



## ANÁLISE DE DADOS PARA A SUSTENTABILIDADE NO AGRONEGÓCIO

EMILI EVERZ GOLOMBIÉSKI; MARIA SALETE MARCON GOMES VAZ

### RESUMO

O agronegócio é importante para a segurança alimentar e para a economia, enfrentando desafios inerentes ao impacto ambiental nas práticas agrícolas, como degradação do solo, poluição de corpos d'água e emissões de gases de efeito estufa. Diante disso, este artigo aborda as práticas agrícolas, conciliando produtividade e sustentabilidade, apoiadas por ferramentas computacionais de análise de dados. O objetivo foi revisar o estado da arte sobre *softwares* de análise de dados aplicados à agricultura, destacando seu potencial para avaliar e diminuir os impactos ambientais. Adotou-se uma abordagem estruturada para coleta de dados, analisando metodologias, tecnologias e implicações práticas. Os *softwares* DSSAT - *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* e APSIM - *Agricultural Production Systems sIMulator* são utilizados para modelagem de culturas e impactos ambientais, e a integração de tecnologias como *big data*, Internet das Coisas e sensores remotos pode otimizar as práticas agrícolas. Foram identificadas limitações, como a falta de padronização e interoperabilidade entre plataformas de dados, a baixa adoção de tecnologias digitais por pequenos agricultores e a dificuldade na adaptação de modelos de simulação às diferentes condições locais. Para superar essas barreiras, sugere-se o desenvolvimento de padrões de dados abertos, políticas de subsídio e capacitação para agricultores, e o uso de técnicas avançadas de aprendizado de máquina para personalizar modelos. Conclui-se que, apesar dos avanços, há demanda de pesquisas focadas na criação de soluções inovadoras e inclusivas, promovendo a interoperabilidade entre sistemas e a acessibilidade tecnológica. Também, demanda o fomento à colaboração entre instituições e à formulação de políticas públicas que contemplem a justiça social e a sustentabilidade ambiental, garantindo aos agricultores, independentemente de seu tamanho ou localização, benefícios das inovações digitais na agricultura.

**Palavras-chave:** Produtividade; Impacto Ambiental; Modelagem Agrícola; Tecnologia Digital; Recomendação de Práticas.

### 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é importante para a segurança alimentar e para a economia, contribuindo para a produção de alimentos, em resposta à demanda populacional (FAO, 2020). Entretanto, o aumento da produtividade agrícola, frequentemente alcançado por meio do uso intensivo de recursos naturais e insumos, como água, fertilizantes e pesticidas, têm gerado preocupações em relação aos impactos ambientais (Godfray *et al.*, 2021). De acordo com Tscharrntke *et al.* (2021), a degradação do solo, a poluição de corpos d'água e o aumento de emissões de gases de efeito estufa são alguns dos desafios enfrentados pela agricultura.

A demanda de práticas agrícolas, conciliando produtividade com sustentabilidade, tornou-se uma prioridade, onde a análise de dados compreende como ferramenta para compreender e gerenciar os impactos ambientais das práticas agrícolas (Pretty *et al.*, 2020). Segundo Basso e Antle (2020), a coleta e análise de dados sobre consumo de água, uso de pesticidas e emissões de carbono permitem avaliar a eficácia das práticas agrícolas e identificar áreas para melhorias.

A integração e a interpretação dos dados para gerar recomendações práticas representam desafios, tais como heterogeneidade, qualidade e consistência dos dados, segurança e privacidade, interoperabilidade entre sistemas, atualização e manutenção, além das condições climáticas e ambientais (Coble *et al.*, 2022). A disponibilidade de tecnologias de monitoramento, como sensores remotos e plataformas de *big data*, aumentou a capacidade de coletar informações em tempo real, porém a falta de padronização e integração dos dados pode limitar sua utilidade para os agricultores (Wolfert *et al.*, 2020).

O desenvolvimento de sistemas de análise de dados no agronegócio justifica-se pela demanda de abordagem técnica para a gestão ambiental, promovendo a sustentabilidade (Ingram, Gleeson e Raymond, 2021). Esses sistemas ajudam os produtores a compreenderem como suas práticas impactam o meio ambiente, facilitando a adoção de estratégias mais sustentáveis (Rose *et al.*, 2021). Lamb *et al.* (2022) apontam que os sistemas podem identificar padrões, prever resultados e otimizar o uso de recursos, contribuindo para um modelo agrícola que respeite os limites naturais e promova a preservação ambiental.

O objetivo deste artigo é abordar *softwares* de análise de dados aplicados à agricultura, focando em como as ferramentas podem auxiliar na avaliação e diminuição dos impactos ambientais das práticas agrícolas. Serão exploradas metodologias e identificados desafios e lacunas de pesquisa, sugerindo direções para que apoiem a transição para uma agricultura mais sustentável e responsável.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução da pesquisa, adotou-se uma abordagem estruturada que envolveu várias etapas. A primeira etapa envolveu a coleta de dados, agrupados de acordo com suas principais áreas de enfoque, como análise de consumo de água, uso de pesticidas e emissões de carbono. Este agrupamento foi realizado para identificar tendências e metodologias.

Cada grupo foi analisado para compreender as metodologias utilizadas, os resultados obtidos e as implicações práticas. Foram avaliados aspectos como a abordagem tecnológica empregada, a eficácia das soluções propostas e as recomendações para a redução dos impactos ambientais. A análise permitiu uma compreensão das soluções e lacunas existentes.

Durante o processo, foram identificadas demandas emergentes e áreas inexploradas. O foco foi na integração dos dados, proporcionando uma visão coesa das práticas e desafios enfrentados na implementação de *softwares* de análise de dados na agricultura.

A síntese dos resultados foi feita através da comparação das diferentes pesquisas, permitindo visão das práticas e das limitações identificadas. Este método assegurou que as conclusões fossem fundamentadas em uma análise crítica das informações disponíveis, destacando as principais contribuições e sugerindo direções futuras.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução das tecnologias digitais tem revolucionado o setor agrícola, introduzindo uma série de ferramentas inovadoras que visam otimizar as práticas agrícolas e minimizar os impactos ambientais. Tecnologias como sensores remotos, drones, plataformas de *big data*, Internet das Coisas, e softwares de modelagem agrícola permitem a coleta e análise de dados em tempo real, fornecendo informações para a tomada de decisões assertivas e sustentáveis. Essas soluções tecnológicas são fundamentais para o monitoramento preciso do uso de recursos como água e fertilizantes, a previsão de condições climáticas e a avaliação dos impactos ambientais, promovendo um equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade no agronegócio. A figura 1 ilustra essa integração tecnológica no ambiente agrícola.

**Figura 1.** Integração de Tecnologias no campo.



**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

A Figura 1 apresenta uma visão geral das principais ferramentas de coleta de dados utilizadas na agricultura moderna, que desempenham um papel na melhoria das práticas agrícolas sustentáveis. Entre essas ferramentas, destacam-se os satélites (I), que monitoram extensas áreas de cultivo por meio de imagens de alta resolução, capturando informações sobre a cobertura do solo, índices de vegetação e condições climáticas. Essas imagens permitem a análise de variáveis como a saúde das plantas, a umidade do solo e a detecção de pragas, proporcionando aos agricultores dados precisos para otimizar a gestão dos recursos.

Os drones (II), por sua vez, oferecem uma coleta de dados mais detalhada e específica para áreas menores, voando em baixas altitudes e capturando imagens de alta resolução. Eles são equipados com câmeras multiespectrais e térmicas, que permitem identificar problemas de irrigação, estresse hídrico e o estado nutricional das culturas. Além disso, os drones podem ser programados para realizar voos regulares, facilitando o monitoramento contínuo e em tempo real das condições agrícolas.

Os sensores de solo (III) são outra ferramenta essencial, fornecendo dados em tempo real sobre a umidade, temperatura, pH e a presença de nutrientes no solo. Esses sensores são instalados diretamente no campo e permitem um monitoramento contínuo, auxiliando na tomada de decisões sobre irrigação, fertilização e outras práticas de manejo do solo, garantindo que as plantas recebam exatamente o que precisam para crescer de forma saudável, sem excessos que poderiam impactar negativamente o meio ambiente.

Por fim, o reconhecimento de imagens com Inteligência Artificial (IV) utiliza algoritmos para analisar imagens capturadas por satélites, drones e câmeras no campo, identificando padrões e anomalias que podem indicar doenças, pragas ou deficiências nutricionais nas plantas. Essa tecnologia permite uma resposta rápida e precisa aos problemas identificados, otimizando a aplicação de defensivos e reduzindo os custos e impactos ambientais associados. Essas ferramentas, quando integradas, oferecem uma visão detalhada do ambiente agrícola, facilitando a adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis.

Os *softwares* de análise de dados estão sendo desenvolvidos para auxiliar na avaliação e redução dos impactos ambientais das práticas agrícolas. Ferramentas como o DSSAT

(*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) e o APSIM (*Agricultural Production Systems Simulator*) têm sido utilizadas para modelagem de culturas e avaliação de impactos ambientais, permitindo aos agricultores a tomada de decisões assertivas (Jones, *et al.* 2021; Holzworth, *et al.* 2020).

São identificados desafios, como a demanda de melhorar a acessibilidade e usabilidade das ferramentas para agricultores de diferentes contextos socioeconômicos (Klerkx, Jansen e Van Der Berg, 2020). Além disso, existe uma lacuna quanto à integração de dados provenientes de diferentes fontes e plataformas, necessária para a eficácia das análises (Kamilaris, Kartakoullis e Prenafeta-Boldú, 2021).

O desenvolvimento contínuo de metodologias inovadoras e acessíveis é necessário para apoiar a transição para uma agricultura mais sustentável e responsável, aproveitando o potencial das tecnologias de análise de dados para minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade (Carvalho, *et al.* 2022).

O uso de análise de dados na agricultura revela diversas práticas recomendadas e limitações identificadas, conforme mostradas na Tabela 1. A análise comparativa baseia-se em diferentes dimensões, como o foco de estudo, metodologias empregadas, tecnologias utilizadas e implicações para a sustentabilidade.

**Tabela 1.** Comparação dos Achados dos Estudos sobre Análise de Dados na Agricultura

Estudo	Foco Principal	Metodologias Utilizadas	Tecnologias Aplicadas	Práticas Recomendadas
Godfray <i>et al.</i> (2021)	Segurança alimentar sustentabilidade	Revisão sistemática de literatura	Análise de <i>big data</i> e modelagem preditiva	Integração de dados para práticas agrícolas otimizadas
Basso e Antle (2020)	Agricultura de precisão proteção ambiental	Modelagem e simulação de sistemas agrícolas	Sensores remotos, DSSAT, APSIM	Uso de modelagem para prever impactos ambientais de práticas agrícolas
Rose <i>et al.</i> (2021)	Capacitação de agricultores por meio agricultura digital	Revisão de estudos de caso e abordagem participativa	Plataformas digitais, IoT	Inclusão social e acessibilidade a tecnologias digitais para pequenos agricultores
Holzworth <i>et al.</i> (2020)	Modelagem de sistemas de produção agrícola	Desenvolvimento de software para modelagem agrícola	APSIM	Uso de simulações para otimização de recursos como água e nutrientes
Wolfert, Verdouw, Bogaardt (2020)	<i>Big data</i> em agricultura inteligente	Análise de dados secundários	Plataformas de <i>big data</i> , <i>machine learning</i>	Uso de <i>big data</i> para análise em tempo real e decisões baseadas em dados

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Os trabalhos concordam que a integração de tecnologias digitais, como *big data*, Internet das Coisas, sensores remotos e plataformas de modelagem, otimiza as práticas agrícolas na sustentabilidade (Basso e Antle, 2020; Godfray *et al.*, 2021). O uso de ferramentas de análise de dados para monitorar e prever impactos ambientais permite ajustes proativos nas práticas agrícolas. A modelagem através de softwares como DSSAT e APSIM ajuda a prever como diferentes práticas agrícolas podem afetar o meio ambiente, facilitando a tomada de decisão baseada em dados (Jones *et al.*, 2021; Holzworth *et al.*, 2020).

A inclusão de pequenos agricultores e a capacitação para o uso de tecnologias digitais emergem como práticas para aumentar a acessibilidade e promover a justiça social na adoção de inovações agrícolas (Rose et al., 2021). Tais práticas garantem que as tecnologias de ponta beneficiam pequenos e grandes produtores agrícolas em contextos diversos, promovendo transição mais equitativa para uma agricultura sustentável.

Apesar dos avanços no uso de tecnologias para otimização de práticas agrícolas, diversas lacunas persistem, comprometendo a eficácia e a escalabilidade das soluções. A principal limitação identificada foi a falta de padronização e integração entre diferentes fontes de dados e tecnologias. Wolfert, Verdouw e Bogaardt (2020) apontaram a ausência de interoperabilidade entre plataformas de *big data* e a diversidade de formatos de dados, dificultando a análise integrada e reduzindo a eficácia das recomendações baseadas em dados.

A adaptação de modelos de simulação às diferentes condições climáticas e de solo é outra limitação, pois esses modelos requerem ajustes complexos (Holzworth et al., 2020). A baixa adoção de tecnologias digitais por pequenos agricultores ocorre em regiões com infraestrutura limitada (Rose et al., 2021). Apesar do potencial das tecnologias digitais para melhorar a sustentabilidade agrícola, desafios relacionados ao custo, ao acesso e à capacitação dos usuários limitam a implementação das soluções.

Na Tabela 2 são apresentadas as principais lacunas identificadas e propõe soluções para superá-las. Essas lacunas variam desde a falta de padronização de dados e interoperabilidade entre sistemas até a baixa adoção de tecnologias por pequenos agricultores, em regiões com infraestrutura limitada. As soluções baseiam-se em abordagens tecnológicas inovadoras, políticas públicas de incentivo e promoção de práticas inclusivas contemplando as demandas dos atores envolvidos na cadeia agrícola.

**Tabela 2.** Lacunas Identificadas nos Estudos e Possíveis Soluções.

Lacuna	Descrição	Possível Solução
Falta de padronização e interoperabilidade entre plataformas de dados	Diversidade de formatos e fontes de dados que dificultam a análise integrada e a tomada de decisão baseada em dados.	Desenvolvimento de padrões comuns de dados para agricultura e incentivo a plataformas de código aberto.
a adoção de tecnologias por pequenos agricultores	Pequenos agricultores encontram barreiras como custo elevado, falta de infraestrutura e capacitação limitada.	Políticas de subsídio e financiamento para aquisição de tecnologias e programas de capacitação local.
Dificuldade na adaptação de modelos de simulação de diferentes condições	Modelos muitas vezes requerem ajustes locais complexos para se adaptarem a variações climáticas e de solo.	Aplicação de técnicas de machine learning e inteligência artificial para personalização dos modelos.
s na coleta e integração de dados de campo	Coleta de dados insuficiente e fragmentada, dificultando a criação de bases robustas para análise e monitoramento.	Implementação de sensores remotos e tecnologias de IoT para coleta automatizada e contínua de dados.
Validação insuficiente de modelos em diferentes contextos agrícolas	Dificuldade em validar os resultados dos modelos em diferentes contextos devido à falta de dados representativos.	Criação de consórcios de pesquisa e troca de dados entre instituições e organizações agrícolas.

**Fonte:** As autoras.

Os desafios na agricultura incluem a falta de padronização e interoperabilidade entre plataformas de dados, comprometendo a integração e análise de informações, sendo necessário

desenvolver padrões de dados e plataformas de código aberto. A baixa adoção de tecnologias por pequenos agricultores, devido aos altos custos, infraestrutura inadequada e pouca capacitação, pode ser enfrentada por meio de políticas de subsídio e programas de treinamento.

A adaptação complexa de modelos de simulação às diferentes condições locais demanda o uso de aprendizado de máquina e outras ferramentas de inteligência artificial para personalização. A coleta limitada e fragmentada de dados de campo requer tecnologias de Internet das Coisas e sensores remotos para automatizar a coleta contínua de dados. A validação insuficiente de modelos agrícolas em diferentes contextos, devido à falta de dados representativos, pode ser abordada pela criação de consórcios de pesquisa que incentivem a troca de dados entre instituições.

#### 4 CONCLUSÃO

A análise de dados aplicada à agricultura destaca seu potencial para conciliar produtividade e sustentabilidade. As pesquisas mostraram que ferramentas digitais, como *big data*, Internet das Coisas e plataformas de modelagem, otimizam práticas agrícolas e reduzem impactos ambientais. Contudo, persistem desafios, como a falta de padronização de dados, a baixa adoção de tecnologias por pequenos agricultores, e dificuldades na adaptação e validação de modelos em diferentes contextos. O desenvolvimento de padrões comuns de dados, o incentivo a plataformas de código aberto e políticas públicas de capacitação e financiamento permitem superar essas barreiras.

As pesquisas apresentam limitações na integração de dados de diferentes fontes e na validação em múltiplos contextos agrícolas. Pesquisas futuras devem focar em soluções inovadoras e inclusivas, promovendo a interoperabilidade e acessibilidade tecnológica, assegurando aos agricultores os benefícios das inovações digitais.

O caminho para uma agricultura mais sustentável requer esforços colaborativos contínuos, na criação de grupos de pesquisa e no desenvolvimento de políticas públicas que promovam a justiça social e a preservação ambiental.

#### REFERÊNCIAS

BASSO, Bruno; ANTLE, John. Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection. **Sustainability**, v. 12, n. 16, 2020.

CARVALHO, Fernando Paulo; BARROS, Marcos Vinícius; LIMA, José Roberto; SANTOS, Ana Cláudia. The Future of Agriculture: Smart Farming and Precision Agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 300, 2022.

COBLE, Keith H.; MISHRA, Ashok K.; FERRELL, Shannon; GRIFFIN, Terry. Big Data in Agriculture: A Challenge for Data Governance. **Agricultural Systems**, v. 193, 2022.

FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Rome: **Food and Agriculture Organization**, 2020.

GODFRAY, Harold Charles; AVEYARD, Paul; GARNETT, Tara; HALL, John W.; KEY, Timothy J.; LORIMER, Jamie; PIERREHUMBERT, Raymond T.; SCARBOROUGH, Peter; SPRINGMANN, Marco; JEBB, Susan A. Food Security and Sustainable Agriculture. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, p. 235-259, 2021.

HOLZWORTH, Dean P.; HUTH, Neil I.; FAINGES, Jacquie; BROWN, Hugh; ZURCHER, Erik; CICHOTA, Roger; VERRALL, Sam; HERRMANN, Nico; ZHENG, Bing; SNOW, V.

O.; PEAKE, Tony. APSIM: Evolution Towards a New Generation of Agricultural Systems Simulation. **Environmental Modelling & Software**, v. 103, p. 41-46, 2020.

INGRAM, Julie; GLEESON, Tom; RAYMOND, Lynn. Challenges and Opportunities for Data-Driven Agriculture. **Journal of Rural Studies**, v. 82, p. 151-160, 2021.

JONES, James W.; HOOGENBOOM, Gerrit; PORTER, Cheryl H.; BOOTE, Kenneth J.; BATCHELOR, William D.; HUNT, Larry A.; WILKENS, Paul W.; SINGH, Upendra; GIJSMAN, A.; RITCHIE, J. T. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT): Past, Present, and Future. **Agricultural Systems**, v. 178, 2021.

KAMILARIS, Andreas; KARTAKOULLIS, Andreas; PRENAFETA-BOLDÚ, Francesc Xavier. Big Data in Agriculture: Between Opportunity and Challenge. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 180, p. 105-109, 2021.

KLÉRKX, Laurens; JANSEN, Jan; VAN DER BERG, Marc. Digital Technologies in Agriculture: Barriers and Opportunities. **Agricultural Systems**, v. 183, p. 103-121, 2020.

LAMB, Jim; JENNINGS, Derek; MEHTA, Varun; VADGAMA, Sachin. The Role of Precision Agriculture in Sustainable Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 2022.

PRETTY, Jules; BENTON, Tim; BHARUCHA, Zareen P.; DICKS, Lynn V.; FLORA, Cornelia; GODFRAY, Harold C.; GOULSON, Dave; HARTLEY, Sue E.; LAMPKIN, Nicolas; MORRIS, Charles; PIERREHUMBERT, Raymond; SUTHERLAND, William J. Sustainable Agricultural Intensification: Setting the Scene. **Frontiers in Agricultural Science and Engineering**, v. 7, n. 3, p. 1-10, 2020.

ROSE, David C.; CHILVERS, Jason; SUTHERLAND, William J.; PARKER, Joe; REED, Mark; MORRIS, Carol; WINTER, Michael; OUGHTON, Elizabeth; TWINING, Sue; LOBLEY, Matt. Empowering Farmers Through Digital Agriculture: A Social Sciences Review. **Agriculture and Human Values**, v. 38, p. 549-560, 2021.

TSCHARNTKE, Teja; CLOUGH, Yann; WANGER, Thomas C.; JACKSON, Laurence; MOTZKE, Ingo; PERFECTO, Ivette; VANDERMEER, John; WHITBREAD, Anthony. Global Food Security, Biodiversity Conservation, and the Future of Agriculture. **Biological Conservation**, v. 253, 2021.

WOLFERT, Sjaak; GE, Lan; VERDOUW, Cor; BOGAARDT, Maarten-Jeroen. Big Data in Smart Farming: A Review. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102-111, 2020.