



Transformação digital na agricultura: Impactos da Internet das Coisas (IoT) na eficiência produtiva e sustentabilidade

 <https://doi.org/10.56238/levv15n38-102>

Telma Regina Stroparo

Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, Brasil

E-mail: telma@unicentro.br

RESUMO

A Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) está revolucionando a agricultura ao conectar sensores e dispositivos que monitoram e gerenciam condições de cultivo em tempo real. Este artigo investiga como a IoT aumenta a eficiência produtiva e a sustentabilidade, otimizando o uso de recursos como água e fertilizantes e promovendo práticas agrícolas precisas. Por meio de uma revisão integrativa de literatura, este estudo destaca os benefícios proporcionados pela IoT, evidenciando melhorias significativas na produtividade agrícola, bem como uma notável redução dos impactos ambientais. Adicionalmente, são discutidas as implicações econômicas e sociais da adoção dessas tecnologias, ressaltando como a IoT pode contribuir para a sustentabilidade a longo prazo e para a resiliência das práticas agrícolas frente às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Agricultura Inteligente, Sustentabilidade, Eficiência Produtiva.

1 INTRODUÇÃO

O artigo explora os impactos da IoT na eficiência produtiva e na sustentabilidade agrícola, destacando como a tecnologia está sendo utilizada para otimizar o uso de recursos, aumentar a produtividade e promover práticas agrícolas sustentáveis (Gardezi et al., 2024; Kumar et al., 2024; Shahab et al., 2024).

Agricultura inteligente é o conceito de fazer agricultura de forma inovadora, utilizando as tecnologias mais recentes para aumentar a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas. Por outro lado, o conceito de IoT aplicado à agricultura pode levar a uma gestão agrícola avançada, reduzindo o desperdício e aumentando a produção agrícola com impacto ambiental mínimo (Khanna; Kaur, 2019; Kumar et al., 2024). Com o aumento da demanda por alimentos e a necessidade de práticas agrícolas mais ecológicas, a IoT oferece soluções inovadoras que não apenas melhoram a eficiência operacional, mas também contribuem para a preservação ambiental e a resiliência dos sistemas agrícolas (Makarius et al., 2020; Shahab et al., 2024).

Busca-se, neste estudo, aplicações da IoT no campo, notadamente às relacionadas a práticas sustentáveis. Além disso, serão discutidas as implicações da adoção dessa tecnologia em termos de custos, infraestrutura e capacitação necessária para maximizar seu potencial.

A integração da IoT na agricultura representa uma oportunidade única para transformar o setor, tornando-o mais adaptável às mudanças climáticas e às pressões econômicas, ao mesmo tempo em que promove um desenvolvimento sustentável e contribui para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) à medida que contribui para a eficiência produtiva, para preservação ambiental e sustentabilidade (Pordeus; Stroparo, 2021)

2 METODOLOGIA / MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão integrativa de literatura, que permite a síntese de múltiplos estudos publicados para fornecer uma compreensão abrangente sobre a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura, com foco principalmente nos aspectos sustentáveis e eficiência produtiva.

As questões principais que guiam a revisão integrativa são: Quais são os aspectos sustentáveis da aplicação da IoT na agricultura? Qual a viabilidade econômica da utilização de dispositivos a IoT na agricultura? Para tanto, realizou-se buscas por artigos científicos nas bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect. Foram utilizados os seguintes descritores: "Internet of Things" OR "IoT"; "Agriculture" OR "Farming"; "Sustainability" OR "Sustainable"; "Efficiency" OR "Productivity". Utilizou-se ainda a seguinte composição: "Internet of Things" AND Agriculture AND Sustainability OR Efficiency.

Foram adotados os seguintes critérios: Foram incluídos artigos publicados em periódicos revisados por pares; estudos que abordam a aplicação da IoT na agricultura; publicações em inglês ou português; estudos atuais e/ou clássicos aqui entendidos aqueles com número significativo de citações acadêmicas para garantir a atualidade dos dados e textos relacionados a sustentabilidade e/ou eficiência produtiva. Exclui-se do portfólio artigos que não abordavam diretamente a sustentabilidade ou a eficiência produtiva, publicações duplicadas e estudos com metodologia insuficiente ou dados inconclusivos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A IoT é um novo paradigma que vem ganhando espaço rapidamente no cenário das modernas telecomunicações sem fio (Atzori; Iera; Morabito, 2010). A ideia básica deste conceito é a presença generalizada ao nosso redor de uma variedade de coisas ou objetos capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns. A IoT tem um grande potencial de impacto social, ambiental e econômico para a sua adaptação. Os conceitos de IoT foram adotados em uma variedade de domínios que vão desde Mobilidade, Rede Inteligente, Casas/Edifícios Inteligentes, Segurança Pública e Monitoramento Ambiental, Medicina e Saúde, Processamento Industrial, Agricultura e Criação e Vida Independente, são alguns deles (Khanna; Kaur, 2019).

Neste trabalho o foco são as aplicações na agricultura sustentável e, portanto, serão analisados a seguir artigos e resultados direcionados para a área. Parte-se da premissa que agricultura é uma fonte essencial de sobrevivência para as nações e também responsável por parte do crescimento econômico (Priya; Ramesh, 2020).

A utilização da IoT na agricultura inteligente é baseada no uso de diferentes tecnologias de automação, captura de dados, transmissão e processamento de dados e tomada de decisão. Uma das ferramentas de coleta e transmissão de dados mais comuns neste setor é a rede de sensores (Ait Issad; Aoudjit; Rodrigues, 2019; Makarius et al., 2020).

Dentre as aplicações da IoT, destacam-se os sensores que são implantados visando coletar vários tipos de dados (temperatura do solo, umidade do solo, umidade e verdor das folhas, radiação solar, direção do vento, nível de precipitação) em tempo real (Ait Issad; Aoudjit; Rodrigues, 2019; Gubbi et al., 2013; Shahab et al., 2024).

Busca-se a eficiência produtiva e sustentabilidade aqui compreendida como ações que propiciam a redução e/ou uso otimizado de recursos (água, energia, fertilizantes), a melhoria na eficiência produtiva (aumento de rendimento, otimização de processos); impactos ambientais positivos e práticas agrícolas sustentáveis.

A IoT facilita a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a rotação de culturas e a agricultura de precisão. Sensores e dispositivos IoT fornecem dados em tempo real que permitem aos

agricultores monitorar a saúde das plantas e do solo, promovendo intervenções mais ecológicas e evitando o uso excessivo de produtos químicos (Gubbi et al., 2013).

Os artigos analisados destacam a significativa transformação na agricultura proporcionada pela adoção da IoT. Pesquisa realizada por (Morchid et al., 2024) cita como exemplos de resultados positivos do IoT, para efeitos de agricultura sustentável, os sistemas de irrigação inteligente que mostram-se extremamente eficazes na redução do desperdício de água, otimizando os horários de rega e automatizando o processo com base em sensores de umidade e condições meteorológicas, permitindo o uso mais eficiente dos recursos hídricos, essencial para a sustentabilidade agrícola.

Outro ponto levantado por (Morchid et al., 2024) é o monitoramento preciso de culturas e solos, por meio de sensores que medem temperatura, pH e umidade, possibilitando uma tomada de decisão mais criteriosa para o manejo das culturas, prevenindo estresses hídricos e térmicos que podem comprometer a produtividade. Em estufas inteligentes, o controle automatizado de temperatura e umidade garantiu a manutenção de condições ambientais ideais, resultando em melhorias significativas na produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. Tais resultados também são apontados por (Shahab et al., 2024b; Stroparo et al., 2024; Stroparo et al., 2023)

No entanto, a adoção da IoT na agricultura também enfrenta desafios significativos como, por exemplo, os custos iniciais de implementação que são elevados, representando um obstáculo para pequenos produtores e impossibilitando totalmente seu uso. Apesar disso, a longo prazo, a eficiência operacional e a redução de desperdícios proporcionadas pela IoT podem levar a uma diminuição nos custos totais. (Khanna; Kaur, 2019; Morchid et al., 2024; Shahab et al., 2024).

A discussão econômica a respeito da adoção de tais tecnologias é imprescindível pois demandam de significativos aportes de recursos. Portanto, a decisão sobre quais tecnologias serão adotadas/adquiridas exige um planejamento contábil que englobe aspectos como ociosidade, utilização, aplicabilidade, assistência técnica, manutenção, obsolescência e vida útil, etc.

Dentro deste contexto, outro desafio crítico é a necessidade de uma infraestrutura robusta de conectividade, uma vez que muitas áreas rurais ainda possuem acesso precário à internet. Tratando especificamente da realidade brasileira, estudo publicado pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br) e realizado pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), revela que 81% da população brasileira com mais de 10 anos usou internet recentemente, destacando o aumento do acesso em áreas rurais. Entre 2019 e 2021, a conectividade rural subiu de 51% para 71%. O uso exclusivo de celulares para acessar a internet é prevalente, especialmente em áreas rurais (83%). A cobertura rural enfrenta desafios econômicos e geográficos, mas tecnologias sem fio e comunicação via satélite oferecem soluções promissoras. A competição no setor e novas tecnologias, como o 5G, são cruciais para melhorar os serviços e reduzir custos. (Cetic,

2023). Segundo a Secretaria Executiva da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), aproximadamente 67% das propriedades agrícolas do Brasil fazem uso de algum tipo de tecnologia.

Análises envolvendo custo-benefício (ACB) são frequentemente utilizadas para avaliar políticas públicas, notadamente para análise de projetos envolvendo recursos hídricos, a ACB consiste na análise da importância econômica e financeira de um determinado projeto, por meio da utilização de modelos quantitativos (Stroparo; Floriani, 2022). A integração de sustentabilidade e eficiência produtiva através da IoT não são apenas ambientalmente benéficas, mas também economicamente viáveis a longo prazo (Morchid et al., 2024; Shahab et al., 2024)

Após as análises de viabilidade econômica e opções conscientes quanto às tecnologias adaptáveis segundo as especificidades locais, outros aspectos precisam ser considerados como, por exemplo, a capacitação dos usuários. Desta forma, para maximizar o potencial dessas tecnologias, é fundamental investir em capacitação, garantindo que os agricultores estejam treinados para operar e manter os dispositivos IoT. A colaboração com instituições de pesquisa e empresas de tecnologia também é essencial para a transferência de conhecimento e habilidades, permitindo que os agricultores aproveitem ao máximo as vantagens da transformação digital na agricultura. (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Gubbi et al., 2013; Kumar et al., 2024; Morchid et al., 2024; Shahab et al., 2024)

A eficiência produtiva em agriculturas sustentáveis é alcançada por meio da integração de tecnologias IoT que permitem um monitoramento contínuo e detalhado das condições do solo, do clima e das culturas.

Como exemplo de tecnologias usadas tem-se os sensores de solo que medem parâmetros críticos como umidade, temperatura e níveis de nutrientes, fornecendo dados em tempo real que ajudam os agricultores a tomar decisões informadas sobre irrigação e fertilização. Neste viés, os sistemas de irrigação inteligente, baseados em dados de sensores e previsões meteorológicas também são exemplos de IoT que podem ajustar automaticamente os horários e volumes de água aplicados, reduzindo o desperdício e garantindo que as plantas recebam apenas a quantidade necessária de água. Isso não só economiza recursos hídricos, mas também melhora a saúde das plantas e a produtividade das colheitas (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Morchid et al., 2024).

No contexto da agricultura sustentável, a IoT tem sido utilizada para promover práticas agrícolas que respeitam os ecossistemas naturais e buscam a sustentabilidade a longo prazo. A agroecologia, por exemplo, pode se beneficiar sobremaneira com a utilização de ferramentas que promovam a salvaguarda da biodiversidade, o uso eficiente dos recursos e a sustentabilidade ecológica. Com a IoT, os agricultores agroecológicos podem monitorar a biodiversidade no campo, observar padrões de infestação de pragas e doenças, e aplicar tratamentos biológicos de maneira precisa e oportuna. Isso minimiza o uso de produtos químicos, preserva a fauna benéfica, promove a salvaguarda da biodiversidade e a autossuficiência econômica das pequenas glebas, além de contribuir para a

melhora da resiliência do agroecossistema (Bissadu; Sonko; Hossain, 2024; Fosso Wamba et al., 2024; Stroparo, 2023).

Desta forma, a IoT ao melhorar a eficiência e reduzir desperdícios, contribui para a viabilidade econômica das pequenas propriedades rurais, ao mesmo tempo em que minimiza o impacto ambiental. Para superar as barreiras de custos e assistência técnica especializada é essencial promover políticas públicas que incentivem a inclusão digital e ofereçam suporte financeiro e técnico aos agricultores.

Neste viés, a integração de tecnologias na agricultura é essencial para tornar a agricultura mais sustentável. A IoT é uma forma deecoinovação que permite a adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Por exemplo, o uso de drones equipados com sensores para monitoramento de culturas pode identificar áreas que necessitam de intervenção, permitindo aplicações direcionadas de fertilizantes. Isso reduz o uso excessivo de insumos químicos, protege os recursos naturais e melhora a qualidade do solo e da água (Gubbi et al., 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo identificar as aplicações da IoT no campo, notadamente às relacionadas a práticas sustentáveis bem como as implicações da adoção dessa tecnologia em termos de custos, infraestrutura e capacitação necessária para maximizar seu potencial.

Dentre os achados da pesquisa destacam-se a capacidade da IoT de conectar dispositivos e sistemas, possibilitando a coleta e troca de dados em tempo real, bem como avanços significativos na gestão de recursos e na tomada de decisões. Ademais, os resultados da pesquisa apontam, de forma recorrente, para a utilização de tecnologias como IoT sendo tratadas como potenciais para aumentar a produtividade, promover práticas agrícolas mais sustentáveis e contribuir para a autossuficiência econômica de pequenas propriedades rurais tidas como essenciais para atender à crescente demanda global por alimentos e a soberania alimentar das nações.

Neste viés, os resultados desta revisão integrativa destacam os benefícios significativos da IoT para a agricultura, tanto em termos de sustentabilidade quanto de eficiência produtiva. Drones e satélites equipados com sensores de IoT são exemplos de tecnologia usadas para mapear áreas de cultivo, identificar pragas e doenças em estágios iniciais, permitindo intervenções rápidas e eficazes.

Outro aspecto importante advindo com a análise realizada é o aspecto da sustentabilidade ambiental proporcionada pela IoT na agricultura. A precisão no uso de água e insumos agrícolas não só aumenta a produtividade, mas também minimiza o impacto ambiental. Portanto, a agricultura de precisão, viabilizada pela IoT, promove a conservação de recursos naturais, reduzindo a poluição e promovendo práticas agrícolas mais responsáveis.

Quanto aos aspectos limitantes e desafiadores citam-se a segurança dos dados e a privacidade das informações coletadas como preocupações centrais, exigindo a implementação de medidas



robustas para proteger contra ciberataques. Outros aspectos limitantes é a dificuldade de acesso à internet de boa qualidade no campo, os custos de implementação, a assistência técnica e a rápida obsolescência dos recursos.

Mesmo com aspectos limitantes a transformação digital na agricultura, por meio da IoT, representa uma evolução significativa com impactos profundos na eficiência produtiva e na sustentabilidade. Sugere-se que futuras pesquisas devem focar em estratégias para superar as barreiras de implementação e maximizar os benefícios da IoT na agricultura



REFERÊNCIAS

AIT ISSAD, H.; AOUDJIT, R.; RODRIGUES, J. J. P. C. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 511–525, 2019.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, [s. l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

BISSADU, K. D.; SONKO, S.; HOSSAIN, G. Society 5.0 enabled agriculture: Drivers, enabling technologies, architectures, opportunities, and challenges. *Information Processing in Agriculture*, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317324000234>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br). Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil. Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br). 2023. Disponível em: http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/tic_domicilios_2022.pdf

FOSSO WAMBA, S. *et al.* Artificial Intelligence Capability and Firm Performance: A Sustainable Development Perspective by the Mediating Role of Data-Driven Culture. *Information Systems Frontiers*, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10796-023-10460-z>.

GARDEZI, M. *et al.* The role of living labs in cultivating inclusive and responsible innovation in precision agriculture. *Agricultural Systems*, [s. l.], v. 216, p. 103908, 2024.

GUBBI, J. *et al.* Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, [s. l.], v. 29, n. 7, Including Special sections: Cyber-enabled Distributed Computing for Ubiquitous Cloud and Network Services & Cloud Computing and Scientific Applications — Big Data, Scalable Analytics, and Beyond, p. 1645–1660, 2013.

KHANNA, A.; KAUR, S. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, [s. l.], v. 157, p. 218–231, 2019.

KUMAR, V. *et al.* A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, [s. l.], v. 8, p. 100487, 2024a.

MAKARIUS, E. E. *et al.* Rising with the machines: A sociotechnical framework for bringing artificial intelligence into the organization. *Journal of Business Research*, [s. l.], v. 120, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.045>.

MORCHID, A. *et al.* Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 102509, 2024.

PORDEUS, A. O.; STROPARO, T. R. Significações da implantação de ações ecoinovadoras em empresas do ramo madeireiro da região Sul do Estado do Paraná. *Entrepreneurship*, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 56–62, 2021.

PRIYA, R.; RAMESH, D. ML based sustainable precision agriculture: A future generation perspective. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, [s. l.], v. 28, p. 100439, 2020.



SHAHAB, H. *et al.* IoT-based agriculture management techniques for sustainable farming: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, [s. l.], v. 220, p. 108851, 2024a.

STROPARO, T. R. et al. Inteligência artificial na gestão de custos: avanços, desafios e oportunidades. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 10, n. 6, p. 1446-1456, 2024.

STROPARO, T. R. et al. Objetivos De Desenvolvimento Sustentável (Ods), Environmental, Social And Governance (ESG) E Artificial Intelligence (AI): Tríplíce Abordagem Para A Sustentabilidade Corporativa. *Akrópolis-Revista de Ciências Humanas da UNIPAR*, v. 31, n. 2, p. 332-345, 2023.

STROPARO, T. R. Território, agroecologia e soberania alimentar: significações e repercussões sob a égide decolonial. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, [s. l.], v. 13, n. 39, p. 462–472, 2023.

STROPARO, T. R.; FLORIANI, N..Certificações Agroecológicas: Análise Custo-Benefício, Competitividade E Valor Agregado.. In: *Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Anais...Diamantina (MG) Online*. 2022.