

Aplicação prática relacionada a Agricultura 4.0.

João Paulo de Souza & Raul Moreno Pereira

I. INTRODUÇÃO

A Agricultura 4.0 representa uma revolução no setor agropecuário, marcada pela interação de tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, conectividade avançada (5G/6G) e *Blockchain*. Diferente das fases anteriores de modernização agrícola, que se concentram em mecanização e uso intensivo de insumos, essa nova etapa baseia-se na coleta massiva de dados, no monitoramento em tempo real e em análises inteligentes para orientar a tomada de decisão. Trata-se de um paradigma que transforma a produção agrícola em um sistema cada vez mais digitalizado, sustentável e resiliente, conectando máquinas, sensores, drones e sistemas de gestão em uma rede inteligente de alta eficiência.

A relevância desse tema é incontestável diante dos desafios contemporâneos da agricultura. O crescimento populacional mundial, que deve alcançar cerca de 10 bilhões de pessoas até 2050, exige um aumento expressivo da produção de alimentos, ao mesmo tempo em que pressões ambientais e a escassez de recursos naturais limitam a expansão das áreas cultiváveis [1]. Nesse contexto, a Agricultura 4.0 surge como alternativa estratégica para intensificar a produção de forma sustentável, reduzindo desperdícios, otimizando insumos e promovendo práticas de manejo de precisão. Estudos recentes destacam que a digitalização do campo pode ainda contribuir para estabilizar preços e mitigar a inflação de alimentos, por meio da redução de custos produtivos e maior eficiência nas cadeias de suprimento [2].

As aplicações práticas da Agricultura 4.0 no Brasil são diversas. Pesquisas apontam que sensores conectados via IoT já vêm sendo usados em larga escala para monitorar condições de solo e clima, otimizando irrigação e aplicação de fertilizantes, com impactos diretos na redução de custos e no aumento da produtividade [3]. Além disso, a Inteligência Artificial tem sido aplicada em técnicas de *deep learning* para prever rendimentos de safras, diagnosticar doenças e detectar estresse hídrico, ampliando a precisão e a sustentabilidade da produção agrícola [4]. Tecnologias como drones equipados com IA também já se mostram eficazes no monitoramento aéreo de lavouras, permitindo intervenções rápidas e direcionadas, com menor uso de defensivos químicos e menor impacto ambiental [5].

Outro eixo relevante está relacionado à rastreabilidade e segurança alimentar. O uso de *Blockchain* em cadeias produtivas tem se mostrado promissor para assegurar a autenticidade e qualidade dos produtos. Um exemplo prático é o estudo brasileiro que aplicou Blockchain na cadeia do mel, possibilitando transparência, prevenção de fraudes e maior confiança do consumidor [6]. Esse aspecto é fundamental para atender mercados internacionais cada vez mais exigentes em relação à origem e

sustentabilidade dos alimentos.

Apesar das oportunidades, ainda existem desafios significativos. Pesquisas apontam que a falta de conectividade em áreas rurais é um dos maiores entraves para a adoção plena da Agricultura 4.0 no Brasil [7]. Além disso, os custos de implementação das tecnologias, a desigualdade no acesso a crédito e a carência de capacitação técnica entre pequenos produtores dificultam uma adoção mais equitativa [8]. Esses obstáculos evidenciam a necessidade de políticas públicas voltadas para inclusão digital no campo, investimentos em infraestrutura e programas de qualificação profissional.

Assim, a escolha da Agricultura 4.0 como objeto de estudo se justifica não apenas pela sua relevância tecnológica e econômica, mas também pelo seu papel estratégico frente às mudanças climáticas, à demanda crescente por alimentos e à necessidade de modelos produtivos mais sustentáveis. Com base em evidências recentes da literatura científica, é possível compreender que a digitalização do campo não é uma tendência futura, mas uma realidade em transformação, que moldará de forma decisiva a agricultura brasileira e mundial nas próximas décadas.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Agricultura 4.0 constitui-se em um paradigma emergente que representa a convergência entre tecnologias digitais avançadas e práticas agrícolas, resultando em sistemas produtivos mais eficientes, inteligentes e sustentáveis. Esse novo modelo não se restringe à simples automação de tarefas, mas caracteriza-se pela digitalização integral dos processos produtivos, envolvendo monitoramento contínuo, análise em tempo real e integração de diferentes camadas tecnológicas, como IoT, IA, *Big Data*, conectividade 5G/6G, drones agrícolas e *Blockchain*. Dessa forma, a fundamentação teórica desta pesquisa se dedica à exposição e análise crítica dos principais conceitos e ferramentas que sustentam a Agricultura 4.0, com base em evidências científicas e relatos de casos aplicados.

Um dos pilares centrais da Agricultura 4.0 é a agricultura de precisão, definida como o manejo específico de áreas agrícolas com base na variabilidade espacial e temporal das lavouras. Por meio da utilização de sensores, sistemas de posicionamento global (GPS, do inglês *Global Positioning System*) e imagens georreferenciadas, torna-se possível identificar diferenças intratalhão e aplicar insumos agrícolas de forma localizada. Tal prática resulta em maior eficiência no uso de fertilizantes, defensivos e água, além de reduzir impactos ambientais e aumentar a rentabilidade. Conforme estudo publicado na Revista Ciência Agronômica [7], a adoção da agricultura de precisão permite a conciliação entre produtividade e sustentabilidade, promovendo um uso mais racional dos recursos naturais e atendendo a demandas ambientais crescentes.



Fig. 1. Utilização de técnicas de agricultura de precisão em fazendas [9].

Complementar a essa prática, o uso de veículos aéreos não tripulados (UAVs, do inglês *Unmanned Aerial Vehicle*), ou drones agrícolas, tem se consolidado como uma das inovações mais representativas da Agricultura 4.0. Esses dispositivos, equipados com sensores multiespectrais, câmeras térmicas e algoritmos embarcados, possibilitam o mapeamento aéreo de alta resolução, o monitoramento de índices de vegetação e a identificação precoce de falhas de cultivo, pragas ou doenças. Além disso, alguns modelos já permitem a aplicação localizada de defensivos ou fertilizantes, minimizando desperdícios e reduzindo os riscos à saúde humana e ao ambiente. Pesquisas recentes ressaltam que a integração de drones com sistemas de inteligência artificial amplia significamente seu potencial, pois algoritmos de visão computacional conseguem interpretar imagens aéreas em tempo real, gerando diagnósticos precisos e recomendações de manejo quase imediatas [5].

Outro componente estruturante é a Internet das Coisas, que se refere à rede de dispositivos interconectados capazes de coletar, processar e transmitir dados de forma autônoma. No contexto agrícola, sensores de IoT são instalados em solo, plantações, máquinas e sistemas de irrigação, monitorando variáveis como umidade, pH, temperatura, radiação solar e teor de nutrientes. Esses dados, transmitidos para plataformas centralizadas, subsidiam a tomada de decisões baseada em evidências. Uma revisão sistemática publicada por [3] indica que o IoT aplicada ao setor agrícola contribui para a redução de custos operacionais, melhora a eficiência no uso de insumos e possibilita a gestão integrada da propriedade rural. No entanto, essa mesma revisão aponta como principais limitações a ausência de conectividade em regiões remotas e os custos de implantação das soluções tecnológicas.

O tratamento e a análise de tais dados em larga escala são viabilizados pelo *Big Data*, que se refere ao processamento de grandes volumes de informações caracterizadas por alta variedade e velocidade de geração. No setor agrícola, o *Big Data* possibilita a identificação de padrões complexos e a realização de análises preditivas que orientam desde a previsão de safras até a modelagem de impactos de eventos climáticos extremos. Quando integrado a técnicas de Inteligência Artificial, o potencial analítico é ampliado. Algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) e redes neurais profundas (*deep learning*) têm sido utilizados para classificar imagens obtidas por drones e satélites, diagnosticar doenças em plantas, prever demandas de irrigação e até sugerir práticas de cultivo mais eficientes [4].

Esses avanços, ao mesmo tempo em que aumentam a produtividade, também fortalecem a sustentabilidade, pois permitem o manejo mais criterioso dos recursos naturais.

No que tange à conectividade, tecnologias como o 5G e pesquisas em 6G desempenham papel estratégico ao oferecer infraestrutura de transmissão de dados em tempo real, com baixa latência e maior capacidade de cobertura. Essas características são fundamentais para a operacionalização de sistemas autônomos, como tratores e colheitadeiras robotizadas, bem como para a integração de milhares de dispositivos IoT em áreas agrícolas extensas. De acordo com relatório da *Food and Agriculture Organization* [10], a conectividade rural representa um dos maiores desafios e, ao mesmo tempo, uma das condições essenciais para democratizar o acesso às tecnologias digitais, especialmente em países com dimensões continentais como o Brasil.

Por fim, a tecnologia *Blockchain* se apresenta como um mecanismo inovador de rastreabilidade e segurança alimentar. Ao registrar transações de forma descentralizada e imutável, garante transparência e confiabilidade às cadeias produtivas, permitindo acompanhar todo o ciclo do produto, desde a produção até o consumidor final. No Brasil, um estudo de caso na cadeia produtiva do mel demonstrou a aplicabilidade dessa tecnologia, assegurando autenticidade, prevenção de fraudes e maior competitividade em mercados internacionais exigentes [6]. Esse tipo de solução responde à crescente demanda por alimentos rastreáveis e sustentáveis, além de agregar valor aos produtos de origem agrícola. A figura 2 ilustra as etapas gerais de um processo *Blockchain*.

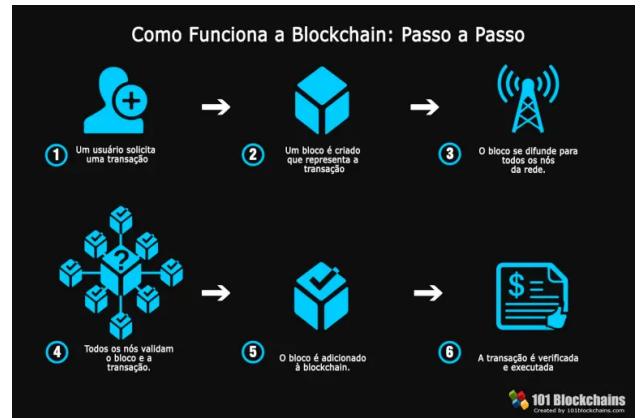


Fig. 2. Etapas da tecnologia Blockchain [11].

Dessa maneira, observa-se qua a Agricultura 4.0 é sustentada por um ecossistema tecnológico integrado, no qual práticas de agricultura de precisão, uso de drones, IoT, *Big Data*, IA, conectividade e *Blockchain* se complementam. Esses elementos quando aplicados de forma articulada, têm o potencial de transformar radicalmente a produção agrícola, conferindo maior eficiência, sustentabilidade e competitividade global. Contudo, a plena materialização desse potencial depende de investimentos estruturais, capacitação técnica e políticas públicas que viabilizem a inclusão digital no campo, especialmente entre pequenos e médios produtores.

III. EXEMPLOS PRÁTICOS

O agronegócio brasileiro já vem aplicando a agricultura 4.0 em diversos segmentos, graças à sua capacidade produtiva e sustentabilidade. Já estão sendo implementados sensores IoT para monitoramento, como sensores de umidade do solo em tempo real, em fazendas no Mato Grosso. Estes são utilizados por sistemas de irrigação, distribuindo a água de forma mais eficiente, o que acabou trazendo uma economia hídrica e energética considerável [12].

Outras soluções como o uso de algoritmos de big data também estão sendo utilizados, cruzando dados meteorológicos e de colheita, gerando previsões mais confiáveis sobre as épocas ideais de cultivo para maximizar a produção.

No vale do São Francisco, são usados drones equipados com câmeras com tecnologia multiespectral, que identificam casos de estresse hídrico e auxiliam na identificação de falhas de polinização em plantações diversas como de uva e manga. Isso auxilia os produtores na aplicação eficiente de fertilizantes e defensivos agrícolas, o que leva a um aumento na produtividade e diminuição do impacto ambiental [13].

Estão também sendo implementadas soluções baseadas em Inteligência Artificial, que auxiliam no monitoramento do comportamento dos animais. Um exemplo são os dispositivos que prendem aos animais, com a função de coletar dados sobre movimentação, ruminação e alimentação. Informações estas utilizadas pelos modelos para identificar padrões que possam ajudar a revelar problemas de saúde nos animais, auxiliando no tratamento rápido e eficiente [14].

Já no cultivo de café, plataformas de Blockchain estão sendo usadas para rastrear todo o ciclo produtivo, desde a lavoura até a exportação. Essa rastreabilidade agrega valor ao produto, especialmente em mercados internacionais que exigem certificações de origem e sustentabilidade. No estado de Minas Gerais, cooperativas já adotam esse sistema para garantir transparência e evitar fraudes.

Sistemas de GPS e sensores de proximidade também estão sendo amplamente utilizados com o intuito de reduzir o consumo de combustível, otimizando as rotas de operação na plantação. Estas práticas reforçam a preocupação com a sustentabilidade, reduzindo também as emissões de CO₂. Estas implementações são apenas alguns exemplos e comprovam a aplicabilidade da agricultura 4.0, que na prática já está sendo implementada em escala nacional e auxiliando agricultores a maximizar a eficiência de suas plantações.

IV. DESAFIOS

No Brasil, a Agricultura 4.0 ainda enfrenta desafios que dificultam sua adoção plena, como a infraestrutura limitada que a zona rural oferece, que dificulta o acesso à internet e energia, tornando a implementação de soluções baseadas em IoT mais complicada [7]. Essas também possuem alto custo de implementação, o que dificulta sua utilização por agricultores pequenos e médios, sendo estes responsáveis por uma parte significativa da produção nacional.

Outro ponto é que as aplicações baseadas na indústria 4.0, precisa de certa capacitação técnica para que os produtores sejam capazes de interpretar os dados fornecidos e gerenciar as

aplicações, o que se torna difícil no cenário rural, onde muitos dos produtores menores tem pouco contato com essas tecnologias. A baixa acessibilidade dessas tecnologias pode acabar gerando mais disparidades regionais por concentrar essas tecnologias nas mãos de grandes agricultores [15].

Com a digitalização desses processos, também surgem preocupações relacionadas à segurança cibernética, que pode expor os processos de cultivo, dados, sensores e atuadores a possíveis vulnerabilidades cibernéticas e também manipulação de informações [16].

Esse é um dos principais desafios de se implementar a agricultura de precisão, que embora esteja evoluindo no cenário nacional, ainda tem um longo caminho a percorrer para que se torne uma opção acessível e confiável para produtores rurais.

V. CONCLUSÃO

A agricultura 4.0 se tornou um marco importante para o setor agropecuário, por realizar a automação e digitalização de processos por meio de dispositivos IoT, que então são utilizados em conjunto com análise de dados e inteligência artificial, que criam soluções eficazes para solucionar problemas enfrentados pela agricultura nas últimas décadas como a pressão por sustentabilidade e a crescente demanda por alimentos.

Os casos de sucesso recentes no Brasil, demonstram impactos positivos que o uso dessas tecnologias tem trazido à agricultura, melhorando produtividade, reduzindo custos e desperdícios. Também é importante reforçar que desafios ainda precisam ser superados para que ela possa se consolidar. Conclusivamente, pode-se dizer que a agricultura 4.0 não deve ser vista somente como uma tendência tecnológica, mas sim uma solução eficaz que deve ser ampliada e difundida para consolidar o agronegócio brasileiro não somente no cenário nacional mas também global.

REFERÊNCIAS

- [1] Decio Luiz Gazzoni. *Agronegócio 4.0*. Accessed on September 30, 2025. 2024. URL: https://www.agrolink.com.br/columnistas/coluna/agronegocio-4-0_490176.html.
- [2] Derick David Quintino, Jaqueline Severino da Costa e Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme. "Digital Agriculture and Food Inflation in Brazil: A Critical Assessment". Em: *World 6.3* (2025). ISSN: 2673-4060. DOI: 10.3390/world6030116. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4060/6/3/116>.
- [3] Amanda Machado Ferreira, Gabrielly Cardoso Nascimento e Leandro Colevati dos Santos. "Tecnologia da Internet das Coisas na Agricultura 4.0: Uma Revisão Sistemática". Em: *Advances in Global Innovation and Technology* 1.2 (jun. de 2023), pp. 50–57. DOI: 10.29327/2384439.1.2-5. URL: <https://revista.fatecjl.edu.br/index.php/git/article/view/36>.

- [4] José Guilherme Pandolfi, Adriano dos Reis Luente, Marcos Alberto Claudio Pandolfi, Marcus Rogério de Oliveira e Lucas Emanuel Felix. “APPLICATION OF DEEP LEARNING IN SUSTAINABLE AGRICULTURE: Agricultural Practices in the Brazilian Context”. Em: *Revista Interface Tecnológica* 21.2 (set. de 2025), pp. 63–73. DOI: 10.31510/infa.v21i2.2030. URL: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/2030>.
- [5] Bianca Balabenute e João de Lucca Filho. “AI AND DRONES IN AGRICULTURE : innovation and sustainability in agribusiness”. Em: *Revista Interface Tecnológica* 21.2 (set. de 2025), pp. 236–247. DOI: 10.31510/infa.v21i2.2101. URL: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/2101>.
- [6] Antonio Braga, Samuel Lima, Francisco Barbosa, Isac Bomfim e Danielo Gomes. “Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Mel com Blockchain”. Em: *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agroinformática*. Natal/RN: SBC, 2023, pp. 111–118. DOI: 10.5753/sbiagro.2023.26548. URL: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/26548>.
- [7] Gustavo Correa Lima, Fabrício Lira Figueiredo, Armando Eduardo Barbieri e Jorge Seki. “Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT”. Em: *Revista Ciência Agronômica* 51.spe (2020), e20207771. ISSN: 1806-6690. DOI: 10.5935/1806-6690.20200100. URL: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200100>.
- [8] Caroline Mendonça Nogueira Paiva, Derick David Quintino, Thacyo Bruno Custódio de Moraes, Elisa Guimarães Cozadi, Jaqueline Severino da Costa, Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme e José Roberto Soares Scolforo. “Pathways to Rural Sustainability: Opportunities and Challenges in the Creation of an Agrotechnological District in Ingaí City, Brazil”. Em: *Agriculture* 14.12 (2024). ISSN: 2077-0472. DOI: 10.3390/agriculture14122185. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/12/2185>.
- [9] Redação Aegro. *Agricultura de Precisão: Otimizando a Produção e a Sustentabilidade*. Accessed on October 1, 2025. 2025. URL: <https://aegro.com.br/blog/agricultura-de-precisao/>.
- [10] FAO. *The State of Food and Agriculture 2024*. Accessed on September 30, 2025. 2024. URL: <https://doi.org/10.4060/cd2616en>.
- [11] Lucas Lamounier. *O Guia Definitivo da Tecnologia Blockchain: Uma Revolução Para Mudar o Mundo*. Accessed on October 1, 2025. 2018. URL: <https://101blockchains.com/pt/tecnologia-blockchain-guia/>.
- [12] S. Silva, L. Pereira e A. Santos. “Uso de sensores IoT para otimização da irrigação em lavouras de soja no Mato Grosso”. Em: *Revista Brasileira de Agricultura de Precisão* 9.2 (2022), pp. 45–57.
- [13] M. Oliveira e R. Costa. “Aplicação de drones multiespectrais na fruticultura irrigada do Vale do São Francisco”. Em: *Journal of Agricultural Innovation* 15.1 (2021), pp. 101–115.
- [14] F. Almeida, P. Rodrigues e G. Souza. “Sistemas de inteligência artificial aplicados à pecuária de corte no Brasil: monitoramento animal e detecção de doenças”. Em: *Ciência Animal Brasileira* 23.4 (2022), pp. 87–99.
- [15] A. Fernandes e C. Rocha. “Capacitação técnica como barreira para a adoção da Agricultura 4.0 entre pequenos produtores”. Em: *Revista de Extensão Rural* 29.3 (2023), pp. 65–80.
- [16] Food e Agriculture Organization (FAO). *Cybersecurity in digital agriculture: Risks and strategies*. Rel. técn. Rome: FAO, 2021.