

Potencial uso da inteligência artificial na atividade agrícola no contexto de regiões semiáridas como a Caatinga

Potential use of artificial intelligence in agricultural activity in semi-arid regions such as the Caatinga

Uso potencial de la inteligencia artificial en la actividad agrícola en el contexto de regiones semiáridas como la Caatinga

Marcelo da Costa Borba¹
Bibiana Melo Ramborger²
Murilo Campos Rocha Lima³
Josefa Edileide Santos Ramos⁴

¹ Doutor em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail:** marcelodcborba@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7173-1199>

² Doutora em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail:** bibianamr@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7334-6860>

³ Doutor em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail:** murilocampos86.mc@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7891-6102>

⁴ Doutora em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail:** edileideramos@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7678-257X>

Resumo: Este manuscrito tem como objetivo analisar o Potencial uso da inteligência artificial na atividade agrícola no contexto de regiões semiáridas como a Caatinga. Do ponto de vista dos aspectos metodológicos, a pesquisa é classificada como descritiva, uma vez que essa investigação leva em consideração o estudo acerca da exploração do conhecimento do tema abordado. Os resultados da aplicação dos métodos da IA na atividade agrícola incluem a detecção precoce de patógenos de pragas e doenças, a exploração de culturas, o monitoramento dos limites da fazenda, a análise de estruturas de irrigação e a vigilância do rebanho, com dispositivos integrados no sistema de produção agrícola. Os resultados também mostram que as práticas agrícolas têm sido modificadas com o desenvolvimento de tecnologias inteligentes capazes de impulsionar a produção de alimentos e as iniciativas de sustentabilidade.

Palavras-chave: agricultura 5.0; tomada de decisão; eficiência produtiva; agricultura inteligente.

Abstract: This manuscript aims to analyze the potential use of artificial intelligence in agricultural activity in the context of semi-arid regions such as the Caatinga. From the point of view of the methodological aspects, the research is classified as descriptive, since this investigation takes into account the study of the exploration of knowledge of the topic addressed. The results of the application of AI methods in agricultural activity include the early detection of pest and disease pathogens, crop scouting, monitoring of farm boundaries, analysis of irrigation structures and herd surveillance, with devices integrated into the agricultural production system. The results also show that agricultural practices have been modified with the development of intelligent technologies capable of boosting food production and sustainability initiatives.

Keywords: agriculture 5.0; decision making; productive efficiency; smart agriculture.

Resumen: Este manuscrito tiene como objetivo analizar el uso potencial de la inteligencia artificial en la actividad agrícola en el contexto de regiones semiáridas como la Caatinga. Desde el punto de vista de los aspectos metodológicos, la investigación se clasifica como descriptiva, ya que esta investigación tiene en cuenta el estudio de la exploración del conocimiento del tema abordado. Los resultados de la aplicación de los métodos de IA en la actividad agrícola incluyen la detección precoz de plagas y enfermedades patógenas, la exploración de cultivos, la vigilancia de los límites de las explotaciones, el análisis de las estructuras de irrigación y la vigilancia de rebaños, con dispositivos integrados en el sistema de producción agrícola. Los resultados también muestran que las prácticas agrícolas se han modificado con el desarrollo de tecnologías inteligentes capaces de impulsar la producción de alimentos y las iniciativas de sostenibilidad.

Palabras clave: agricultura 5.0; toma de decisiones; eficiencia productiva; agricultura inteligente.

1 INTRODUÇÃO

A abordagem de agricultura digital combina as novas tecnologias e os dados para otimizar a qualidade da gestão e do monitoramento das atividades agrícolas, de modo que a adoção das tecnologias aumentou a conectividade, a eficiência e a produtividade em diferentes setores. A fusão bem-sucedida de tecnologia e dados é dependente da coleta de parâmetros, da adoção de modelagem e da integração de tecnologia que está sendo implementada com precisão e de acordo com as necessidades das fazendas. No agronegócio, o uso de tecnologias disruptivas tem fortalecido a conectividade da cadeia de suprimentos de ponta a ponta, proporcionado o monitoramento e o controle de forma remota e em tempo real.

No Brasil, o setor corresponde a um dos pilares econômicos do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Assim como em outros setores, o agronegócio vem passando por inúmeras mudanças, principalmente na chamada Era da Informação. Se anteriormente o setor era visto como detentor de três fatores clássicos de produção (terra, trabalho e capital), viu surgir a “informação e conhecimento” como um quarto fator. Essa comprovação ganha pertinência ao abordar o desafio de dobrar o rendimento das colheitas até 2050, para possibilitar a alimentação de mais de nove bilhões de pessoas em todo o mundo. Em contrapartida a essa necessidade, a quantidade de terra arável nos países vem diminuindo, havendo necessidade de concentrar os esforços no emprego do conhecimento e da tecnologia para o aumento da produtividade.

Neste contexto, a Inteligência Artificial (IA) se torna relevante ao revelar uma variedade de tecnologias de potencial a serem aplicadas, fornecendo um cenário de domínio agrícola e ambiental por um conjunto cada vez maior de conhecimento publicamente acessível. A IA se origina da capacidade de simular o comportamento do cérebro humano para resolver problemas complexos e poder apresentar uma estratégia eficiente de simulação e otimização de processos na atividade agrícola.

A IA é caracterizada pela capacidade do sistema de interpretar corretamente dados externos, aprender a partir desses dados e utilizar essa aprendizagem para atingir objetivos e tarefas específicos por meio de

adaptação flexível. Assim, as técnicas de IA, como as redes neurais artificiais, são utilizadas para analisar dados agrícolas em prol da tomada de decisão. Esses bancos de dados (*Big Data*) podem ser coletados e transferidos por tecnologias como a Internet das Coisas (*Internet of Things* [IoT]). Tecnologias como a IoT e a Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) tendem a alavancar o desenvolvimento da IA no agronegócio.

Um exemplo desse tipo de contribuição é o emprego de ferramentas de modelagem no uso dos recursos hídricos, na racionalização de custos e na diminuição de esforços, sempre influenciando as variáveis complexas e inter-relacionadas dos processos produtivos. Os sistemas alimentares e agrícolas devem conciliar a necessidade de produzir alimentos em quantidade e qualidade sem a degradação dos ecossistemas ambientais, em uma perspectiva de transição da revolução da agricultura inteligente para a agricultura 5.0.

Na região Nordeste do Brasil, particularmente na zona semiárida, onde a agricultura é a principal atividade econômica e a pecuária ainda é realizada com um baixo nível tecnológico, conhecer melhor os paradigmas podem ser determinantes para a realização de um melhor planejamento e gestão dos recursos naturais. A zona semiárida nordestina corresponde a toda a área do bioma Caatinga, a maior e mais populosa região semiárida da América Latina, sendo extremamente vulnerável à degradação do solo, em decorrência de fatores climatológicos e antrópicos.

Ao realizar um levantamento das condições do agronegócio na Caatinga, é possível observar duas perspectivas distintas: a primeira corresponde à atividade agrícola tradicional, com os estabelecimentos da agricultura familiar, que produzem de forma convencional e pouco produtiva, sendo tipicamente praticada com baixo uso de insumos e composta por mais de uma atividade produtiva na mesma área, como a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva na maior parte do bioma; e a segunda é representada pela agricultura irrigada na Caatinga, a qual tem contribuído para o fortalecimento socioeconômico por meio de práticas agrícolas diversificadas, impulso à agroindústria e exportação de produtos em larga escala.

Essa divisão se tornou possível a partir da implementação de modernos sistemas de transporte de águas do Rio São Francisco ou de reservatórios

até as propriedades rurais em polos de desenvolvimento agrícola integrado, bem como pelo uso de alta tecnologia paralelamente associada à entrada de empresas agrícolas, agroquímicas, agroindustriais, atacadistas e varejistas. Este fato transformou áreas “marginais” em “vales” ou regiões integradas de desenvolvimento agrícola, que são os principais responsáveis por produzir e exportar frutas no Brasil.

Portanto, o potencial da utilização da IA pode permitir o desenvolvimento econômico e, ao mesmo tempo, melhorar os indicadores de sustentabilidade. Entender os princípios dos processos de um sistema tão amplo é um passo importante na direção a um melhor aspecto que permita encontrar soluções sólidas e sustentáveis para o agronegócio na Caatinga com o apoio da IA. Ao mesmo tempo, que o desenvolvimento da IA na Caatinga passa por variáveis ajustadas ao ambiente, visando a melhora na autocorrelação dos indicadores. Neste sentido, prever o uso dessa tecnologia no agronegócio no bioma vislumbra o desenvolvimento de sistemas agrícolas que visam conciliar a necessidade de produzir alimentos com o imperativo igualmente importante de garantir a não degradação dos ecossistemas locais.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este estudo constitui uma revisão sistemática da literatura, realizada com base na busca de publicações nas principais bases de dados bibliográficas: Science Direct, Scopus, Springer Link e Web of Science. Essa busca foi complementada por pesquisas em plataformas voltadas à ciência, tecnologia e inovação, como *ACM Digital Library*, *Google Scholar*, *IEEE Xplore* e *SciELO*. A escolha dessas bases se deve à sua ampla cobertura de literatura científica relevante ao tema proposto e à disponibilidade de recursos bibliométricos avançados, como sugestão de obras relacionadas e rastreamento de citações.

A estratégia de busca empregou a combinação de descritores em inglês: [(AI) OR (IA) OR (Artificial Intelligence) AND (agric*) AND (“semi-arid” OR “semiarid” OR caatinga)], abrangendo o período de publicação de 1965 a 2020. Os critérios de inclusão foram: artigos completos, de acesso aberto, redigidos em inglês ou português — sendo o inglês a principal língua das

publicações científicas nas bases utilizadas e o português relevante por se tratar da língua oficial da região de estudo.

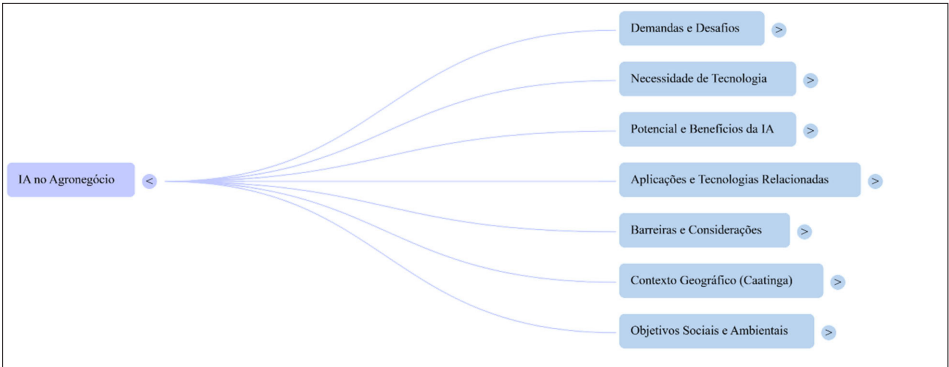
O processo de revisão sistemática foi desenvolvido em cinco etapas: (1) busca inicial nas bases com a combinação de descritores, seguida da importação dos arquivos em formato BibTeX para o software StArt (versão 3.3), utilizado para a organização dos dados e a identificação de duplicatas; (2) leitura dos títulos e resumos, com o objetivo de selecionar os artigos com alguma relação à questão de pesquisa; (3) análise das introduções e conclusões, priorizando os artigos que apresentavam indícios de resposta à pergunta da revisão; (4) leitura completa dos textos selecionados, com posterior avaliação da qualidade metodológica por meio de escala de Likert de cinco pontos — considerando-se para a seleção final os artigos classificados nos níveis 4 (concordo) e 5 (concordo totalmente); e (5) extração e sistematização de trechos (citações diretas) dos artigos finais que dialogassem diretamente com a questão de pesquisa.

A revisão foi conduzida conforme o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Prisma) proposto por Liberati *et al.* (2009), escolhido por sua estrutura clara, replicável e transparente. A pesquisa foi desenvolvida entre os meses de junho e novembro de 2024, por uma equipe composta por quatro pesquisadores — três responsáveis pela execução e um pela supervisão —, com o apoio dos softwares StArt (versão 3.3 Beta 03), utilizado para a triagem e a análise dos estudos, e Mendeley (versão 1.19.4), utilizado para a gestão das referências bibliográficas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aumento progressivo da população mundial exige continuamente o aumento na produção agrícola, e a adoção de tecnologias como a IA pode ser uma forma de atender às demandas da sociedade, como segurança alimentar, sustentabilidade e preservação ambiental (Alwis *et al.*, 2022). A partir de uma abordagem microeconômica dos sistemas de produção agrícola, é possível observar que a manutenção das culturas requer ganhos de produtividade ou redução de custos. Para isso, precisa-se avançar na adoção de tecnologias (Coelho Junior *et al.*, 2020). Ver Figura 1.

Figura 1 – Fatores principais do uso da IA no agronegócio na Caatinga

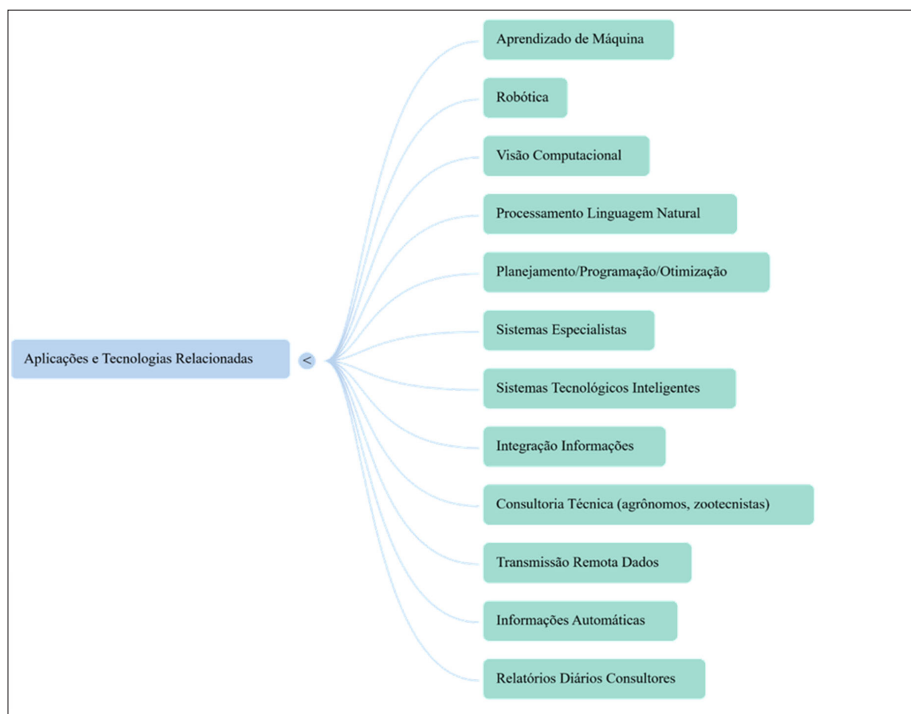


Fonte: pesquisa direta (2025).

O agronegócio é uma atividade antrópica que consome bastante água, ao mesmo tempo que as atividades agrícolas são altamente influenciadas pelas condições climáticas, principalmente por abrangerem o manejo do solo, a semeadura, a colheita, o transporte e o armazenamento dos produtos (Alwis *et al.*, 2022). Os frequentes eventos de seca que afetam as vastas áreas do globo impõem uma gestão cada vez mais cuidadosa dos recursos hídricos, tanto em escala global quanto na escala das bacias hidrográficas locais (Granata, 2019).

Nas regiões áridas e semiáridas, o problema é ainda mais grave, pois os períodos de alta demanda de água coincidem com os baixos períodos de chuvas (Alwis *et al.*, 2022). A produção agrícola, especialmente das culturas de sequeiro, flutua frequentemente nos ecossistemas limitados pela água, secas periódicas e chuvas irregulares (Salehnia *et al.*, 2019). No Brasil, a região semiárida (Caatinga) representa aproximadamente 57% do território nordestino e sua principal atividade econômica é a agricultura, em sua maioria, de subsistência (Ximenes, 2018). Ver Figura 2.

Figura 2 – Aplicabilidade da IA no agronegócio



Fonte: pesquisa direta (2025).

A tendência a longo prazo da precipitação e da temperatura mostra que pode haver o agravamento nas mudanças e ainda mais oscilações de produtividade (Salehnia *et al.*, 2019). Nesse sentido, o planejamento e o monitoramento das práticas agrícolas se tornam indispensáveis para aliviar os prováveis efeitos adversos. Faz-se, com isso, necessário avaliar as reais condições que satisfazem as necessidades das culturas, bem como as tecnologias disponíveis que auxiliem na viabilidade agrícola sustentável (Ximenes, 2018).

Para que isso ocorra, há a necessidade da intensificação do conhecimento em novas formas de gestão no agronegócio, algo que requer a adoção de tecnologias inteligentes, como a IA. O uso dessa tecnologia tem sido para muitas agências governamentais seu principal foco, dadas as preocupações sobre a significativa quantidade de dados que podem ajudar os produtores a melhorar a produtividade e a sustentabilidade (Grieve *et al.*, 2019).

Estima-se que as ferramentas de IA têm o potencial de crescimento agrícola até 2035, de 1,3% a 3,4%, um dos maiores aumentos percentuais de indústrias agrícolas estudadas (United Nations, 2019). Mesmo com essa perspectiva, no continente americano, a atividade agrícola ainda está atrasada na adoção de tecnologias com IA (DEFRA, 2018). Neste continente, a aplicação da IA sofre resistência por práticas tradicionais e por barreiras econômicas/tecnológicas (Silveira; Lermen; Amaral, 2021).

Essa influência se baseia em modelos lineares de transferência de tecnologia para os agricultores, em que as inovações derivam da capacidade de ganhos de produtividade e modelagem das práticas atuais de manejo dos recursos naturais (Bughin *et al.*, 2018). Considerando as atuais restrições financeiras e tecnológicas, essas tendências, isoladas ou coletivas, representam uma pressão adicional sobre os recursos já escassos nos biomas. Assim, é cada vez mais reconhecida a inevitabilidade de assegurar que as motivações, sensibilidades, prioridades e conhecimento dos agricultores sejam adequadamente integrados com as tecnologias. Com isso, o uso da IA passa a somar potencialmente no apoio à eficiência operacional e à tomada de decisão.

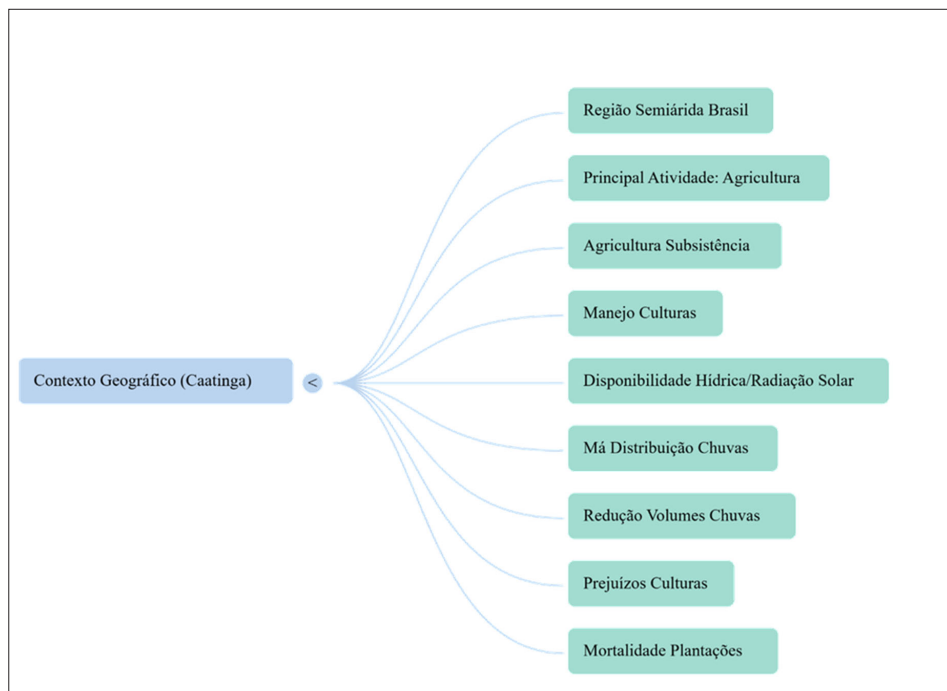
Ao analisar o contexto econômico, a dinâmica das inovações e as mudanças estruturais na economia e na sociedade mostram que as revoluções tecnológicas se originam do desenvolvimento científico anterior em outras áreas do conhecimento (Freeman; Perez, 1989). Posteriormente, esse conhecimento científico passa por desenvolvimento tecnológico e comercial nas organizações (Silveira; Lermen; Amaral, 2021). Assim, para entender o processo de desenvolvimento tecnológico e inovação com a IA, é importante compreender o cenário atual da ciência e o estado da arte da produção científica sobre a temática.

A atividade agrícola requer uma melhor compreensão para lidar com a complexidade, as incertezas e as imprecisões inerentes à alimentação da população mundial em crescimento, com necessidade de aumento contínuo na produção de alimentos, mas com o limitador de terra arável (Pivoto *et al.*, 2018). Novas soluções nos aspectos da produção agrícola tendem a ser a solução viável, desde um planejamento previsível da safra até a agricultura de precisão, a aplicação otimizada de recursos e o apoio a projetos eficientes

(Alzoubi; Almaliki; Mirzaei, 2019). Isso implica também no desenvolvimento de processos que utilizem tecnologias poupadoras de recursos e que sejam capazes de alcançar soluções autônomas, de forma parcial ou total, até o desenvolvimento sustentável no longo prazo.

Na Caatinga, o manejo adequado das culturas agrícolas implica em conhecer os padrões de crescimento de cada variedade, fazendo com que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, permitindo que a cultura expresse todo seu potencial produtivo (Vrochidou *et al.*, 2022). No entanto, a má distribuição e a redução dos volumes de chuvas têm sido uma constante na região nos últimos anos (2015-2018), trazendo prejuízos culturas, com a mortalidade e a renovação precoce das plantações (Ximenes, 2018). Ver Figura 3.

Figura 3 – Contexto agrícola na Caatinga



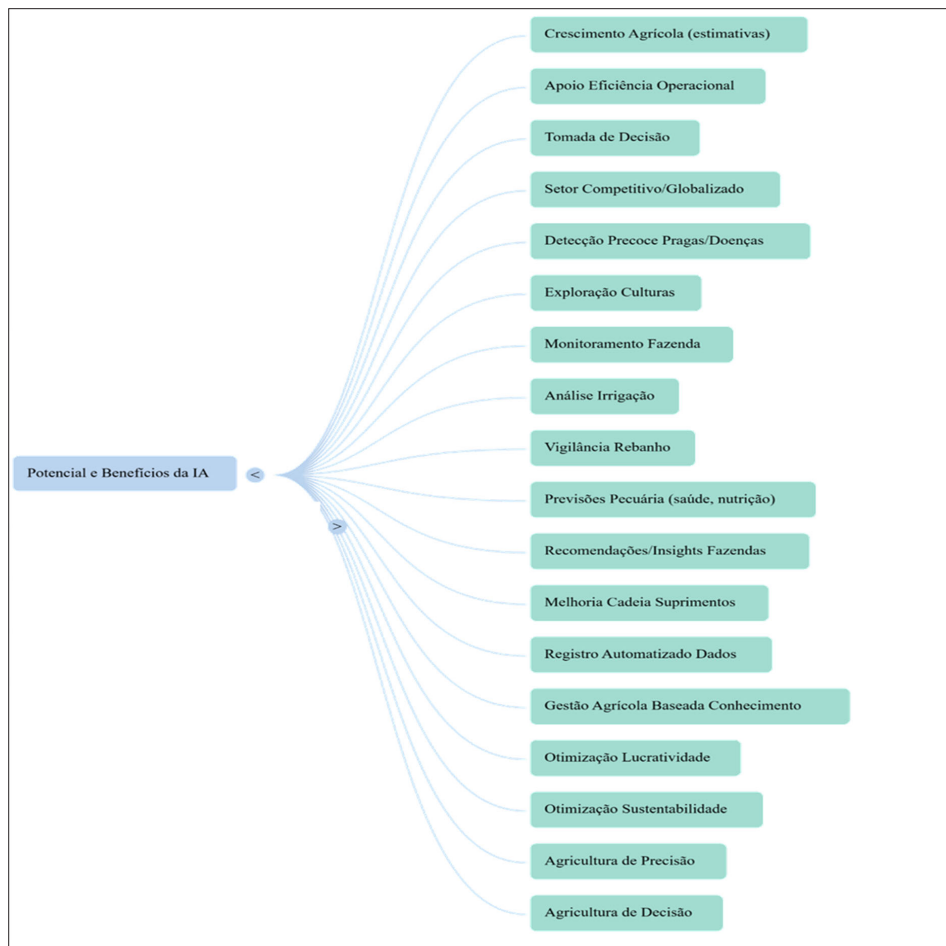
Fonte: pesquisa direta (2025).

O paradigma de integrar as informações da agricultura abre perspectivas para os produtores e mudanças para os gestores (Atwell; Wuddivira, 2022). Um aspecto a ser destacado é a possibilidade de um relacionamento consultivo com profissionais técnicos da área, a exemplo de administradores, agrônomos e zootecnistas (Ahmad *et al.*, 2022). Com maior volume de dados remotamente transmitidos e informações automáticas, os consultores podem enviar relatórios e informações diárias aos agricultores, buscando uma melhor assistência administrativa (Vrochidou *et al.*, 2022). Além disso, as novas tecnologias tendem a contribuir na identificação de soluções potenciais para a sociedade local, visando conciliar a conservação ambiental, a prosperidade socioeconômica, o desenvolvimento rural e as mudanças climáticas (Bilali; Taleb, 2020).

O uso de IA na atividade agrícola pode ajudar na detecção precoce do patógeno de pragas e doenças, na exploração de culturas, na propagação reversa para o monitoramento dos limites da fazenda, na análise de estruturas de irrigação e na vigilância do rebanho com os dispositivos integrados no sistema de produção agrícola (Vrochidou *et al.*, 2022). A adoção de métodos de IA na pecuária demonstrou grande potencial por meio das previsões em tempo real de saúde, bem-estar, nutrição e reprodução em nível individual e de grupo. Nesse sentido, tais métodos podem ser bem mais eficazes se integrados a um sistema de informação geral, constituído por ações que podem ser geridas pelo proprietário agrícola.

Ao aplicar os métodos da IA no meio agrícola (ver Figura 4), os estudos apontaram para a perspectiva de os sistemas das fazendas passarem a oferecer recomendações e insights mais ricos para a tomada de decisões e a melhoria das etapas da cadeia de suprimentos agrícola. Essa relação forma um registro automatizado de dados, análise, implementação e gestão agrícola baseados no conhecimento. Para esse escopo, espera-se que o uso dos métodos de IA seja ainda mais difundido, permitindo a integração dos métodos.

Figura 4 – Potenciais ações e uso de IA em regiões semiáridas



Fonte: pesquisa direta (2025).

Avanços no aprendizado de máquina, robótica, visão computacional, processamento de linguagem natural, planejamento, programação e otimização, sistemas especialistas e fala tendem a permitir um maior desenvolvimento e a implementação de sistemas tecnológicos inteligentes no meio rural. Além disso, quando integradas(os), tais tecnologias/recursos são capazes de fornecer informações efetivas da atividade.

A iniciativa de utilizar essas tecnologias para converter os dados precisos em conhecimento para apoiar e impulsionar a complexa tomada

de decisões na fazenda e ao longo da cadeia de valor permitirá mudanças significativas desde a agricultura de precisão até a agricultura de decisão. O gerenciamento e a tomada de decisão se tornarão cada vez mais precisos, otimizando a lucratividade, a produtividade e a sustentabilidade por meio da compreensão do conjunto de dados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Certamente, a busca por alternativas no bioma passa por avanços científicos e tecnológicos de desenvolvimento de plantas com resistência aos principais estresses climáticos e biológicos, bem como melhorias na produtividade da cultura e qualidade da matéria-prima, das sementes, dos frutos e dos pseudofrutos. Isso é algo que requer tempo para gerar resultados expressivos, como o melhoramento do feijão comum, do algodão, do caju ou da uva. A continuidade desses programas com mais de três décadas tem proporcionado resultados positivos, como é o caso do algodão naturalmente colorido, que gerou a reedição da significativa cadeia produtiva para a economia local, empregos e o fortalecimento da indústria têxtil. Outrossim, o melhoramento genético também contribuiu para o aumento da população de animais na pecuária. Nisso, instituições de pesquisa como a Embrapa, os institutos agrônômicos estaduais e as universidades têm de fomentar o desenvolvimento de produtos geneticamente modificados por meio de pesquisas contextuais para o semiárido.

Os resultados permitem inferir que a adoção e o desenvolvimento de IA na agricultura brasileira ainda se encontram em fase inicial, com agentes buscando conhecer as oportunidades dessa ferramenta para os negócios no setor agrícola. Além disso, o fornecimento e o desenvolvimento de ferramentas de IA estão atualmente concentrados em máquinas e equipamentos, tendo as instituições de pesquisa o papel de desenvolvimento e implantação dos protótipos em áreas integradas. Na Caatinga, os estudos são bem reduzidos, sendo notório a necessidade de expansão da temática, assim como deve ocorrer em outros locais semiáridos.

A necessidade fundamentada no conhecimento reflete uma demanda local por uma agenda de pesquisa e produção em diversos setores agrícolas

pela inserção da temática da inovação. Fatores como eficiência, qualidade ambiental, conservação, qualidade do produto, capital social e bem-estar e saúde animal refletem exemplos de carências para o uso de ferramentas técnicas e tecnológicas, para suprir o déficit por demanda de mão de obra de prestadores de serviços agrícolas ou para reparar a deficiência na infraestrutura local e a dificuldade no acesso a mercados.

A compreensão da perspectiva para o uso da IA no agronegócio na Caatinga é atraente, mas os desafios acima precisam ser abordados para aumentar a aceitação de aplicações da IA. Assim, há etapas que devem ser superadas até a devida aplicação da IA no bioma, de modo que o local carece do abrandamento de barreiras estruturais. Fatores como baixo uso de tecnologias na maior parte do bioma e pouca produtividade da terra e do trabalho tem resultado na depreciação da atividade agrícola.

Alinhado a esses fatores, deve-se considerar ainda os desafios: (1) econômicos e sociais, como custos das tecnologias digitais, conectividade no campo, sucessão familiar rural, desenvolvimento rural sustentável; e (2) científicos e tecnológicos, como serviços digitais on-line, gestão e monitoramento da produção animal e vegetal e gerenciamento das bases de dados da atividade agrícola, com o objetivo de alcançar as oportunidades e tendências como mercado consumidor na era digital, plataformas digitais e multiverso, sistemas de cenários de riscos futuros, rastreabilidade e certificações, capacitações em agricultura digital e autônomas, tecnologias digitais disruptivas e sociedade 5.0.

As práticas agrícolas têm sido modificadas nas últimas décadas com o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de impulsionar a produção de alimentos, mesmo na Caatinga. Com base nas descobertas, a atividade agrícola na Caatinga ainda se encontra nos estágios de desenvolvimento da segunda e terceira revoluções agrícolas. Isso levando em consideração a baixa quantidade de estudos disponíveis sobre o uso de tecnologias no meio agrícola na Caatinga. Porém, as crescentes preocupações do público com o consumo de alimentos baseados numa interação dinâmica humano-natureza podem impulsionar as tendências para o uso de tecnologias inteligentes.

Um ponto a destacar é a necessidade do fortalecimento das Empresas de Assistência Técnica e Extensão Rural (Aters) estaduais, pois a maioria

dos estados do Nordeste possuem ações que se encontram sucateadas, uma vez que são elas as responsáveis principais no auxílio dos produtores na profissionalização das atividades. A assistência técnica tende também a contribuir para a modernização tecnológica em vista à superação de gargalos competitivos da agropecuária. Mesmo que a falta de tecnificação não seja o único empecilho na atividade, o maior conhecimento e controle de qualidade na pecuária leiteira ou mesmo o melhor aproveitamento da área total da propriedade para a pecuária de corte também são problemas a serem sanados.

Na produção animal, há ainda a necessidade de alinhamento às estratégias de convivência com o semiárido, já que ocorre de forma paralela à exploração da agricultura de sequeiro. Do mesmo modo, também deve ser fomentado o fortalecimento de instituições como as cooperativas, pouco difundidas na região, e as agroindústrias, que propendem a valorização da industrialização da produção da agrícola familiar.

Prevê-se que o impacto das mudanças climática ultrapasse as fronteiras das culturas, dos sistemas de cultivo, das rotações e da biota, afetando, com isso, os fatores econômicos, sociais, culturais e, principalmente, ambientais. Nesse sentido, a manutenção do equilíbrio no sistema passa pela imprescindibilidade de novos conhecimentos, políticas alternativas e mudanças socioambientais.

Assim, no enfrentamento dos desafios, faz-se necessário novos paradigmas na pesquisa agrícola e na transferência tecnológica que faça uso da ciência e de tecnologias modernas (como IA) em conjunto com o conhecimento tradicional (técnicas sociais). Entretanto, isso exige mais investimento por parte do poder público e apoio das organizações de fomento à sustentabilidade na Caatinga, a fim de ancorar as pesquisas integradas e os esforços de desenvolvimento sustentável com a participação da comunidade local. Essa abordagem pode permitir que as comunidades das áreas de sequeiro usem os recursos naturais na perspectiva de convivência com o semiárido.

Os desafios da agricultura exigem amplas alternativas por meio de tecnologias disruptivas, e novas tendências permitem abordar várias soluções. No geral, este estudo contribui para a propagação de pesquisas que estão sendo realizadas em torno do agronegócio na Caatinga e da agricultura 5.0.

5 AGRADECIMENTO

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – Código de Financiamento 001. E contou com o apoio intelectual e técnico do Grupo de Pesquisa i9 – Inteligência artificial, Negócios, Organizações, Vantagem competitiva e Empreendedorismo.

REFERÊNCIAS

AHMAD, U.; NASIRAHMADI, A.; HENSEL, O.; MARINO, S. Technology and Data Fusion Methods to Enhance Site-Specific Crop Monitoring. *Agronomy*, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 555, 2022.

ALWIS, S.; HOU, Z.; ZHANG, Y.; NA, M. H.; OFOGHI, B.; SAJJANHAR, A. A survey on smart farming data, applications and techniques. *Computers in Industry*, v. 138, n. 1, p. 103624, 2022.

ALZOUBI, I.; ALMALIKI, S.; MIRZAEI, F. Prediction of environmental indicators in land leveling using artificial intelligence techniques. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, Cham, v. 6, n. 1, p. 4, 2019.

ATWELL, M. A.; WUDDIVIRA, M. N. Soil organic carbon characterization in a tropical ecosystem under different land uses using proximal soil sensing technique. *Archives of Agronomy and Soil Science*, [S. l.], v. 68, n. 3, p. 297-310, 2022.

BILALI, A.; TALEB, A. Prediction of irrigation water quality parameters using machine learning models in a semi-arid environment. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, [S. l.], v. 19, n. 7, p. 439-451, 2020.

BUGHIN, J. *et al.* Notes from the AI frontier: Modeling the global economic impact of AI. *McKinsey Global Institute*, New York, p. 1-64, 2018.

COELHO JUNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G.; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, M. L. L.; FONSECA, M. B. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 72, 2020.

DEFRA. *The Future Farming and Environment Evidence Compendium*. London: UK Government Statistical Service, 2018.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment: business cycles and investment behaviour. *Technical change and economic theory*, London, 1989.

GRANATA, F. Evapotranspiration evaluation models based on machine learning algorithms—A comparative study. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 217, p. 303–315, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.015>.

GRIEVE, B. D.; DUCKETT, T.; COLLISON, M.; BOYD, L.; WEST, J.; YIN, H.; ARVIN, F.; PEARSON, S. The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. *Global Food Security*, New York, v. 23, p. 116-124, 2019.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *Bmj*, v. 339, 2009.

PIVOTO, D.; WAQUIL, P. D.; WAQUIL, E.; WAQUIL, C. P. S.; CORTE, V. F. D.; MORES, G. V. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 21-32, 2018.

SALEHNIA, N.; SALEHNIA, N.; ANSARI, H.; KOLSOUIMI, S.; BANNAYAN, M. Climate data clustering effects on arid and semi-arid rainfed wheat yield: a comparison of artificial intelligence and K-means approaches. *International Journal of Biometeorology*, London, v. 63, n. 7, p. 1-9, 2019.

SILVEIRA, F.; LERMEN, F. H.; AMARAL, F. G. An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers and Electronics in Agriculture*, [S. l.], v. 189, p. 106405, oct. 2021.

UNITED NATIONS. *World Population Prospects 2019: Highlights*. New York: United Nations 2019.

VROCHIDOU, E.; OUSTADAKIS, D.; KEFALAS, A.; PAPAKOSTAS, G. A. Computer vision in self-steering tractors. *Machines*, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 129, 2022.

XIMENES, L. J. F. *BNB Setorial*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2018.

