualdade produtiva e territorial no país, mesmo no setor que mais cresce economicamente. O acesso à energia elétrica de qualidade também é um requisito para a digitalização, mas que nem sempre está presente em áreas rurais (Castilho et al., 2016).

A oscilação ou a ausência de fornecimento compromete o funcionamento de servidores, sensores e equipamentos conectados, inviabilizando o uso contínuo das tecnologias. É preciso investir em soluções energéticas renováveis, como a solar e a eólica, adaptadas ao campo. As falhas de infraestrutura logística dificultam a instalação e a manutenção dos sistemas digitais, especialmente em áreas isoladas. O suporte técnico muitas vezes é inexistente ou concentrado em grandes centros urbanos, o que implica custos adicionais com deslocamento, atrasos e interrupções nos serviços. A ausência de redes regionais de suporte compromete a confiabilidade das tecnologias no meio rural (Cardoso; Nogueira, 2021).

A baixa participação das mulheres e dos jovens nas decisões tecnológicas do agronegócio também limita a diversidade de perspectivas e inovações. Grupos historicamente marginalizados no setor rural enfrentam dificuldades adicionais de acesso à formação, crédito e inclusão digital. Sem políticas de equidade, o Agronegócio 4.0 corre o risco de reproduzir desigualdades sociais já existentes. Por fim, é preciso considerar os impactos sociais

da substituição de trabalho humano por máquinas e sistemas automatizados. A automação, embora eleve a eficiência, pode gerar desemprego ou deslocamento de trabalhadores não qualificados. A transformação digital precisa, portanto, estar acompanhada de estratégias de requalificação profissional, fomento ao empreendedorismo rural e inclusão tecnológica (Cardoso; Nogueira, 2021).

III. Considerações Finais

A presente pesquisa teve como objetivo analisar os impactos da digitalização sobre o agronegócio brasileiro, com ênfase nos benefícios, nos desafios e nas perspectivas do Agronegócio 4.0. Ao longo do estudo, foi possível observar que o setor agropecuário nacional se encontra em um processo contínuo de transformação, impulsionado pela incorporação de tecnologias digitais avançadas que reconfiguram, em essência, as formas de produzir, gerenciar e comercializar bens agroindustriais. O Agronegócio 4.0 surge como uma resposta estratégica às crescentes exigências do mercado global, às demandas por sustentabilidade ambiental e à necessidade de elevar a competitividade do setor no cenário internacional.

A introdução de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, Big Data, drones, sensores inteligentes e sistemas de gestão integrada permitiu uma verdadeira revolução nos processos produtivos, proporcionando ganhos significativos de eficiência, rastreabilidade, controle de custos e precisão nas tomadas de decisão. Conforme evidenciado na revisão bibliográfica, os benefícios do Agronegócio 4.0 não se limitam à elevação da produtividade. Eles também se estendem à gestão sustentável dos recursos naturais, à melhoria da logística, à segurança alimentar e à ampliação do acesso a mercados mais exigentes.

A transformação digital proporciona maior controle e previsibilidade às operações agrícolas e pecuárias, fortalecendo a resiliência do setor frente a riscos climáticos, oscilações de mercado e crises sanitárias. Entretanto, o estudo também permitiu constatar que a implementação plena do Agronegócio 4.0 no Brasil ainda enfrenta diversos entraves estruturais e sociais. Entre os principais desafios estão a falta de conectividade em áreas rurais, os altos custos de aquisição e manutenção de tecnologias, a escassez de mão de obra qualificada e a concentração da inovação em grandes propriedades.

Além disso, questões relacionadas à governança dos dados, à dependência de fornecedores externos e à resistência cultural à inovação ainda limitam a difusão ampla das soluções digitais no campo. Observou-se, ainda, que o avanço da digitalização no setor agropecuário pode acentuar desigualdades regionais e produtivas, caso não sejam adotadas políticas públicas inclusivas que promovam o acesso de pequenos e médios produtores às tecnologias. A construção de um ambiente rural digital e inovador exige investimentos consistentes em infraestrutura, capacitação profissional, fomento à pesquisa aplicada e estímulo a ecossistemas locais de inovação.

A análise histórica permitiu compreender que o Agronegócio 4.0 não surgiu de forma abrupta, mas como um desdobramento de um longo processo de modernização da agricultura brasileira. Trata-se de uma nova etapa, marcada não apenas pelo uso de tecnologias de ponta, mas também pela necessidade de uma mudança cultural, organizacional e educacional nas dinâmicas do campo. O produtor rural passa a assumir um papel mais estratégico, exigindo competências em gestão, tecnologia e sustentabilidade. Dessa forma, conclui-se que o Agronegócio 4.0 apresenta um enorme potencial transformador para o setor agropecuário brasileiro.

No entanto, sua consolidação como modelo predominante de produção requer uma abordagem integrada e colaborativa, que envolva o poder público, o setor privado, as instituições de ensino e pesquisa, as cooperativas e os próprios produtores. O futuro do campo está diretamente ligado à sua capacidade de incorporar a inovação de forma crítica, ética e inclusiva.

Portanto, a digitalização do agronegócio deve ser compreendida como um processo multidimensional, que articula aspectos econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos. O sucesso dessa transformação dependerá da superação dos desafios apontados e da construção de políticas de inovação que considerem as realidades heterogêneas do campo brasileiro. Somente assim será possível garantir que o Agronegócio 4.0 não seja apenas uma revolução tecnológica, mas também um instrumento de desenvolvimento sustentável e equitativo para o Brasil.

Referências

- [1] BRAGA, Francisco Laercio Pereira; OLIVEIRA, Ana Claudia Sampaio De. A Influência Da Taxa De Câmbio E Renda Mundial Sobre As Exportações Brasileiras De Soja (2000-2015). *Revista De Economia E Sociologia Rural*, V. 56, P. 663-680, 2018.
- [2] CARDOSO, Heloisa Bagatin; NOGUEIRA, J. C. Perspectivas E Desafios Do Agronegócio Brasileiro. *AGRO: O Papel Do Agronegócio Brasileiro Nas Novas Relações Econômicas Mundiais*, 2021.
- [3] CASTILHO, Ricardo Et Al. Regiões Do Agronegócio, Novas Relações Campo-Cidade E Reestruturação Urbana. *Revista Da ANPEGE*, V. 12, N. 18, P. 265-288, 2016.
- [4] COSTA, Ana Carolina Ribeiro; CAMELO, Gerda Lúcia Pinheiro. A Inserção Do Potencial Exportador Ocioso No Mercado Internacional: Perspectivas E Desafios Na Geração De Trabalho E Renda. *Empíricabr-Revista Brasileira De Gestão Negócio E Tecnologia Da Informação*, V. 1, N. 1, P. 166-203, 2018.
- [5] COSTA, Lorena De Oliveira. *Agronegócio Brasileiro: História, Importância No Cenário Internacional E Perspectivas*. 2018.
- [6] ESCHER, Fabiano; WIKILSON, John; PEREIRA, Paulo. Causas E Implicações Dos Investimentos Chineses No Agronegócio Brasileiro. *CEBC. China: Direções Globais De Investimento*, P. 190-227, 2018.

- [7] FERNANDEZ, Andréa Ferraz De Arruda. Impactos Da Taxa De Câmbio, Preços Das Commodities E Renda Mundial Sobre As Exportações Do Agronegócio Brasileiro Entre 1997 E 2018. 2020. Tese De Doutorado. Universidade De São Paulo.
- [8] GIMENES, Régio Marcio Toesca; GIMENES, Fátima Maria Pegorini. Agronegócio Cooperativo: A Transição E Os Desafios Da Competitividade. Revista Cadernos De Economia, V. 11, N. 20, P. 45-72, 2017.
- [9] MARSOLI, G. F. AGRONEGÓCIO 4.0: COMO A TECNOLOGIA IMPACTA NA PRODUÇÃO DO CAMPO. Revista Eletrônica Ciência & Tecnologia Futura, 2023.
- [10] OLIVEIRA, V. L. C. De .; MARINHO, M. R.; OLIVEIRA, D. C. De .; PESTANA, M. S.; SILVA FILHO, S. S.; SPEROTTO, L. .; OBANA, F. . Study Of Agribusiness 4.0 – Technologies, Challenges And Benefits In Agribusiness. Research, Society And Development, [S. L.], V. 11, N. 13, P. E363111335379, 2022.
- [11] SACOMANO, J.B.; GONÇALVES, R.F.; SILVA, M.T.; BONILLA, S.H.; SATYRO, W.C. Indústria 4.0 Conceitos E Fundamentos. São Paulo: Editora Edgard Bluncher Ltda, 2008.
- [12] SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: Edipro, 2016.
- [13] SANTOS, Camila Dutra. Difusão Do Agronegócio E Reestruturação Urbano-Regional No Oeste Baiano. Geotextos, 2016.
- [14] SANTOS, Erika Ap. Garefa Dos; BARROS FERREIRA, Gilmar; FERREIRA, Mariela. AGRICULTURA 4.0: Estudo De Caso Sobre A Eficiência Da Indústria 4.0 Aplicada Ao Agronegócio . Ciência & Tecnologia, [S. L.], V. 15, N. 1, P. E1517, 2023.
- [15] SANTOS, I. M. G. L.; DIAS, E. M.; PEIXOTO, A. S. B. Elementos Chave Para Um Processo De Difusão De Tecnologias 4.0 No Agronegócio: Um Estudo De Caso Com Projetos Envolvendo Produtores Rurais. Revista De Gestão E Secretariado, [S. L.], V. 15, N. 2, P. E3531, 2024.
- [16] SILVA, Devanildo Braz. Sustentabilidade No Agronegócio: Dimensões Econômica, Social E Ambiental. Comunicação & Mercado, V. 1, N. 3, P. 23, 2012.
- [17] SANTOS, Leandro Pereira Et Al. Agronegócio Brasileiro No Comércio Internacional. Revista De Ciências Agrárias, V. 39, N. 1, P. 54-69, 2016.