

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, IRRIGAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL.¹

Priscilla Cristina Cabral Ribeiro²

Ana Carolina Sanches Zeferino³

Júlia Amaral Saviolo⁴

Resumo

A agricultura sustentável demanda inovações tecnológicas em um processo de transformação digital no campo. Nesse contexto há desafios como a insegurança alimentar, que demanda fortemente da agricultura uma maior produtividade. Assim, um sistema de irrigação eficiente em que se tem um monitoramento do solo, do plantio e do clima poderia apoiar as iniciativas de superação desse desafio de alimentar a todos. E, para isso, as tecnologias podem auxiliar. Assim, surgem os movimentos Agro 4.0, Agricultura 4.0, 5.0, e Agricultura digital no Brasil como representação da transformação digital do setor com tecnologias para a aplicação de uma irrigação de precisão. Dentre as tecnologias da transformação digital, tem-se a inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina (Machine Learning ou ML), a Internet das coisas (Internet of Things ou IoT) e a Big Data (BD), dentre outras. Apesar da urgência da discussão do tema, ainda há lacunas de pesquisas. Diante disso, esse artigo tem como objetivo analisar as tendências das publicações científicas sobre agricultura sustentável, irrigação e as ferramentas de inteligência artificial utilizadas na transformação digital. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica seguindo as diretrizes do Método PRISMA, buscando-se artigos científicos em versão final publicados entre os anos de 2018 e 2023 (busca realizada até abril de 2023), publicados nas línguas inglês e português, e indexados nas bases de dados Scopus e Web of Science. Quanto às publicações existentes, observa-se o seu uso quando há busca por maior agilidade, precisão, redução de desperdícios e melhor condições de trabalho ao agricultor. Nas buscas, considerando as strings completas (com o descritor 'irrigação'), os resultados mostraram um número reduzido de publicações relacionado às IAs no escopo da agricultura irrigável. O país que mais publicou, incluindo o descritor irrigação, foi a Índia. Não houve concentração de artigos em um periódico e o mesmo ocorreu com os autores. Em relação ao interesse pelo tema, observou-se que ele está em ascensão nos últimos 5 anos.

Palavra-chave: Agricultura sustentável; Irrigação; Transformação digital; Inteligência artificial.

¹ Recebido: 09/05/2023. 1º avaliação: 18/06/2023. 2º avaliação em 08/07/2023. Publicado: 11/04/2023.

DOI: <https://doi.org/10.22409/2675-4924.58447>

² Doutora em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR.

Lattes:<http://lattes.cnpq.br/3864083614847460>. Email: priscillaribeiro@id.uff.br

³ Mestrado em andamento em Ciências e Biotecnologia, Universidade Federal Fluminense, UFF. Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/514076655197041>. Email: anazeferino@id.uff.br

⁴ Email: julia.saviolo3@gmail.com

1. Introdução

O foco da inovação e do desenvolvimento de tecnologias para a agricultura tropical tem sido um fator relevante para o desempenho excepcional que o agronegócio brasileiro vem alcançando nas décadas recentes. Nos próximos anos, novos desafios são esperados para acelerar a transformação digital no campo (LIMA et al., 2020).

Nesse contexto, há novos e preocupantes desafios. Segundo Bhat e Huang (2021), embora a produção agrícola tenha um aumento em 17% comparado há três décadas, há cerca de 821 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar. De acordo com os autores, alcançar um crescimento da produção de alimentos para alinhar com a demanda não é uma tarefa fácil, tendo em vista que, para 2050, a produção teria que crescer 70%.

Contudo, o objetivo de produzir mais alimentos deve ser discutido de forma mais ampla, considerando os aspectos de sustentabilidade ambiental, ou seja, buscando produzir mais alimentos com melhor qualidade e com menores danos aos recursos naturais (RODRIGUES et al., 2017). A agricultura precisa ser sustentável, no sentido das três dimensões (econômica, ambiental e social), considerando que a extensão de terras aráveis não está crescendo, os níveis dos lençóis de água estão diminuindo, e a qualidade do solo não está melhorando (BHAT; HUANG, 2021).

Um sistema de irrigação eficiente demanda o conhecimento da quantidade de água e do momento correto de se irrigar, qualquer que seja o tipo de sistema de irrigação utilizado. Para isso, é necessário um monitoramento do solo, do plantio e do clima. O monitoramento do clima é um passo fundamental para implementar um sistema de irrigação eficiente e garantir uma agricultura sustentável (HACHIMI et al., 2023). Nos anos recentes, várias abordagens têm sido desenvolvidas para superar os problemas e obstáculos que ocorrem com a agricultura inteligente (smart agriculture ou smart farming), tais como o reconhecimento das espécies, a previsão dos rendimentos, a detecção de doenças, secas, problemas na produtividade das culturas, e gerenciamento da irrigação (SAGGI; JAIN, 2022).

Na agricultura inteligente, há uma nova geração de tecnologias digitais que se tornaram parte integral de todas as esferas da vida e são a espinha dorsal dos negócios. Tais tecnologias contribuem para o aumento da produtividade agrícola

(RIJSWIJK et al., 2021; HRUSTEK, 2020). Essas ferramentas estão relacionadas a dispositivos digitais e, portanto, entender como a transformação digital vem acontecendo é relevante para traçar um cenário a respeito de sua aplicação e seu uso na agricultura irrigada. Estão dentro da transformação digital, conceitos como inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (Machine Learning ou ML), Internet das coisas (Internet of Things ou IoT) e Big Data (BD).

Assim, existe uma grande necessidade de se explorar mais estudos para melhorar a escalabilidade da programação da irrigação baseada em análise de dados avançada e ML. Algumas pesquisas têm sido realizadas em Sistemas de Apoio à Decisão (Decision Support System – DSS) para melhorar a tomada de decisão no setor agrícola baseada em dados (SAGGI; JAIN, 2022).

O objetivo geral da pesquisa é analisar as tendências das publicações científicas sobre agricultura sustentável, irrigação e as ferramentas de inteligência artificial utilizadas na transformação digital.

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os objetivos específicos:

- Relacionar os temas agricultura sustentável, irrigação e AI;
- Relacionar os temas agricultura sustentável, irrigação e IoT;
- Relacionar os temas agricultura sustentável, irrigação e Big Data;
- Relacionar os temas agricultura sustentável, irrigação e Machine Learning.

2. Revisão da literatura – agricultura, irrigação e transformação digital

Na segunda metade do século XX, houve a Revolução Verde, que teve como base três premissas: (i) o melhoramento genético que proporcionou variedades com potencial de alta produtividade, (ii) o uso intensivo de produtos químicos (adubos, herbicidas, inseticidas), e (iii) a implantação da tecnologia de irrigação em larga escala (COELHO, 2022).

As tecnologias agrícolas digitais têm potencial para enfrentar desafios, tais como: ervas daninhas resistentes a herbicidas; aplicação excessiva de nitrogênio; irrigação em local, momento e quantidade inadequados; e plantio de culturas de cobertura para restaurar a saúde do solo e contribuir para o meio ambiente; implementar a sustentabilidade na agricultura (KHANNA et al., 2022).

Com as pressões da sociedade em relação ao uso dos recursos naturais, o agronegócio precisa responder a essas questões, e as tecnologias descritas pela indústria 4.0 surgem como aliadas para a otimização do agronegócio (MENDES et al., 2022). Nesse contexto, surgem os termos Agro 4.0, Agricultura 4.0 e Agricultura digital no Brasil como representação da transformação digital do setor (LIMA et al., 2020). Utiliza-se os termos Agricultura 4.0 e 5.0 com tecnologias para a aplicação de uma irrigação de precisão (SILVA, 2022). Segundo Abuzanouneh (2022), Agricultura 4.0 assim como o futuro da tecnologia para as propriedades rurais, compreende as principais tecnologias facilitadoras para uma agricultura sustentável. O uso das tecnologias atuais, transforma as práticas tradicionais de cultivo, como a irrigação, para soluções modernas de agricultura de precisão.

Apesar de iniciar o uso da agricultura irrigada de forma tardia (1970) em relação aos demais países, o Brasil utiliza equipamentos de irrigação de última geração e tem adotado projetos mais técnicos, baseado na experiência acumulada nos países desenvolvidos, se tornando mais eficiente no uso da água (COELHO, 2022). Essa transformação digital nas fazendas depende da emergência de uma combinação de tecnologias diferentes, enquanto aplicações da agricultura, tais como: Blockchain, IA, Cloud computing e Big Data. Ela é responsável pela transformação nas práticas da agricultura, beneficiando a cadeia de valor de todo o agronegócio (LIMA et al., 2020).

Segundo Rodrigues et al. (2017), devido a um número de fatores que interferem na produção e que não podem ser controlados pelos agricultores, como demanda, logística e formação de preços, é preciso haver uma abordagem multidisciplinar e inovações. Dentre essas inovações, a IA e as tecnologias como a IoT, a ML e a BD trazem essas inovações quanto à discussão de agricultura sustentável e irrigação.

Se por um lado a transformação digital é um benefício relacionado a fatores sócio éticos, como melhores condições de trabalho para os produtores rurais (SHEPERD et al., 2020), por outro lado, pode levar a uma concentração de mercado pelas grandes empresas do agronegócio e desigualdades digitais (BIRNER et al., 2021). Além disso, considerando a dimensão social da sustentabilidade, a transformação digital depende de uma aplicação de padrões éticos no gerenciamento de dados, observando a segurança e a privacidade (KONDRATIEVA, 2021).

3. Metodologia

Para realizar a análise das tendências das publicações científicas sobre agricultura sustentável, irrigação e as ferramentas da IA (ML, IoT e BD), realizou-se uma pesquisa bibliográfica seguindo as diretrizes do Método PRISMA (LIBERATI et al., 2009), buscando-se artigos científicos em versão final publicados entre os anos de 2018 e 2023 (busca realizada até abril de 2023), publicados nas línguas inglês e português, e indexados nas bases de dados Scopus e Web of Science. A princípio, havia o objetivo de delimitar cada string com as culturas com maior volume de exportação em 2022 (soja, arroz, feijão, trigo, cana), mas quando se adicionava a cultura, não retornavam artigos. Diante dessa restrição, optou-se por deixar as strings mais ‘abertas’, conforme Quadro 1.

A busca foi realizada associando-se três dimensões de descritores. A dimensão 1 refere-se à busca geral por agricultura sustentável, a dimensão 2 refere-se à busca de interesse específico sobre irrigação e a dimensão 3 refere-se à busca de interesse dos termos IA, ML, IoT e BD. Foi utilizado como critério de inclusão artigos que citavam os descritores, uma vez que buscou-se identificar e entender como os temas estão sendo utilizados nesse contexto e relacioná-los. O Quadro 1 mostra os termos utilizados na busca de referências.

Quadro 1 - Dimensões dos descritores utilizados para a busca

Dimensão 1 – Geral	Dimensão 2 – Tópico de interesse 1	Dimensão 3 – Tópico de interesse 2
“Sustainable Agriculture”	“Irrigation”	(“IoT” OR “Internet of Things”)
“Sustainable Agriculture”	“Irrigation”	(“AI” OR “Artificial Intelligence”)
“Sustainable Agriculture”	“Irrigation”	(“Big Data” Or “Big Data”)
“Sustainable Agriculture”	“Irrigation”	(“Machine Learning”)
“Sustainable Agriculture”	“Irrigation”	(“Digital Transformation”)

Fonte: Elaborado pelos autores

A busca nas bases resultou em 47 artigos (37 na Web of Science e 10 na Scopus), dos quais 19 estavam duplicados, reduzindo a quantidade de referências para 28 artigos. Ao se aplicar o critério de inclusão, foram mantidos os 28 artigos. Esses resultados mostram que há pouca publicação relacionada a essas temáticas aplicadas no escopo da agricultura irrigável.

A busca por termos que abordassem, de forma específica a irrigação retornou poucos registros. Então, os autores buscaram avaliar o conceito de forma mais ampla, na agricultura, removendo o descritor “irrigação” nas buscas (mantendo iguais os demais parâmetros). Nessa busca mais ampla, foram encontrados 458 artigos (257 na Web of Science e 201 na Scopus), dos quais 200 estavam duplicados, reduzindo a quantidade de referências para 258 artigos. Aplicando-se o critério de inclusão, mantiveram-se os 258 artigos.

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram as distribuições dos artigos por tema (frequência na busca), ano de publicação e país da publicação. Os países que mais publicaram, incluindo o descritor irrigação, foram Índia, Estados Unidos da América (EUA-USA), Grécia e Arábia Saudita (46,4% do total de publicações). Os países que mais publicaram, excluindo o descritor irrigação, foram China, Índia e Estados Unidos da América (USA) (35,3% do total de publicações). Uma análise por periódico não mostrou concentração de artigos em determinado veículo, na busca sem o descritor irrigação o mais representativo, com 4,3% das publicações (seis registros) foi a Computers and Electronics in Agriculture e na busca com o descritor irrigação, com 10,7% das publicações (três registros) foi a IEEE Access. Uma análise por autor mostrou que as publicações estão pulverizadas entre diferentes autores que publicaram apenas um artigo com essa temática.

A Tabela 1 apresenta os descritores IA, BD, DT, IoT e ML. As pesquisas foram realizadas sem o descritor “irrigação” e com o descritor “irrigação”, levando a frequências diferentes, observando-se a redução dos resultados quando acrescentado à string da busca o descritor “irrigação”. Pela abrangência e certa popularidade, o termo “IA” foi o que obteve maior retorno, enquanto o termo “DT” foi aquele que obteve menor retorno, por ser menos discutido na literatura sobre tecnologias de informação e comunicação atuais.

Tabela 1 - Distribuição dos artigos por tema da busca

Descritor	Sem descritor “irrigação”	Com descritor “irrigação”
IA	87 (33,7%)	7 (25,0%)
BD	42 (16,3%)	5 (17,9%)
DT	4 (1,6%)	1 (3,6%)
IoT	54 (20,9%)	10 (35,6%)
ML	71 (27,5%)	5 (17,9%)

Fonte: Elaborado pelos autores

Verifica-se, na Tabela 2, o crescimento do número de publicações ano a ano, a partir de 2018, com um crescimento interessante a partir de 2022, o que demonstra que o tema está em ascensão nos periódicos de maior impacto, ou seja, que há interesse em desenvolver pesquisas a partir dos descritores. Utilizou-se o mesmo método, sem o descritor “irrigação” e com o descritor “irrigação”.

Tabela 2 - Distribuição dos artigos por ano de publicação

Ano	Sem descritor “irrigação”	Com descritor “irrigação”
2018	8 (3,1%)	1 (3,6%)
2019	21 (8,1%)	2 (7,1%)
2020	39 (15,1%)	6 (21,4%)
2021	71 (27,5%)	6 (21,4%)
2022	97 (37,6%)	11 (39,3%)
2023	22* (8,5%)	2* (7,1%)

Fonte: Elaborado pelos autores

Legenda: *Dados até 17 de abril de 2023

Na Tabela 3 observa-se a distribuição dos artigos por país de publicação, para os países que apresentaram publicações nas duas buscas (com e sem o descritor “irrigação”). As representatividades foram calculadas com relação ao número de

publicações da busca realizada (258 para SEM descritor “irrigação” e 28 para COM descritor “irrigação”).

Tabela 3 - Distribuição dos artigos por país de publicação

País da publicação	Sem descritor “irrigação”	Com descritor “irrigação”
Arábia Saudita	9 (3,5%)	2 (7,1%)
Austrália	5 (1,9%)	1 (3,6%)
Canada	9 (3,5%)	1 (3,6%)
China	39 (15,1%)	1 (3,6%)
Egito	2 (0,8%)	1 (3,6%)
Espanha	11 (4,3%)	1 (3,6%)
Gana	2 (0,8%)	1 (3,6%)
Grécia	4 (1,6%)	2 (7,1%)
Hungria	4 (1,6%)	1 (3,6%)
Índia	36 (14,0%)	6 (21,4%)
Iran	4 (1,6%)	1 (3,6%)
Itália	13 (5,0%)	1 (3,6%)
Marrocos	2 (0,8%)	1 (3,6%)
Romênia	5 (1,9%)	1 (3,6%)
Taiwan	12 (4,7%)	1 (3,6%)
Turquia	8 (3,1%)	1 (3,6%)
USA	16 (6,2%)	3 (10,7%)

Fonte: Elaborado pelos autores

4. Resultados e Discussão

4.1 Diagnóstico e/ou Análise e interpretação dos resultados

Observou-se nos resultados das buscas dos artigos sobre os temas discutidos nesse capítulo e que incluíam o termo irrigação, que há uma concentração das publicações no ano de 2022, quanto a países, na Índia; quanto ao veículo de publicação (periódico), o IEEE Access; e não houve autor que tenha tido mais de um artigo publicado na amostra. O crescimento das publicações no ano de 2022 demonstra que o tema está em evolução, ou seja, que há lacunas de pesquisa a serem preenchidas por trabalhos de diversos níveis na educação superior e para artigos. Nas análises observa-se, dentre as tecnologias da inteligência artificial (IA) (Machine Learning, Big Data, e IoT), que houve um número menor de artigos sobre Big Data (BD), o que pode significar que a tecnologia tem menor adoção na irrigação e/ou que tem recebido menor atenção nas pesquisas sobre irrigação e agricultura sustentável. Há outra possibilidade a ser investigada, talvez pela BD ter sido discutida no Brasil antes de o termo “inteligência artificial” ser popularizado, pode ser que ela não seja considerada por alguns autores como uma IA.

4.2 Síntese dos principais resultados encontrados na literatura

4.2.1 Agricultura, irrigação, inovação e tecnologias

Conforme mencionado na seção Método, a partir da busca descrita e do emprego do Prisma, encontrou-se um número de artigos que levaram aos resultados a serem apresentados nesta seção. A seguir, serão apresentados os resultados do capítulo, com base na discussão dos temas agricultura sustentável, irrigação e as tecnologias citadas.

Com o aquecimento global e as secas decorrentes em várias partes do mundo, a água está se tornando um recurso escasso em algumas áreas áridas, surgindo a necessidade de uma inovação no campo (BOURSIANIS et al., 2020). Assim, é imprescindível aumentar a eficiência do uso da água na agricultura, inclusive por meio de tecnologias (COELHO, 2022).

As tecnologias permitem combinar variáveis relacionadas ao solo, ao clima e à planta em um manejo adequado e eficiente da irrigação em comparação com práticas

tradicionais. O grande desafio na interação entre essas informações está no fluxo de dados, análise e criação de modelos que auxiliem na tomada de decisão. As áreas agrícolas apresentam variabilidade espacial, complexidade nas espécies cultivadas e variações climáticas que devem ser consideradas para a realização da irrigação. Dessa forma, é fundamental a utilização de tecnologias eficientes para auxiliar na gestão hídrica adequada em condições de campo (ALEMAN et al., 2022).

Os DSS servem como uma ferramenta de gestão das fazendas, auxiliando os administradores na tomada de decisão quanto à irrigação, se eles irrigam e, se sim, em qual campo e qual a quantidade ideal de água (SAGGI; JAIN, 2022). Aliadas a essa tecnologia, há diversas aplicações de IA na irrigação, como por exemplo, a avaliação de nutrientes e distribuição regular de água no solo que, ao avaliar a distribuição da umidade no solo, simula a regularidade da distribuição de água pelo aspersor (sprinkle) do sistema de irrigação. As tecnologias atuais, como IoT, ML, Lógica Fuzzy e Redes Neurais permitem o aprendizado na IA e auxiliam no desenvolvimento de tecnologias avançadas para o manejo de irrigação.

A IA relaciona estudos, pesquisa e desenvolvimento de mecanismos que são semelhantes ao raciocínio humano para perceber um ambiente e aplicar ações com maximização de sucesso (ALEMAN et al., 2022). A IoT inclui uma grande quantidade de sensores, drones, computação em nuvem e BD interconectados. O objetivo principal é integrar, utilizando algoritmos, todas as ferramentas e dados disponíveis em plataformas de softwares que permitam a comunicação e adaptação a diferentes cenários.

4.2.2 Agricultura sustentável, irrigação e IoT

A transição de uma agricultura tradicional para a produção que passou por uma transformação digital é entendida como o conceito de gestão agrícola. Esse conceito é baseado em observar, medir e responder à variação espaço-temporal do clima, solo, água/irrigação, e produtividade agrícola. O uso da IoT (por meio de diversos dispositivos) e suas aplicações ocorre em áreas como terras agrícolas, estufas, jardins florestais e pastos, onde se pode coletar dados sobre melhoramento agrícola ou plantio em tempo real, vem sendo cada vez mais importante na agricultura moderna

(AHMED et al., 2021; RAJENDRAKUMAR et al., 2019; KWOK e SUN, 2018; RAO, 2018; GOAP et al., 2018; CAMPOS et al, 2020).

A IoT é um sistema inteligente que mede a variabilidade espacial das propriedades do solo na agricultura, monitora as condições da propriedade rural, e planeja a irrigação. Os dispositivos do sistema incluem sensores, ferramentas avançadas, e outras tecnologias de IA sem a necessidade de o produtor estar no local (FERNANDEZ et al., 2018). As aplicações se baseiam no contexto em que dispositivos de sensoriamento são localizados, tais como localização geográfica, proximidade, temperatura, velocidade e direção do vento, radiação solar e umidade (AHMED et al., 2021; MOAMEN et al., 2014).

Em relação às atividades agrícolas, a IoT é utilizada no cultivo, irrigação, transporte, produção de energia renovável, gestão de rebanhos, entre outras relacionadas ao cultivo de grãos. Os dados provenientes dos sensores são diretamente enviados aos usuários finais, que utilizam dispositivos e a Internet para analisar e tomar decisões de forma correta. Os dados são continuamente compartilhados na nuvem para uso futuro e análises preditivas (KOUR et al., 2022; SINGH et al., 2021; SHU et al., 2021; ALMALKI et al., 2021; DU PREEZ, 2020).

Segundo Mohammed et al. (2021), o sistema automatizado da IoT via sensores auxilia o alcance da quantidade precisa que a cultura deve receber na irrigação, em lugar dos sistemas manuais. As vantagens do sistema são o crescimento acentuado das culturas, devido ao maior nível de nutriente fornecido à planta, devido a uma gestão mais profissional sem a irrigação manual e a capina. Além disso, essas aplicações podem reduzir os custos de produção e desafios operacionais para produtores de pequeno e grande porte (AHMED et al., 2021), assim como a independência concedida ao produtor, que pode controlar as ferramentas sem a necessidade de estar na área da produção (FERNANDEZ et al., 2018; TAWFEEK et al., 2022).

4.2.3 Agricultura sustentável, irrigação e Big Data

A tecnologia Big Data (BD) é um novo campo que se une às tecnologias de análises avançadas, data science, estatística e ML. A BD e as tecnologias de análise proporcionam benefícios significativos no desenvolvimento do setor agrícola. Essa

última tem melhorado as ferramentas e tecnologias que, com seus progressos, mudaram a forma das aplicações em tempo real para decisões mais precisas, para análises mais eficientes, e captura, estocagem e gerenciamento em larga escala dos dados (SAGGI; JAIN, 2022). Na agricultura, os avanços na tecnologia permitiram coletar dados de clima de fontes diferentes com alta resolução, rapidez e a baixo custo (HACHIMI et al., 2023).

A coleta e o armazenamento geram um volume de dados impressionante, que ocasiona problemas de eficiência, complexidade, interface, dinâmica, robustez, e de interação entre esses novos tipos de sistema conectados peer-to-peer, que precisam ser reexaminados em larga escala, a fim de obter conhecimentos valiosos para a tomada de decisão na agricultura (AMIN et al., 2022; HACHIMI et al., 2023).

Contudo, a geração e uso desses dados em sua forma bruta não faz sentido, levando à necessidade de uma infraestrutura e ferramentas para análise desses dados e transformação em informação e, posteriormente, em conhecimento, que podem ser alcançados com o uso da BD (HACHIMI et al., 2023).

Saggi e Jain (2022) aplicaram a BD na agricultura em um framework com a ML, que incluía:

- Origem dos dados: o domínio dos dados é expresso pela descrição dos termos;
- Armazenamento e processamento dos dados: tecnologia de base de dados, infraestrutura de armazenamento, armazenamento distribuído, modelo de programação e data staging, coleta, pré-processamento e diversas ferramentas para processamento em lote e streaming;
- Análise e visualização de dados: inclui ML, Data Mining, estatísticas, rede artificial neural, natural language processing, e modelos de deep learning models para agricultura baseada em aplicações como DSS, previsão de tempo, monitoramento do solo e detecção de pragas.

Esse framework e outras contribuições da teoria permitem que se ofereça ao setor agrícola uma “agricultura inteligente”, que eleva o rendimento das propriedades, reduz os custos, levando ao aumento dos ganhos dos produtores e, conseqüentemente, da sua qualidade de vida. Apesar desses benefícios, a BD pode

ter limitações relacionadas ao método correto para sua adoção pelas gerações futuras e à estratégia e ao esquema corretos para avanços futuros dependem de uma revisão do que se tem desenvolvido, das tendências e do potencial (inclusive financeiro dos pequenos e médios produtores) para as inovações tecnológicas (BHAT e HUANG, 2021).

4.2.4 Agricultura sustentável, irrigação e Machine Learning (ML)

Devido à escassez de água, é essencial que se realize o monitoramento da agricultura irrigada por meio das tecnologias de sensoriamento remoto (SR). O SR pode ser definido como a ciência que permite com que dados sejam adquiridos de uma superfície sem que haja contato direto entre o objeto que capta os dados (sensor) e o alvo, sendo esses dados imagens ou não. A aquisição de dados através de SR é realizada de acordo com o nível em que os sensores estão localizados, ou seja, quanto ao nível de aquisição de dados, classificando-se o SR em orbital, aéreo e proximal (terrestre) (ALEMAN et al., 2022).

Desde a última década, a ML e a Data Analytics têm sido os temas em destaque na área de pesquisa de agricultura (SAGGI; JAIN, 2022). A ML é a principal forma adotada para implementação da AI. O objetivo é alimentar a máquina com dados de experiências anteriores e estatísticas para executar tarefas para solucionar um problema específico. Esse tipo de sistema permite identificar áreas aptas e inaptas para irrigação, além de permitir o acompanhamento da evolução das áreas irrigadas ao longo do tempo (ALEMAN et al., 2022). Essas técnicas de ML podem ser utilizadas para relacionar informações de sensores de solo e estações meteorológicas para prever e recomendar irrigações, assim como ter conhecimento da água disponível da evaporação da superfície de lagos ou represas (ALEMAN et al., 2022; SAGGI; JAIN, 2022).

A ML utiliza algoritmos matemáticos atrelados ao domínio da BD, possibilitando desenvolver e validar modelos para classificar e analisar áreas para tomadas de decisão. A aplicação dessa técnica permite substituir modelos manuais de gestão da irrigação e viabilizar sistemas automáticos de apoio à irrigação (ABUZANOUNEH et al., 2022; ALEMAN et al., 2022).

Essas técnicas de ML podem ser utilizadas para relacionar informações de sensores de solo e estações meteorológicas para prever e recomendar irrigações, assim como ter conhecimento da água disponível da evaporação da superfície de lagos ou represas (ALEMAN et al., 2022; SAGGI; JAIN, 2022).

A programação da irrigação na agricultura tem se tornado uma atividade de gestão muito importante cujo propósito é alcançar o uso eficiente e eficaz da água. O objetivo da programação de uma irrigação correta é aplicar a quantidade certa de água na hora certa (SAGGI; JAIN, 2022; GLÓRIA et al., 2021).

Além das vantagens na produção de grãos, Saggi e Jain (2022) observaram que a ML tem demonstrado excelência na aplicação da programação da irrigação onde os métodos de irrigação por borda (border) e aspersão (sprinkler) são adotados. Além disso, com base em Wani et al. (2021), ML e Deep Learning (DL) auxiliam na identificação de doenças em plantas no estágio inicial, assim que elas aparecem nas folhas das plantas, prevenindo 'danos' e melhorando a qualidade e a quantidade daquilo que é produzido no campo.

Na irrigação, o sensor mede a temperatura e a umidade do solo a cada 10 minutos, sendo utilizada quando a umidade é menor. A irrigação inteligente automatizada é realizada pelo método Decision Tree (DT), que é uma técnica da ML, que treina o sistema de irrigação baseado na informação coletada para criar um módulo que poderia ser utilizado para examinar e prever dados residuais (BLASI et al., 2021).

Apesar de o mundo dos negócios estar em uma era de desenvolvimento tecnológico, algumas fazendas ainda adotam a forma tradicional de identificação de pragas, 'a olho nu', que ocasiona uma série de problemas. Assim, com o uso da Computer vision, da ML e da DL, tem-se benefícios como a detecção de forma precisa, rápida e preventiva das doenças dos grãos e frutas provenientes de uma série de pragas existentes (vírus, fungos, por meio de insetos, etc). Com isso, a automação pela 'perspectiva de um computador' e a precisão podem ser usadas para reduzir custos extras de trabalho, desperdício de tempo, e aumento da qualidade da plantação dos grãos (WANI et al., 2021).

No caso de captura das doenças de frutas e grãos, Wani et al. (2021) identificaram oito desafios: (i) presença de elementos em torno da imagem; (ii) condições da captura das imagens (presença de água e intensidade da luz); (iii)

sintomas que mudam com o tempo e as condições do ambiente em que a imagem foi capturada; (iv) tamanho do conjunto de dados; (v) variações dos sintomas (a solução seria captar as imagens em cada etapa da evolução da doença); (vi) doenças múltiplas e simultâneas; (vii) doenças diferentes com mesmos sintomas e (viii) padrões. A identificação desses desafios permite que haja ainda temas a serem explorados para outras pesquisas.

4.3 Proposições para apoiar e impulsionar a elaboração de políticas públicas

A fim de conceder suporte às políticas públicas, com base na literatura analisada, sugere-se:

- Acesso ao crédito a pequenos e médios produtores, a fim de essa parcela do setor agrícola tenha acesso às IAs e possam ter o desenvolvimento de uma agricultura sustentável em suas dimensões ambiental, econômica e social;
- Estímulo ao setor de tecnologia para a agricultura (pequenas e médias empresas - PMEs), que suporta a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) e a adoção de inovações tecnológicas junto aos produtores rurais;
- Estímulo, por meio de investimentos em Ciência, Tecnologia e Inovação, em universidades e centros de pesquisa no Brasil e nos Estados para uma maior interação, troca de conhecimento e tecnologia entre Universidades, empresas e governo.

5. Conclusão

O crescimento da população mundial previsto até 2050 requer um aumento da produção de agrícola de 70%. Entretanto, terras aráveis diminuem, assim como a disponibilidade de água para o cultivo. Esses fatos impõe a necessidade de busca de alternativas para aumento da produtividade agrícola. A agricultura passa por um momento de transformação digital, que apresenta soluções tecnológicas para coleta e análise de dados, suportando e melhorando a qualidade das decisões nesta direção. Dentre as tecnologias presentes na transformação digital está o uso da IA, dentro da qual tem-se ferramentas como a ML, a IoT e a BD.

Diante disso, os autores buscaram entender, a partir da revisão da literatura científica o cenário da aplicação dessas tecnologias no contexto da produção agrícola, e, especificamente, na agricultura irrigada. A busca encontrou poucos registros dentro desse contexto, o que mostra uma lacuna de conhecimento para desenvolvimento de trabalhos na academia e com aplicação no setor corporativo agrícola.

Quanto às publicações existentes, observa-se o seu uso quando há busca por maior agilidade, precisão, redução de desperdícios e melhor condições de trabalho ao agricultor. Esse conjunto de benefícios possibilita alcançar, por meio da adoção das tecnologias apresentadas na agricultura, a sustentabilidade em suas três dimensões (ambiental, econômica e social).

A coleta e avaliação dos dados da produção se tornam mais rápidas, precisas e abrangentes, contemplando cenários complexos, pela adoção das ferramentas de IA. Consequentemente, o produtor consegue fazer previsões e, se as informações forem parametrizadas, é possível tomar decisões em tempo real, tendo respostas rápidas às flutuações nas variáveis de mercado. Essas ações permitem, como os casos apresentados na literatura, aumentar a produtividade, reduzir custos e mitigar riscos.

Portanto, promover um ambiente que facilite a adoção de tecnologias se torna um fator imprescindível para a produção agrícola, seja pelo uso dos métodos em processos de irrigação ou não. Entretanto, é necessário observar as questões éticas e legais da adoção de tecnologias na produção agrícola, assim como das condições da população, para se evitar a substituição da mão de obra por novas tecnologias. Para estudos futuros, pretende-se aprofundar a discussão da literatura e investigar no campo, por meio de estudos de caso, a adoção das tecnologias da Agricultura 4.0 na irrigação, nas culturas de maior volume de exportação no Brasil.

Referências

ABUZANOUNEH, KHALIL I. M.; AL-WESABI, FAHD N.; ALBRAIKAN, A. AMANI; AL DUHAYYIM, MESFER; AL-SHABI, M.; HILAL, ANWER M.; ...; MUTHULAKSHMI, K. Design of Machine Learning Based Smart Irrigation System for Precision Agriculture. **Computers, Materials & Continua**, v. 72, n. 1, p. 109-124. 2022. DOI: 10.32604/cmc.2022.02264

AHMAD, Latief; NABI, Firasath. **Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT and Machine Learning**; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2021.

AHMED, Ahmed Abdelmoamen et al AHMED, Abdelmoamen. A.; AL OMARI, Suhib; AWAL, Ripendra; FARES, Ali; CHOUIKHA, Mohamed. A distributed system for supporting smart irrigation using Internet of Things technology. **Engineering Reports**, v. 3, n. 7, 2021. DOI:10.1002/eng2.12352

ALEMAN, Catariny Cabral; DA CUNHA, Fernando França; OLIVEIRA, Rubens Alves de; FILGUEIRAS, Roberto. **Tecnologias digitais para monitoramento da irrigação**. In PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni. (org.) Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia [recurso eletrônico] Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022.

ALMALKI, Faris A.; SOUFIENE, Bem O.; ALSAMHI, Saeed H.; SAKLI, Hedi. A low-cost platform for environmental smart farming monitoring system based on IoT and UAVs. **Sustainability**, 13, 5908, p. 1-26, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13115908>

AMIN, Farhan; ABBASI, Rashid; MATEEN, Abdul; ALI ABID, Muhammad; KHAN, Salabat. A Step toward Next-Generation Advancements in the Internet of Things Technologies. **Sensors**, v. 22, 8072, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22208072>

BHAT, Showkat A.; HUANG, Nen-Fu. Big data and AI revolution in precision agriculture: Survey and challenges. **IEEE Access**, 9, 110209-110222, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3102227.

BIRNER, Regina; DAUM, Thomas; PRAY, Carl. Who drives the digital revolution in agriculture? A review of supply-side trends, players and challenges. **Applied economic perspectives and policy**, v. 43, n. 4, p. 1260-1285, 2021. <https://doi.org/10.1002/aepp.13145>.

BLASI, Anas H.; ABBADI, Mohammad A.; AL-HUWEIMEL, Rufaydah. Machine learning approach for an automatic irrigation system in southern Jordan valley. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 11, n. 1, p. 6609-6613, 2021. <https://doi.org/10.48084/etasr.3944>

BOURSIANIS, Achilles D.; PAPADOPOULOU, Maria S.; GOTSIS, Antonis; WAN, Shaouha; SARIGIANNIDIS, Panagiotis; NIKOLAIDIS, Spyridon; GOUDOS, Sotirios K. Smart irrigation system for precision agriculture—The AREThOU5A IoT platform. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, n. 16, p. 17539-17547, 2020. doi: 10.1109/JSEN.2020.3033526.

CAMPOS, G. S. Nidia; ROCHA, Atslands; GONDIM, Rubens; DE SILVA, Ticiania L. C; GOMES Danielo G. Smart and green: an internet-of-things framework for smart irrigation. **Sensors**, v. 20, p. 1-25, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20010190>

COELHO, Rubens D. **A revolução azul no contexto da agricultura irrigada**. In PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni. (org.) Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia [recurso eletrônico] Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022.

DU PREEZ, Mari-Lise. **4IR and Water Smart Agriculture in Southern Africa: A Watch List of Key Technological Advances**; South African Institute of International Affairs: Johannesburg, South Africa, 2020.

FERNANDEZ, Javier; GARCÍA-CHAMIZO, Juan M.; NIETO-HIDALGO, Mário; MORA-MARTÍNEZ, José. Precision Agriculture Design Method Using a Distributed Computing Architecture on Internet of Things Context. **Sensors**, 18, 1731, 2018. <https://doi.org/10.3390/pr10112402>

GLÓRIA, André; CARDOSO, João; SEBASTIÃO, Pedro. Sustainable Irrigation System for Farming Supported by Machine Learning and Real-Time Sensor Data. **Sensors**, 21, pp. 1-26, 3079, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21093079>

GOAP, Amarendra; SHARMA, Deepak; SHUKLA, A. K.; KRISHNA C. Rama. An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open source technologies. **Comput Electron Agric.**, v. 155, p. 41-49, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>.

HACHIMI, Chouaib E.; BELAQZIZ, Salwa; KHABBA, Säid; SEBBAR, Badreddine; DHIBA, Driss; CHEHBOUNI, Abdelghani. Smart Weather Data management Based on Artificial Intelligence and Big Data Analytics for Precision Agriculture. **Agriculture**, v. 13, 95, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010095>

HRUSTEK, Larisa. Sustainability Driven by Agriculture through Digital Transformation. **Sustainability**, v. 12, n. 20, 8596, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12208596>

KHANNA, Madhu; ATALLAH, Shady S.; KAR, Saurajyoti; SHARMA, Bijay; WU, Linghui; YU, Chengzheng; CHOWDHARY, Girish; SOMAN, Chinmay; GUAN, Kaiyu. Digital transformation for a sustainable agriculture in the United States: Opportunities and challenges. **Agricultural Economics**, v. 53, n. 6, p. 924-937, 2022. <https://doi.org/10.1111/agec.12733>

KONDRATIEVA, Natalia B. EU agricultural digitalization decalogue. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v. 91, n. 6, p. 736-742, 2021. <https://doi.org/10.1134/S1019331621060150>

KOUR, Kanwalpreet; GUPTA, Deepali; GUPTA, Kamali; JUNEJA, Sapna; KAUR, Manjit; ALHARBI, Amal H.; LEE, Heung-No. Controlling Agronomic Variables of Saffron Crop Using IoT for Sustainable Agriculture. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5607, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095607>

KWOK, Jessica; SUN, Yu. **A Smart IoT-based irrigation system with automated plant recognition using deep learning**. In: Proceedings of the 10th International Conference on Computer Modeling and Simulation, Sydney, Australia; 2018:87-91 <https://doi.org/10.1145/3177457.3177506>

LIBERATI, A., ALTMAN, D.G., TETZLAFF, J., MULROW, C., GøTZSCHE, P., IOANNIDIS, J.P.A., *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews

and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **PLoS Med**, v. 6, n. 7, e1000100, 2009.

LIMA, Gustavo C.; FIGUEIREDO, Fabrício L.; BARBIERI, Armando E.; SEKI, Jorge. Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2021. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200100>

MOAMEN, Ahmed A.; JAMALI, Nadeem. **Coordinating crowd-sourced services**. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Services. Anchorage, AK, USA, p. 92-99, 2014. doi: 10.1109/MobServ.2014.22.

MOHAMMED, Maged; RIAD, Khaled; ALQAHTANI, Nashi. Efficient IoT-Based Control for a Smart Subsurface Irrigation System to Enhance Irrigation Management of Date Palm. **Sensors**, v. 21, 3942, pp. 1-28, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21123942>

MUANGPRATHUB, Jirapond; BOONNAM, Nathaphon; KAJORNKASIRAT, Siriwan; LEKBANGPONG, Narongsak; WANICHSOMBAT, Apirat; NILLAOR, Pichetwut. IoT and agriculture data analysis for smart farm. **Comput Electron Agric.**, 156, p. 467-474, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.Compag.2018.12.011>.

RAJENDRAKUMAR, Shiny; PARVATI, V. K.; RAJASHEKARAPPA, D. P. B. **Automation of irrigation system through embedded computing technology**. In Proceedings of the 3rd International Conference on Cryptography, Security and Privacy, Kuala Lumpur, Malaysia; 2019:289-293. <https://doi.org/10.1145/3309074.3309108>

RAO, R. N.; SRIDHAR, B. IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. In Proceedings of the International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, India; 2018:478-483. doi: 10.1109/ICISC.2018.8399118.

RODRIGUES, Lineu N.; DOMINGUES, Antônio F.; CHRISTOFIDIS, Demetrios. **Agricultura Irrigada e Produção Sustentável de Alimento**. In RODRIGUES, Lineu N.; DOMINGUES, Antônio F. (ed.) Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento. Brasília, DF: INOVAGRI, 2017.

RIJSWIJK, Kelly; KLERKX, Laurens; BACCO, Manlio; BARTOLINI, Fabio; BULTEN, Ellen; DEBRUYNE, Lies; DESSEIN, Joost; SCOTTI, Ivano; BRUNORI, Gianluca. Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. **Journal of Rural Studies**. v. 85, p.79-90, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>.

SAGGI, Mandeep K.; JAIN, Sushma. A Survey Towards Decision Support System on Smart Irrigation Scheduling Using Machine Learning approaches. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 29, n. 6, p. 4455-4478, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09746-3>

SHEPHERD, Mark; TURNER, James A.; SMALL, Bruce; WHEELER, David. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital

agriculture' revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, p. 5083-5092, 2020. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>

SHU, Lei; HANCKE, Gerhard P.; ABU-MAHFOUZ, Adnan M. Guest editorial: Sustainable and intelligent precision agriculture. **IEEE Trans. Ind. Inform.**, v. 17, 4318–4321, 2021. doi: 10.1109/TII.2020.3035198.

SILVA, Renato. **Pivô central: história, mercado, tecnologia e futuro**. In PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni. (org.) *Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia [recurso eletrônico]* Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022.

SINGH, Tribhuvan; NITIN, Saxena; KHURANA, Manju; SINGH, Dilbag; MOHAMED, Abdalla; HAMMAM, Alshazly. Data clustering using moth-flame optimization algorithm. **Sensors**, v. 21, 4086, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21124086>

TAWFEEK, M. A., ALANAZI, S., & EL-AZIZ, A. A. Smart Greenhouse Based on ANN and IOT. **Processes**, v. 10, n. 11, 2402, 2022. <https://doi.org/10.3390/pr10112402>

WANI, Javaid A.; SHARMA, Sparsh; MUZAMIL, Malik; AHMED, Suhaib; SHARMA, Surbhi; SINGH, Saurabh. Machine learning and deep learning based computational techniques in automatic agricultural diseases detection: Methodologies, applications, and challenges. **Arch Comput Methods Eng**, v. 29, p. 1–3, 2021, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09588-5>