

Desafios da agricultura contemporânea e a transformação digital: uma síntese teórica da literatura

Challenges of contemporary agriculture and digital transformation: a theoretical synthesis of the literature

Pâmella Rodrigues Silva Carrijo

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo (SP), Brasil

Mário Otávio Batalha

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo (SP), Brasil

Moacir Godinho Filho

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo (SP), Brasil

Lucas Rodrigues Deliberador

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, Mato Grosso do Sul (MS),
Brasil

GT4. Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: A agricultura contemporânea enfrenta desafios crescentes associados à escassez de recursos naturais, à variabilidade climática, às ineficiências produtivas e às pressões por sustentabilidade. Diante desse cenário, a transformação digital tem sido amplamente discutida na literatura como um caminho potencial para enfrentar tais desafios. Nesse contexto, este artigo apresenta uma síntese teórica dos principais desafios da agricultura identificados na literatura internacional, com base em uma Revisão Sistemática da Literatura. Os desafios são analisados de forma integrada, considerando aspectos produtivos, ambientais, econômicos e institucionais que afetam os sistemas agrícolas. A partir dessa análise, discute-se como a transformação digital é abordada na literatura como resposta conceitual a esses desafios, destacando suas funções esperadas na promoção da eficiência produtiva, na redução de desperdícios e no fortalecimento da sustentabilidade e da circularidade nos sistemas agrícolas. Os resultados contribuem para o debate teórico sobre agricultura digital, oferecendo subsídios para pesquisadores e formuladores de políticas públicas na compreensão dos desafios estruturais do setor e das possibilidades associadas à transformação digital.

Palavras-chave: agricultura contemporânea; desafios agrícolas; transformação digital; revisão sistemática da literatura; sustentabilidade.

Abstract: Contemporary agriculture faces increasing challenges related to the scarcity of natural resources, climate variability, productive inefficiencies, and growing pressures for sustainability. In this context, digital transformation has been widely discussed in the literature as a potential means of addressing such challenges. Accordingly, this article presents a theoretical synthesis of the main agricultural challenges identified in the international literature, based on a Systematic Literature Review. These challenges are analyzed in an integrated manner, considering productive, environmental, economic, and institutional aspects that affect agricultural systems. Based on this analysis, the study examines how digital transformation is conceptualized in the literature as a response to these challenges, highlighting its expected roles in promoting productive efficiency, reducing waste, and strengthening sustainability and circularity in agricultural systems. The results contribute to the theoretical debate on digital agriculture, offering insights for researchers and policymakers to understand the sector's structural challenges and the possibilities associated with digital transformation.

Keywords: contemporary agriculture; agricultural challenges; digital transformation; systematic literature review; sustainability.

1. Introdução

A agricultura ocupa uma posição central no desenvolvimento econômico e social do país. Ela é responsável, entre outros aspectos, por produzir alimentos, gerar renda e empregos. Além disso, destaca-se por sua robustez diante do uso intensivo de recursos naturais (Sott et al., 2020). No entanto, apesar de sua comprovada importância, o setor não está isento de desafios e tem enfrentado um conjunto crescente deles. Em sua maioria, são desafios estruturais associados, especialmente, ao aumento da demanda global por alimentos, à escassez hídrica, à variabilidade climática, à degradação ambiental, às ineficiências produtivas e às pressões por maior sustentabilidade (Almadani & Mostafa, 2021; Gackstetter et al., 2023; Sott et al., 2020). Esses desafios têm ampliado a complexidade dos sistemas agrícolas, exigindo abordagens capazes de conciliar produtividade, eficiência no uso de recursos e responsabilidade ambiental ao longo das cadeias produtivas (Latino et al., 2022).

Considerando este contexto, a transformação digital tem ganhado destaque como uma estratégia potencial para enfrentar parte desses desafios. A incorporação de tecnologias digitais voltadas ao monitoramento, à análise de dados e ao apoio à tomada de decisão tem sido associada à melhoria da eficiência produtiva, à redução da variabilidade operacional e ao uso mais racional de insumos (Bocean, 2024; Karunathilake et al., 2023; Latino et al., 2022). Estudos recentes sugerem que a digitalização pode contribuir não apenas para ganhos operacionais imediatos, mas também para o fortalecimento da resiliência dos sistemas agrícolas e para o avanço de práticas mais sustentáveis e circulares (Gebresenbet et al., 2023; Karunathilake et al., 2023; Kourtis et al., 2023).

Apesar do crescimento expressivo da literatura sobre agricultura digital, observa-se que os desafios enfrentados pelo setor agrícola são frequentemente abordados de forma fragmentada e dispersa nos estudos existentes. Muitos trabalhos abordam problemas específicos, como escassez de recursos, variabilidade climática ou ineficiências produtivas, sem oferecer uma visão integrada que permita compreender a natureza estrutural e inter-relacionada desses desafios (Bulut & Wu, 2024; Tsolakis, Aivazidou, et al., 2019; Tsolakis, Bechtsis, et al., 2019). Essa fragmentação dificulta a consolidação de um entendimento teórico mais abrangente sobre os principais gargalos da agricultura contemporânea e limita a tradução desse conhecimento em estratégias setoriais e políticas públicas mais eficazes.

Além disso, embora abordagens voltadas à eficiência produtiva e à sustentabilidade, como os princípios do *Lean Manufacturing* e da Economia Circular, sejam frequentemente mencionadas como relevantes para o contexto agrícola, sua articulação conceitual com os

desafios estruturais do setor ainda é incipiente na literatura (Lajoie-O'Malley et al., 2020; Silva et al., 2023). A ausência de sínteses teóricas que organizem e sistematizem esses desafios, considerando as diferentes dimensões do sistema agrícola, reforça a necessidade de estudos que avancem para além de análises pontuais.

Neste contexto, este artigo busca oferecer uma síntese teórica dos principais desafios da agricultura contemporânea, conforme identificados na literatura internacional, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Os desafios são analisados e organizados em diferentes dimensões, o que permite uma compreensão integrada das limitações que afetam os sistemas agrícolas. A partir dessa sistematização, discute-se o papel atribuído à transformação digital na literatura como resposta conceitual a esses desafios, destacando suas funções esperadas na promoção da eficiência produtiva, na redução de desperdícios e no fortalecimento da sustentabilidade e da circularidade no setor agrícola.

A contribuição deste trabalho reside na organização e na consolidação do conhecimento disperso sobre os desafios estruturais da agricultura, oferecendo uma base teórica que sustenta o debate sobre a transformação digital no setor. Ao enfatizar os desafios como elemento central de análise, o artigo fornece subsídios para pesquisadores, formuladores de políticas públicas e agentes do setor produtivo na compreensão das limitações atuais da agricultura e das diretrizes estratégicas apontadas pela literatura para sua superação.

2. Revisão da literatura

2.1. Desafios estruturais da agricultura contemporânea e a transformação digital

A agricultura apresenta características próprias que a tornam mais complexa de gestão em comparação com outros setores produtivos. A sazonalidade da produção, a perecibilidade dos produtos, a dependência de condições climáticas e a vulnerabilidade a pragas e doenças tornam o processo produtivo altamente sensível a variações externas (Bulut & Wu, 2024; Cesco et al., 2023; Sapkota et al., 2021). Além disso, falhas logísticas e limitações infraestruturais contribuem para perdas significativas ao longo das cadeias agroalimentares, especialmente nas etapas de armazenamento, transporte e comercialização (Arrubla-Hoyos et al., 2022; Quy et al., 2022; Sott et al., 2020).

No contexto brasileiro, embora o setor agrícola tenha alcançado protagonismo internacional impulsionado por políticas públicas, investimentos em pesquisa e adoção de inovações tecnológicas, persistem importantes assimetrias estruturais (Bolfe, 2018;

EMBRAPA, 2023). Pequenos e médios produtores, em particular, enfrentam restrições econômicas, técnicas e institucionais que limitam sua capacidade de resposta aos desafios produtivos, ampliando as desigualdades de produtividade e renda no meio rural (Batalha, 2021; Demir et al., 2024).

De forma geral, é importante mencionar que a agricultura contemporânea enfrenta um conjunto de desafios inter-relacionados que afetam sua eficiência produtiva, a sustentabilidade ambiental e a resiliência econômica. Tais desafios decorrem tanto de fatores estruturais do setor quanto de pressões externas associadas ao crescimento da demanda por alimentos, à intensificação do uso de recursos naturais e às mudanças climáticas (Bua et al., 2024; López-Morales et al., 2021; Morchid, El Alami, et al., 2024; Morchid, Muhammad Alblushi, et al., 2024). A literatura evidencia que tais desafios não se manifestam isoladamente, mas como um sistema complexo de limitações que afeta diferentes etapas das cadeias produtivas agrícolas. Destacam-se a escassez e a gestão ineficiente de recursos naturais, especialmente água e solo, a variabilidade climática, as perdas produtivas e pós-colheita, as ineficiências operacionais e as crescentes exigências de sustentabilidade e rastreabilidade (Bulut & Wu, 2024; Cesco et al., 2023; Sapkota et al., 2021). Esses fatores ampliam os riscos produtivos e econômicos, dificultando o planejamento da safra, a previsibilidade dos resultados e a estabilidade da renda agrícola, sobretudo em contextos marcados por alta incerteza ambiental e de mercado.

Além destes desafios citados, há também riscos inerentes à atividade agrícola, bem como desafios institucionais e estruturais que condicionam a capacidade do setor de responder às pressões contemporâneas. Barreiras relacionadas a custos, acesso a crédito, conectividade, qualificação da mão de obra e adequação das soluções às realidades locais dificultam a implementação de estratégias voltadas à melhoria da eficiência e da sustentabilidade (Atkočiūnienė & Papsiene, 2023; Blasch et al., 2022; Jellason et al., 2021; Silva et al., 2023). Esses são particularmente relevantes em países em desenvolvimento, onde limitações infraestruturais e desigualdades regionais ampliam a distância entre o potencial produtivo e o desempenho efetivo das atividades agrícolas (Demir et al., 2024). Logo, a ausência de abordagens integradas, capazes de considerar simultaneamente aspectos produtivos, ambientais, econômicos e institucionais, contribui para a persistência de gargalos estruturais no setor (Tsolakis, Aivazidou, et al., 2019).

Diante de tantos desafios, a transformação digital tem sido amplamente discutida na literatura como uma estratégia capaz de apoiar a gestão de alta complexidade dos sistemas agrícolas. Em síntese, a digitalização é apresentada teoricamente como um processo que

viabiliza novas formas de monitoramento, análise de dados e apoio à tomada de decisão, contribuindo para maior eficiência no uso de recursos, redução de incertezas e melhoria do desempenho produtivo (Bocean, 2024; Karunathilake et al., 2023; Latino et al., 2022). Estudos sugerem que a transformação digital pode desempenhar funções estratégicas no enfrentamento dos desafios agrícolas ao ampliar a capacidade de previsão, reduzir a variabilidade operacional e favorecer práticas mais sustentáveis e circulares (Gebresenbet et al., 2023; Kourtis et al., 2023). Contudo, a efetividade dessas abordagens depende de condições habilitadoras, como investimentos em infraestrutura, políticas públicas de incentivo, modelos de negócio acessíveis e ações de capacitação, especialmente em contextos de elevada heterogeneidade produtiva (Gokool et al., 2023; Ratshiedana et al., 2023).

A revisão da literatura evidencia que os desafios enfrentados pela agricultura moderna não podem ser compreendidos de forma dissociada das estratégias propostas para enfrentá-los. A transformação digital emerge como uma resposta recorrente no debate acadêmico, mas sua contribuição potencial está condicionada à compreensão prévia e sistematizada dos desafios estruturais que afetam o setor. Nesse sentido, a ausência de sínteses teóricas que organizem esses desafios de forma integrada limita tanto o avanço do debate conceitual quanto a formulação de políticas públicas e de estratégias setoriais mais eficazes.

A partir dessa perspectiva, este artigo concentra-se na sistematização dos principais desafios da agricultura identificados na literatura, discutindo o papel atribuído à transformação digital como resposta conceitual a esses desafios. Essa abordagem oferece uma base analítica para a compreensão das limitações atuais do setor agrícola e das diretrizes estratégicas apontadas pela literatura para sua superação, preparando o terreno para análises empíricas e aplicações futuras.

3. Metodologia

Este artigo adota como método a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), em função de sua capacidade de reduzir vieses e de produzir sínteses teóricas rigorosas e transparentes, por meio de procedimentos predefinidos e replicáveis (Denyer & Tranfield, 2009; Kitchenham & Charters, 2007; Tranfield et al., 2003). A RSL é particularmente adequada para organizar e consolidar conhecimentos dispersos na literatura, permitindo a identificação de padrões, lacunas e convergências em temas complexos, como os desafios estruturais da agricultura contemporânea (Briner & Denyer, 2012).

Seguindo as recomendações metodológicas de Kitchenham e Charters (2007) e de Tranfield, Denyer e Smart (2003), a RSL foi conduzida em três estágios principais: (i) planejamento da revisão, (ii) condução da busca e seleção dos estudos e (iii) documentação e síntese dos resultados. Cada um desses estágios pode ser observado em detalhes a seguir.

3.1. Estágio I – Planejamento da revisão

O planejamento da RSL iniciou-se com uma leitura exploratória da literatura sobre a agricultura contemporânea e a transformação digital, com o objetivo de identificar conceitos-chave e delimitar o escopo da investigação. Essa etapa preliminar, realizada nas bases *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo* e *Google Scholar*, teve caráter amplo e não aplicou critérios restritivos, sendo utilizada exclusivamente para subsidiar a formulação do protocolo de revisão. A revisão foi orientada pela seguinte questão de pesquisa: *Quais são os principais desafios da agricultura contemporânea identificados na literatura e como a transformação digital é abordada como resposta conceitual a esses desafios?*

Com base nessa questão, foi elaborado o protocolo de revisão, etapa fundamental para garantir rigor metodológico e reduzir vieses no processo de seleção dos estudos (Tranfield et al., 2003). O protocolo definiu as bases de dados, a estratégia de busca, os critérios de inclusão e exclusão e os procedimentos de triagem. A escolha das bases *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo* justifica-se por sua abrangência e complementaridade, sendo a *Scopus* reconhecida por seu amplo acervo de periódicos revisados por pares (Govindan & Hasanagic, 2018).

A estratégia de busca foi estruturada para captar estudos que abordassem a agricultura em articulação com desafios produtivos, ambientais e institucionais, considerando a transformação digital como elemento contextual. A *string* de busca utilizada é apresentada no Quadro 1. Vale notar que, embora a *string* de busca inclua termos relacionados à digitalização, a análise concentrou-se especificamente na identificação e sistematização dos desafios agrícolas discutidos nesses estudos.

Quadro 1 – Expressão de busca da RSL

Expressão de busca
TITLE-ABS-KEY ("agricultural" OR "agri*" OR "agro 4.0") AND TITLE-ABS-KEY ("digital solutions" OR "digital technologies" OR "digital innovations" OR "digital tools" OR "digital systems" OR "digital platforms" OR "digital applications" OR "technological solutions" OR "digital devices" OR "digital infrastructure" OR "digital transformation" OR "technology adoption" OR "smart agriculture" OR "connected agriculture" OR "digital management" OR "digital monitoring") AND TITLE-ABS-KEY ("sustainability" OR "environment" OR "ecology" OR "conservation" OR "sustainable development" OR "sustainable practices" OR "environmental responsibility" OR "energy efficiency" OR "natural resource conservation" OR "environmental impact" OR "eco-friendly" OR "environmental management" OR "green economy" OR

Expressão de busca

"environmental awareness" OR "renewable energy" OR "life cycle") AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cr")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese"))

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

3.2. Estágio II – Condução da revisão

As buscas nas bases selecionadas retornaram um total de 5.884 documentos (Scopus: 3.580; Web of Science: 2.297; SciELO: 7). Após a remoção de 1.569 registros duplicados com o auxílio da plataforma Parsifal©, 4.315 documentos foram submetidos à primeira etapa de triagem, baseada na leitura de títulos, resumos e palavras-chave.

Foram mantidos os estudos que abordavam explicitamente desafios relacionados à produção agrícola, à sustentabilidade, à eficiência produtiva e à gestão de recursos, no contexto da agricultura. Trabalhos cujo foco principal estivesse desvinculado do setor agrícola ou restrito a aplicações industriais foram excluídos. Após essa etapa, 519 artigos permaneceram para leitura completa, da qual resultou a seleção final de 283 estudos incluídos na síntese. A última atualização da base de dados ocorreu em 12 de agosto de 2024.

3.3. Estágio III – Documentação e síntese dos resultados

No estágio final, os artigos selecionados foram analisados por meio de formulários estruturados, desenvolvidos para sistematizar informações sobre os desafios da agricultura contemporânea, suas dimensões (produtiva, ambiental, econômica e institucional) e a forma como a literatura discute a transformação digital em relação a esses desafios. A síntese dos resultados buscou identificar padrões recorrentes e convergências teóricas, contribuindo para a construção de uma visão integrada dos principais gargalos enfrentados pelo setor agrícola.

4. Discussão dos resultados

Esta seção apresenta os principais resultados da RSL, com foco na identificação e sistematização dos desafios enfrentados pela agricultura contemporânea. A partir da análise dos 283 estudos selecionados, os desafios foram organizados em categorias analíticas que evidenciam seu caráter estrutural, interdependente e multidimensional. Em seguida, discute-se como a literatura aborda a transformação digital como uma resposta conceitual a esses desafios, bem como as condições que a limitam ou a potencializam quanto à sua efetividade no setor agrícola.

4.1. Desafios estruturais da agricultura contemporânea

Os resultados da RSL indicam que a agricultura enfrenta um conjunto de desafios recorrentes que impactam diretamente sua produtividade, sustentabilidade e competitividade (Qureshi et al., 2021). Um dos grupos de problemas mais frequentemente mencionados refere-se à gestão ineficiente de recursos naturais, especialmente água, fertilizantes e insumos agrícolas, o que contribui para desperdícios, impactos ambientais negativos e para o aumento dos custos de produção (Awan et al., 2020; Ye et al., 2014). Esses desafios são agravados pela crescente pressão por práticas agrícolas mais sustentáveis e pelo aumento da escassez de recursos em diversas regiões.

Outro desafio amplamente discutido na literatura está relacionado à baixa produtividade e às ineficiências associadas a sistemas produtivos tradicionais, caracterizados por baixo nível de automação, uso limitado de informações e elevada dependência de práticas empíricas (Balkrishna et al., 2023; Kashyap & Kumar, 2021). A escassez de mão de obra qualificada e as dificuldades de acesso a tecnologias e serviços de apoio intensificam esse quadro, especialmente entre pequenos e médios produtores.

A vulnerabilidade às mudanças climáticas e a eventos climáticos extremos também se apresentam como um desafio central, afetando a previsibilidade das safras, a estabilidade da produção e a renda agrícola (Bittencourt Fagundes & Luis Bolfe, 2022). A variabilidade climática amplia os riscos produtivos e reforça a necessidade de mecanismos capazes de apoiar o planejamento e a gestão da incerteza no campo.

Adicionalmente, a literatura destaca limitações relacionadas à rastreabilidade, à coordenação e à transparência ao longo das cadeias agroalimentares, o que contribui para perdas pós-colheita, desperdícios e ineficiências logísticas (Latino et al., 2022; Sridhar et al., 2023). A falta de dados confiáveis, integrados e tempestivos para apoiar a tomada de decisão constitui um problema transversal, que afeta diferentes etapas do sistema produtivo e compromete o desempenho global das atividades agrícolas. O Quadro 2 sintetiza as principais categorias de desafios identificadas na literatura, evidenciando sua natureza sistêmica e a inter-relação entre os aspectos produtivos, ambientais, econômicos e institucionais.

Quadro 2 – Categorias de problemas

Categoria	Problemas
Gestão de Recursos e Sustentabilidade	• Uso ineficiente de água, fertilizantes e outros recursos.
	• Impacto ambiental da agricultura.
	• Necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Categoria	Problemas
Aumento da Produtividade e Eficiência	• Baixa produtividade e ineficiência nos métodos tradicionais.
	• Necessidade de automação e otimização de tarefas.
	• Escassez de mão de obra qualificada.
Monitoramento e Tomada de Decisão	• Dificuldade no monitoramento ambiental e de cultivos.
	• Falta de dados confiáveis para a tomada de decisão.
	• Problemas de precisão na detecção de doenças e pragas.
Rastreabilidade e Cadeia de Suprimentos	• Falta de rastreabilidade e transparência na cadeia de suprimentos.
	• Dificuldades na coordenação entre os participantes.
	• Perdas e desperdícios na cadeia de valor.
Impactos das Mudanças Climáticas	• Mudanças climáticas afetando a produção.
	• Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos.
Acessibilidade e Infraestrutura	• Falta de conectividade em áreas rurais.
	• Alto custo de tecnologias avançadas.
	• Limitação no acesso a informações e serviços agrícolas.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

4.2. Transformação digital como resposta conceitual aos desafios agrícolas

A partir da sistematização dos desafios identificados, observa-se que a transformação digital é recorrente na literatura como resposta conceitual para enfrentar as limitações estruturais da agricultura. Em vez de ser tratada apenas como a adoção pontual de tecnologias, a digitalização é abordada como um processo capaz de ampliar o monitoramento das atividades produtivas, apoiar a tomada de decisão e reduzir as incertezas associadas à variabilidade climática e ao uso de recursos naturais (Cesco et al., 2023; Karunathilake et al., 2023).

Estudos analisados destacam que a digitalização pode contribuir para a melhoria da eficiência no uso de insumos, para a redução de desperdícios e para o fortalecimento da rastreabilidade e da coordenação nas cadeias agroalimentares (Demir et al., 2024). Ao favorecer o acesso a informações mais precisas e oportunas, a transformação digital é apresentada como um elemento facilitador da transição para sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

Entretanto, a literatura também ressalta que o potencial da transformação digital está condicionado a fatores econômicos, institucionais e sociais. Barreiras relacionadas a custos elevados, limitações de conectividade em áreas rurais e carência de capacitação técnica restringem a adoção dessas abordagens, sobretudo entre pequenos e médios produtores (Marco-Detchart et al., 2023; Simo et al., 2023; Wu & Ma, 2020). Assim, a digitalização não deve ser compreendida como uma solução isolada, mas como parte de um conjunto mais amplo de estratégias que incluem políticas públicas de incentivo, investimentos em infraestrutura e ações voltadas à inclusão tecnológica.

4.3. Implicações teóricas e institucionais

Os resultados reforçam que os desafios da agricultura contemporânea não podem ser interpretados apenas como falhas operacionais pontuais, mas como problemas sistêmicos que exigem abordagens integradas. A organização dos desafios discutida neste estudo contribui para avançar o debate teórico sobre agricultura digital, ao mudar o foco das tecnologias para compreender as limitações estruturais que influenciam o desempenho do setor. Do ponto de vista institucional, a literatura indica que políticas públicas voltadas à transformação digital no campo devem considerar não apenas a promoção de tecnologias, mas também a redução de barreiras estruturais, como desigualdades de acesso, déficits de infraestrutura e limitações de capacitação. Para a pesquisa acadêmica, os resultados evidenciam a necessidade de estudos empíricos que explorem a interação entre desafios produtivos, contextos institucionais e estratégias de digitalização, ampliando a compreensão dos caminhos para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais eficientes, resilientes e sustentáveis.

5. Considerações finais

Este artigo apresentou uma síntese teórica dos principais desafios enfrentados pela agricultura contemporânea, a partir de uma RSL. Os resultados evidenciaram que os problemas enfrentados pelo setor, como a gestão ineficiente de recursos naturais, as limitações produtivas, a vulnerabilidade às mudanças climáticas, as falhas de rastreabilidade e as desigualdades no acesso à inovação, têm caráter estrutural e sistêmico, afetando de forma integrada a eficiência, a sustentabilidade e a competitividade da atividade agrícola.

Ao organizar e sistematizar esses desafios, o estudo contribui para reduzir a fragmentação observada na literatura, oferecendo uma base conceitual que favorece uma compreensão mais ampla das limitações que condicionam o desempenho dos sistemas agrícolas. Nesse contexto, a transformação digital emerge nos estudos analisados como uma resposta conceitual recorrente para apoiar o enfrentamento desses desafios, ao ampliar as capacidades de monitoramento, de apoio à tomada de decisão e de gestão da complexidade produtiva.

Entretanto, a literatura também indica que o potencial da transformação digital no campo está condicionado por fatores econômicos, institucionais e sociais. Barreiras relacionadas à infraestrutura, à conectividade, à capacitação técnica e à adequação às realidades locais limitam a efetividade dessas abordagens, especialmente entre pequenos e médios produtores. Assim, a digitalização não deve ser compreendida como uma solução isolada, mas

como parte de um conjunto mais amplo de estratégias que envolvem políticas públicas, investimentos estruturais e ações voltadas à inclusão tecnológica.

Apesar das contribuições teóricas apresentadas, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação de seus resultados. Primeiramente, por se tratar de uma RSL, a análise baseia-se exclusivamente em evidências secundárias, não contemplando validações empíricas nem aplicações práticas das soluções digitais identificadas. Além disso, o foco na literatura internacional pode não captar plenamente as especificidades regionais, institucionais e produtivas dos contextos agrícolas locais, especialmente em países em desenvolvimento. Essas limitações reforçam a necessidade de estudos futuros que validem e aprofundem abordagens empíricas, estudos de caso e análises comparativas em diferentes contextos produtivos.

Do ponto de vista teórico, este estudo contribui para o debate sobre agricultura digital ao deslocar o foco das tecnologias em si para a análise dos desafios estruturais que orientam sua adoção. Do ponto de vista prático e institucional, os resultados oferecem subsídios para formuladores de políticas públicas, pesquisadores e agentes do setor produtivo na definição de estratégias mais alinhadas às necessidades reais da agricultura contemporânea. Espera-se que essa síntese teórica sirva de base para estudos empíricos futuros e para o desenvolvimento de iniciativas que promovam sistemas agrícolas mais eficientes, resilientes e sustentáveis.

Referências

ALMADANI, Basem; MOSTAFA, Saud Mohammad. IIoT based multimodal communication model for agriculture and agro-industries. **IEEE Access**, v. 9, p. 10070–10088, 2021.

ARRUBLA-HOYOS, Wilson *et al.* **Precision Agriculture and Sensor Systems Applications in Colombia through 5G Networks**. **SensorsMDPI**, 1 out. 2022.

ATKOČIŪNIENĖ, Vilma; PAPSIENE, Palmira. OPPORTUNITIES FOR DIGITISATION OF AGRICULTURAL AND RURAL DEVELOPMENT SOLUTIONS. **Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development**, v. 45, n. 1, p. 1–8, 19 abr. 2023.

AWAN, Kamran Ahmad *et al.* Agritrust—a trust management approach for smart agriculture in cloud-based internet of agriculture things. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 21, p. 1–21, 1 nov. 2020.

BALKRISHNA, Acharya *et al.* A comprehensive analysis of the advances in Indian Digital Agricultural architecture. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, 1 out. 2023.

BATALHA, M. O. **Gestão Agroindustrial**. 4^o ed. São Paulo: ATLAS EDITORA, 2021.

BITTENCOURT FAGUNDES, Rozymario; LUIS BOLFE, Édson. Diagnosis about the perspectives of precision applications of coffee growing technologies in municipalities of Bahia, Brazil. **Coffee Science**, v. 17, p. 1–8, 2022.

BLASCH, J. *et al.* Farmer preferences for adopting precision farming technologies: A case study from Italy. **European Review of Agricultural Economics**, v. 49, n. 1, p. 33–81, 1 jan. 2022.

BOCEAN, Claudiu George. A Cross-Sectional Analysis of the Relationship between Digital Technology Use and Agricultural Productivity in EU Countries. **Agriculture (Switzerland)**, v. 14, n. 4, 1 abr. 2024.

BOLFE, L. E. Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira (Coord.). **Brasília, DF: Embrapa**, 2018.

BRINER, Rob B.; DENYER, David. Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. **The Oxford Handbook of Evidence-Based Management**, n. January, 2012.

BUA, Cristian; ADAMI, Davide; GIORDANO, Stefano. GymHydro: An Innovative Modular Small-Scale Smart Agriculture System for Hydroponic Greenhouses. **Electronics (Switzerland)**, v. 13, n. 7, 1 abr. 2024.

BULUT, Cevdet; WU, Philip Fei. **More than two decades of research on IoT in agriculture: a systematic literature review**. Internet Research Emerald Publishing, , 21 maio 2024.

CESCO, Stefano *et al.* Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability. **European Journal of Agronomy**, v. 146, 1 maio 2023.

DEMIR, Sinan; DEDEOĞLU, Mert; BAŞAYIĞIT, Levent. Yield prediction models of organic oil rose farming with agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) images and machine learning algorithms. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 33, 1 jan. 2024.

DENYER, David; TRANFIELD, David. **Producing a Systematic Review**. The SAGE Handbook of Organizational Research Methods, 2009.

EMBRAPA. **Trajetória da agricultura brasileira - Portal Embrapa**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 30 out. 2023.

GACKSTETTER, David *et al.* **Autonomous field management – An enabler of sustainable future in agriculture**. **Agricultural Systems**. Elsevier Ltd, 1 Mar. 2023.

GEBRESENBET, Girma *et al.* A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, 1 out. 2023.

GOKOOL, Shaeden *et al.* **Crop Monitoring in Smallholder Farms Using Unmanned Aerial Vehicles to Facilitate Precision Agriculture Practices: A Scoping Review and Bibliometric Analysis. Sustainability (Switzerland)**MDPI, , 1 fev. 2023.

GOVINDAN, Kannan; HASANAGIC, Mia. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1–2, p. 278–311, 2018.

JELLASON, Nugun P.; ROBINSON, Elizabeth J. Z.; OGBAGA, Chukwuma C. Agriculture 4.0: Is sub-Saharan Africa ready? **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 12, 2 jun. 2021.

KARUNATHILAKE, E. M. B. M. *et al.* **The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. Agriculture (Switzerland)**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 ago. 2023.

KASHYAP, Bhuwan; KUMAR, Ratnesh. Sensing Methodologies in Agriculture for Soil Moisture and Nutrient Monitoring. **IEEE Access**, v. 9, p. 14095–14121, 2021.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart M. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. [S.l.: S.n.]**. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/302924724>>.

KOURTIS, Michail Alexandros *et al.* Energy Efficiency in Agriculture through Tokenization of 5G and Edge Applications. **Energies**, v. 16, n. 13, 1 jul. 2023.

LAJOIE-O'MALLEY, Alana *et al.* The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**, v. 45, 1 out. 2020.

LATINO, Maria Elena *et al.* Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 178, 1 maio 2022.

LÓPEZ-MORALES, Juan A.; MARTÍNEZ, Juan A.; SKARMETA, Antonio F. Improving energy efficiency of irrigation wells by using an iot-based platform. **Electronics (Switzerland)**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 1 fev. 2021.

MARCO-DETHART, Cedric *et al.* Robust Multi-Sensor Consensus Plant Disease Detection Using the Choquet Integral †. **Sensors**, v. 23, n. 5, 1 mar. 2023.

MORCHID, Abdennabi *et al.* High-technology agriculture system to enhance food security: A concept of smart irrigation system using Internet of Things and cloud computing. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2024a.

MORCHID, Abdennabi *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**, v. 15, n. 3, 1 mar. 2024b.

QURESHI, Rehan; MEHBOOB, Syed Haris; AAMIR, Muhammad. Sustainable Green Fog Computing for Smart Agriculture. **Wireless Personal Communications**, v. 121, n. 2, p. 1379–1390, 2021.

QUY, Vu Khanh *et al.* **IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges**. **Applied Sciences (Switzerland)**MDPI, , 1 abr. 2022.

RATSHIEDANA, Phathutshedzo Eugene *et al.* Determination of Soil Electrical Conductivity and Moisture on Different Soil Layers Using Electromagnetic Techniques in Irrigated Arid Environments in South Africa. **Water (Switzerland)**, v. 15, n. 10, 1 maio 2023.

SAPKOTA, Tek B. *et al.* Quantifying opportunities for greenhouse gas emissions mitigation using big data from smallholder crop and livestock farmers across Bangladesh. **Science of the Total Environment**, v. 786, 10 set. 2021.

SILVA, Francisco Tardelli da *et al.* Open Innovation in Agribusiness: Barriers and Challenges in the Transition to Agriculture 4.0. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 11, 1 jun. 2023.

SIMO, Attila *et al.* Smart Agriculture in the Digital Age: A Comprehensive IoT-Driven Greenhouse Monitoring System. **International Journal of Computers, Communications and Control**, v. 18, n. 6, 2023.

SOTT, Michele Kremer *et al.* Precision Techniques and Agriculture 4.0 Technologies to Promote Sustainability in the Coffee Sector: State of the Art, Challenges and Future Trends. **IEEE Access**, v. 8, p. 149854–149867, 2020.

SRIDHAR, Adithya *et al.* **Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review**. **Sustainable Food Technology**Royal Society of Chemistry, , 27 out. 2023.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TSOLAKIS, Naoum; AIVAZIDOU, Eirini; SRAI, Jagjit Singh. **Sensor applications in agrifood systems: Current trends and opportunities for water stewardship**. **ClimateMDPI AG**, 1 mar. 2019.

TSOLAKIS, Naoum; BECHTSIS, Dimitrios; BOCHTIS, Dionysis. Agros: A robot operating system based emulation tool for agricultural robotics. **Agronomy**, v. 9, n. 7, 2019.

WU, Fang; MA, Junhai. Evolution Dynamics of Agricultural Internet of Things Technology Promotion and Adoption in China. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2020, 2020.

YE, Jiu Yan *et al.* The application of big geospatial data in smart agriculture. *In*: Trans Tech Publications Ltd, 2014.