

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS - DEPS
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ELÉTRICA

Rômulo Fernandes Evangelista

Perspectivas e tendências da Agroindústria 4.0

Florianópolis

2023

Rômulo Fernandes Evangelista

Perspectivas e tendências da Agroindústria 4.0

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Elétrico do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica com Habilitação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr. -Ing.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Evangelista, Rômulo Fernandes

Perspectivas e tendências da Agroindústria 4.0 / Rômulo
Fernandes Evangelista ; orientador, Enzo Morosini Frazzon,
2023.

133 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Produção Elétrica, Florianópolis,
2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. agroindústria,
tecnologias 4.0. I. Frazzon, Enzo Morosini. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Produção Elétrica. III. Título.

Rômulo Fernandes Evangelista

Perspectivas e tendências da Agroindústria 4.0

Florianópolis, 13 de Junho de 2023.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta dos seguintes membros

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr. -Ing.
Orientador(a)

Prof. Diego de Castro Fettermann, Dr.
Instituição UFSC

Djonathan Quadras
Instituição UFSC

Certifico que esta é a versão final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo autor e julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica com habilitação em Engenharia de Produção

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr. -Ing.
Orientador

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Maria José Fernandes e Vicente Evangelista Neto, à minha namorada Cristiele Lunkes e aos meus queridos amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Maria José Fernandes e Vicente Evangelista neto, que me trouxeram para esse mundo, me criaram segundo seu melhor exemplo e com total dedicação, tornaram mais esse sonho possível e nunca deixaram de acreditar em mim, principalmente nos piores momentos.

À minha namorada Cristiele Lunkes, pelo companheirismo do qual compartilhamos no nosso dia a dia e pela paciência, compreensão, motivação e ajuda dispensados a mim durante a realização do presente trabalho.

Aos meus amigos queridos Leandro Barreto, Amanda Shiokawa, Rodrigo Barreto, Diego Cunha, Lucas Lacava, Thiago Oitaven pelo apoio, companheirismo, dedicação e irmandade presente entre nós.

Ao professor Enzo Morosini Frazzon, pelo suporte inestimável e orientação durante a elaboração do meu trabalho de conclusão de curso. Sua dedicação, conhecimento e disponibilidade foram fundamentais para o sucesso deste projeto. Além disso, o compromisso e paciência demonstradas por ele ao responder dúvidas e fornecer orientações foram inspiradores.

Ao meu colega e amigo Djonathan Quadras. Sua disposição em compartilhar conhecimentos, colaborar em projetos e apoiar os demais colegas foram verdadeiramente inspiradoras. Foi um privilégio poder contar com sua amizade e parceria ao longo dessa jornada. Agradeço imensamente pela sua dedicação, pelo trabalho em equipe e pelo apoio mútuo.

Aos professores Monica Maria Mendes Luna, Walter Pereira Carpes Júnior e Emilio Ernesto Paladino pela dedicação e excelência em suas aulas ao longo de todo o curso. Através do seu comprometimento em transmitir conhecimento e compartilhar suas experiências, esses professores foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Finalmente, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus colegas da equipe RNG, do Laboratório Bridge. Sou extremamente grato por ter a oportunidade de trabalhar com uma equipe tão colaborativa e acolhedora. Obrigado por me ajudarem a trilhar meus primeiros passos no mercado profissional e por serem fonte constante de inspiração e aprendizado.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo comparar os estudos acadêmicos e as aplicações empresariais das tecnologias 4.0 no contexto da agroindústria em diferentes regiões do mundo. A pesquisa envolveu a análise do estado-da-arte e do estado-da-prática, explorando a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no agronegócio. Por meio de uma revisão sistemática dos artigos, utilizando a metodologia PRISMA, foram selecionados 125 trabalhos relevantes. Os resultados revelaram que a indústria 4.0 está transformando o agronegócio, oferecendo um conjunto diversificado de tecnologias com potencial para aumentar a eficiência e a produtividade do setor. Foi identificada uma lacuna entre os estudos acadêmicos e as aplicações empresariais no que diz respeito aos sistemas cyber-físicos no agronegócio. Embora as empresas e os estudos tenham mencionado diferentes tecnologias, como IoT (Internet das Coisas ou *Internet of Things*), *drones*, computação em nuvem, *Big Data*, IA, *blockchain* e conectividade 5G, observou-se que a adoção e a ênfase variaram em cada região. Na África, houve um maior interesse acadêmico na IoT e uma presença expressiva de estudos nessa área. A IA foi igualmente mencionada por empresas e estudos. As empresas mostraram atenção ao uso de *Big Data* e *blockchain*, enquanto os estudos focaram nos *drones* como ferramenta inovadora. Na América do Norte, as empresas demonstraram uma maior adoção prática da IoT, computação em nuvem, *Big Data* e IA. *Blockchain* e *drones* foram mencionados exclusivamente pelas empresas. Na América do Sul, houve um maior número de estudos que mencionaram a IoT, enquanto as empresas focaram mais em IA, computação em nuvem e *Big Data*. A conectividade 5G foi mencionada exclusivamente nos estudos, e os *drones* foram mais citados pelas empresas. Na Ásia, a IoT foi a tecnologia mais estudada, enquanto os *drones* foram mais citados pelas empresas. A conectividade 5G e *blockchain* foram mencionadas igualmente por empresas e estudos, indicando interesse em explorar essas tecnologias emergentes. Os sistemas cyber-físicos foram mencionados apenas nos estudos. Na Europa, a IoT foi amplamente citada por empresas e estudos, assim como a computação em nuvem. As empresas também mostraram atenção para a IA e o *Big Data*, enquanto os estudos mencionaram o *data warehouse*. *Blockchain* e *drones* foram mencionados apenas pelas empresas. Na Oceania, as empresas citaram principalmente IoT e computação em nuvem, enquanto a IA foi mencionada apenas nos estudos. Os *drones* também foram mais citados pelas empresas. Com base nas descobertas deste estudo, são sugeridas direções para trabalhos futuros, incluindo uma maior exploração do campo na África, considerando possíveis razões para a falta de estudos nessa região. Além disso, a inclusão de outras línguas e a variação geográfica das pesquisas podem fornecer uma visão mais ampla das aplicações das tecnologias 4.0 na agroindústria em todo o mundo.

Palavras-chave: agronegócio; indústria 4.0; tecnologia; sistemas cyber-físicos; IoT; Internet das Coisas; agroindústria.

ABSTRACT

This work aimed to compare academic studies and business applications of Industry 4.0 technologies in the context of agribusiness in different regions of the world. The research involved the analysis of the state-of-the-art and the state-of-practice, exploring the application of Industry 4.0 technologies in agriculture. Through a systematic review of articles, using the PRISMA methodology, 125 relevant works were selected. The results revealed that Industry 4.0 is transforming agribusiness, offering a diverse set of technologies with the potential to increase efficiency and productivity in the sector. A gap was identified between academic studies and business applications regarding cyber-physical systems in agribusiness. Although companies and studies mentioned different technologies such as IoT (Internet of Things), drones, cloud computing, Big Data, AI, blockchain, and 5G connectivity, it was observed that adoption and emphasis varied in each region. In Africa, there was a greater academic interest in IoT and a significant presence of studies in this area. AI was equally mentioned by companies and studies. Companies showed attention to the use of Big Data and blockchain, while studies focused on drones as an innovative tool. In North America, companies demonstrated a greater practical adoption of IoT, cloud computing, Big Data, and AI. Blockchain and drones were exclusively mentioned by companies. In South America, there was a higher number of studies that mentioned IoT, while companies focused more on AI, cloud computing, and Big Data. 5G connectivity was exclusively mentioned in studies, and drones were more cited by companies. In Asia, IoT was the most studied technology, while drones were more cited by companies. 5G connectivity and blockchain were equally mentioned by companies and studies, indicating an interest in exploring these emerging technologies. Cyber-physical systems were mentioned only in studies. In Europe, IoT was widely cited by companies and studies, as well as cloud computing. Companies also showed attention to AI and Big Data, while studies mentioned data warehousing. Blockchain and drones were mentioned only by companies. In Oceania, companies mainly cited IoT and cloud computing, while AI was mentioned only in studies. Drones were also more cited by companies. Based on the findings of this study, directions for future work are suggested, including further exploration of the field in Africa, considering possible reasons for the lack of studies in this region. Furthermore, the inclusion of other languages and geographical variation in research can provide a broader view of the applications of Industry 4.0 technologies in agribusiness worldwide.

Keywords: agribusiness; Industry 4.0; technology; cyber-physical systems; IoT; Internet of Things; agro-industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos Metodológicos do trabalho	29
Figura 2 – Fluxo dos artigos	30
Figura 3 – Proporção das citações das tecnologias nos produtos	33
Figura 4 – Proporção das citações das tecnologias nos estudos.....	35
Figura 5 – Número de artigos por ano.....	39
Figura 6 – Estudos de tecnologias 4.0 por continente.....	39
Figura 7 – Empresas e suas tecnologias por continente	51
Figura 8 – Tecnologias nos estudos e empresas da Ásia	69
Figura 9 – Tecnologias nos estudos e empresas da América do Sul	75
Figura 10 – Tecnologias nos estudos e empresas da América do Norte	80
Figura 11 – Tecnologias nos estudos e empresas da Europa	85
Figura 12 – Tecnologias nos estudos e empresas da África	92
Figura 13 – Tecnologias nos estudos e empresas da Oceania.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Termos de busca da pesquisa documental	31
Tabela 2 – Artigos analisados nos estudos e suas tecnologias	117
Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica.....	121
Tabela 4 – Empresas e tecnologias divulgadas em seus produtos.....	127
Tabela 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 segundo MAHDIRAJI et al.....	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IoT	<i>Internet of Things</i> , ou Internet das Coisas
IA	Inteligência Artificial
LoRa	<i>Long Range</i> , ou Longo Alcance
MRP	<i>Materials Requirement Planning</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo Geral	22
1.2.2	Objetivos Específicos	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0	23
2.2	DEFINIÇÕES	23
2.2.1	Internet das Coisas	23
2.2.2	Inteligência Artificial	24
2.2.3	Conexão 5G	24
2.2.4	Drones	24
2.2.5	Computação em Nuvem	25
2.2.6	Data Warehouse	26
2.2.7	Big Data	26
2.2.8	Blockchain	26
2.2.9	Sistemas Cyber-Físicos	27
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	28
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	28
3.2.1	Revisão da Literatura	29
3.2.2	Revisão da Prática	30
3.2.3	Fontes de pesquisa para a Revisão da Prática	31
4	RESULTADOS	33
4.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	33
4.1.1	Ásia	41
4.1.2	América do Sul	44
4.1.3	Europa	46
4.1.4	África	47
4.1.5	América do Norte	49

4.1.6	Oceania	50
4.2	REVISÃO DA PRÁTICA.....	51
4.2.1	América do Sul.....	52
4.2.2	América do Norte	54
4.2.3	Ásia	58
4.2.4	Europa.....	61
4.2.5	Oceania	66
4.2.6	África.....	67
4.3	COMPARAÇÃO	68
4.3.1	Ásia	68
4.3.2	América do Sul	75
4.3.3	América do Norte	79
4.3.4	Europa.....	85
4.3.5	África.....	91
4.3.6	Oceania	94
5	CONCLUSÃO	97
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A – ARTIGOS E TECNOLOGIAS ABORDADAS	117
	APÊNDICE B – ARTIGOS E TÍTULOS	121
	APÊNDICE C – EMPRESAS E TECNOLOGIAS ABORDADAS	127
	ANEXO A – TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS.....	132

1 INTRODUÇÃO

Os impactos dos aumentos de preços e a crise alimentar em larga escala têm recebido grande atenção no que diz respeito às dimensões geopolíticas da segurança alimentar e às mudanças nas geografias políticas dos sistemas agroalimentares de maneira geral. Tanto em fóruns populares quanto em debates políticos, a segurança alimentar tem sido cada vez mais reconhecida como uma questão urgente que exige cálculos e estratégias geopolíticas, e é considerada um tema central nas discussões sobre segurança nacional e humana, mudanças climáticas, desenvolvimento e desigualdade global (SOMMERVILLE; ESSEX; LE BILLON, 2014).

A agroindústria desempenha um papel de destaque nas relações geopolíticas internacionais, como evidenciado pelo recente conflito entre Rússia e Ucrânia. Esses dois países são importantes produtores e exportadores mundiais de grãos, representando 12% e 17% das exportações globais de trigo, respectivamente (LIN, 2023). Observações por satélite indicaram sinais de redução na produção de trigo na Ucrânia durante a temporada 2021-2022 (LIN, 2023). Ao analisar os possíveis impactos do conflito no mercado global de trigo usando um modelo de equilíbrio geral do comércio, foi constatado que o conflito resultaria em uma queda no comércio (60%), aumento acentuado nos preços do trigo (50%) e grave insegurança alimentar com redução do poder de compra do trigo (acima de 30%) no cenário mais severo, especialmente para países que dependem fortemente das importações de trigo da Ucrânia, como Egito, Turquia, Mongólia, Geórgia e Azerbaijão (LIN, 2023).

Levando em consideração o papel da Rússia e da Ucrânia nos setores de insumos agrícolas, como petróleo, gás natural e fertilizantes, principalmente a Rússia, o bloqueio comercial causado pelo conflito resultará em aumento de preços entre 10% e 30% e declínio do bem-estar de 15% a 25% para os países mais afetados (LIN, 2023). O conflito poderia deixar até 1,7 bilhão de pessoas passando fome e 276 milhões em grave insegurança alimentar (LIN, 2023). A escassez de alimentos, energia e a inflação têm se propagado como dominós, afetando muitos países que enfrentam problemas crescentes de agitação social dia após dia (LIN, 2023).

Ao longo da história, a população humana tem apresentado crescimento acentuado. Adicionalmente, a população urbana segue uma tendência semelhante, e a tendência para o futuro é que se tenha um aumento na população global e que uma fatia maior desses indivíduos viverá nas cidades (PROFIROIU et al., 2020).

As tecnologias de economia de mão de obra têm um impacto significativo na demanda e oferta de trabalho, o que geralmente implica em importantes políticas. Do ponto de vista político, as tecnologias de mecanização podem resultar em uma redução na demanda por trabalho e em uma maior concentração entre as empresas. No entanto, para garantir a adoção, essas tecnologias precisam ser economicamente viáveis. Uma vez que uma tecnologia tenha sido comprovada como viável, diversos fatores podem influenciar os padrões de difusão, incluindo os riscos inerentes associados à atividade agrícola, os custos de investimento, as incertezas quanto ao desempenho e confiabilidade da inovação, a adequação para uma operação agrícola específica e as condições ambientais. Aspectos macroeconômicos também têm influência na adoção e difusão das tecnologias de economia de mão de obra (GALLARDO; SAUER, 2018).

A agricultura é um setor de extrema relevância tanto do ponto de vista socioeconômico quanto ambiental, desempenhando um papel fundamental na garantia da segurança alimentar e na sustentabilidade dos recursos naturais. No entanto, diante do contexto de um crescimento populacional acelerado e da intensificação dos padrões de consumo, surgem desafios significativos para a agricultura contemporânea (ROBERTSON; SWINTON, 2005). A necessidade de aumentar a produção de alimentos e fibras para suprir as demandas de uma população global em expansão coloca em evidência a importância de buscar soluções que conciliem eficiência produtiva com preservação ambiental (ROBERTSON; SWINTON, 2005).

Nesse sentido, torna-se imperativo adotar uma abordagem que vá além da mera maximização da produção agrícola, considerando também os impactos ambientais decorrentes das práticas agrícolas (ROBERTSON; SWINTON, 2005). A busca por um equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de técnicas e tecnologias inovadoras no campo da agricultura. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas, a agricultura de conservação e o uso eficiente dos recursos hídricos e do

solo, emerge como uma alternativa promissora para enfrentar os desafios atuais e futuros da agricultura (ROBERTSON; SWINTON, 2005).

Em 2021, cerca de 2,3 bilhões de pessoas no mundo (29,3% da população) enfrentaram níveis moderados ou graves de insegurança alimentar, o que representa um aumento de 350 milhões em relação ao período anterior ao surto da pandemia de COVID-19. Adicionalmente, aproximadamente 924 milhões de pessoas (11,7% da população global) vivenciaram níveis severos de insegurança alimentar, um acréscimo de 207 milhões em apenas dois anos. Esses números demonstram a grave situação enfrentada por uma parcela significativa da população mundial, destacando a urgência de medidas efetivas para enfrentar a crise alimentar em escala global (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022).

Entre as várias definições de segurança alimentar atualmente em uso, a predominante, acordada na Cúpula Mundial da Alimentação de 1996, sustenta que a segurança alimentar representa “uma situação que existe quando todas as pessoas, em todos os momentos, têm acesso físico, social e econômico a alimentos suficientes e alimentos nutritivos que atendam às suas necessidades dietéticas e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável”. Este alto padrão abrange mais do que apenas o estado nutricional atual, capturando também a vulnerabilidade a futuras interrupções no acesso a alimentos adequados e apropriados (BARRETT; LENTZ, 2010; BARRETT, 2002). Para esse problema, são estudadas diversas soluções ao redor do mundo, mas a maioria delas se baseia em avanços que devem ocorrer na agroindústria, seja na melhoria da quantidade e/ou qualidade de alimentos produzidos, em acordos de colaboração de pesquisa ou transferência de tecnologias entre países ou na melhor distribuição da produção.

O mercado de alimentos saudáveis tem crescido nos últimos anos (FALGUERA; ALIGUER; FALGUERA, 2012). Um dos impulsionadores de venda desse tipo de mercadoria é a rastreabilidade dos alimentos que, em muitos casos, descreve o trajeto do alimento do produtor ao consumidor final. Tecnologias como RFID, códigos de barras, e *blockchain* facilitam este rastreamento pela sua capacidade de registrar publicamente e de maneira confiável cada transação ocorrida na cadeia de suprimentos. Com a implementação dessa tecnologia, uma possibilidade que se abre é a da criação de sistemas automáticos de auditoria e visualização do trajeto dos alimentos automáticos e seguros através de chaves criptográficas, que podem ser facilmente compreendidos por distribuidores, que podem posicionar e divulgar

melhor os seus produtos e consumidores, que já começam a exigir produtos de origem e trajeto rastreáveis. Adicionalmente, pode-se afirmar que a rastreabilidade pode conferir ao produto uma maior confiabilidade ao produto, aos olhos do consumidor.

A Agricultura 4.0 desempenha um papel fundamental na moldagem do futuro do setor agroalimentar, tendo como base os três pilares principais da sustentabilidade. Seu objetivo é proporcionar benefícios econômicos, sociais e ambientais de forma ética e justa (ARAUJO et al., 2021). Em termos econômicos, a Agricultura 4.0 emprega tecnologias avançadas para coletar e processar dados em tempo real, o que auxilia na otimização da produção primária, no desempenho da cadeia de suprimentos e na logística (ARAUJO et al., 2021). Por exemplo, a estratégia de "produzir mais com menos" na gestão agrícola busca reduzir os custos dos insumos agrícolas, ao mesmo tempo em que promove o crescimento econômico.

No que diz respeito aos benefícios sociais, a Agricultura 4.0 visa tornar os sistemas agroalimentares mais sustentáveis, reduzindo as perdas e o desperdício de alimentos, além de melhorar a segurança alimentar global e combater a fome e a desnutrição (ARAUJO et al., 2021). Os consumidores terão acesso não apenas a produtos seguros, nutritivos e saudáveis, com preços mais competitivos, mas também estabelecerão uma relação de confiança com os agricultores e varejistas, contribuindo para o crescimento social e econômico do setor agroalimentar e do país como um todo (ARAUJO et al., 2021).

Por fim, os benefícios ambientais concentram-se principalmente na busca pela neutralidade climática na agricultura e nos sistemas alimentares. Isso envolve o uso racional de recursos naturais e produtos agroquímicos, como fertilizantes, herbicidas e pesticidas, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a adoção de práticas energéticas eficientes em todas as etapas do sistema agroalimentar (ARAUJO et al., 2021). Essas medidas visam reduzir os impactos negativos no meio ambiente, proteger a vida humana, animal e vegetal, e garantir o bem-estar social de forma sustentável (ARAUJO et al., 2021).

Podem também acionar mecanismos de mitigação de maneira mais rápida, precisa e autônoma, além de gerar previsões mais precisas de condições climáticas e/ou demanda pelos produtos através de modelos matemáticos baseados em inteligência artificial, gerar e processar imagens mais precisas das culturas fazendo

uso de drones e analisar as imagens através de aprendizado de máquinas (DE MACEDO et al., 2018). Algumas das principais dificuldades que a agroindústria enfrenta com essas tecnologias são a resistência por parte de produtores, principalmente por causa do apego a práticas tradicionais e do estigma de “experimental” que por vezes se adere a equipamentos e técnicas de ponta, em adotar soluções tecnológicas complexas, o alto custo de desenvolvimento e aquisição de alguns desses recursos tecnológicos, e a falta de incentivos governamentais para o desenvolvimento e aplicação das tecnologias 4.0.

As possíveis aplicações dessas tecnologias já estão sendo estudadas no Brasil e no mundo (DE MACEDO et al., 2018). É importante, portanto, conhecer, analisar, catalogar e registrar as principais características e conclusões desses estudos, traçar as tendências do mercado e academia referentes ao assunto, além de discutir essas informações e observações, com o objetivo de orientar estudos futuros, saber como está situado o país perante a comunidade global no que diz respeito às tecnologias aplicadas na agroindústria, e oferecer informações e insights para o desenvolvimento científico e de mercado nacionais.

1.1 JUSTIFICATIVA

A insegurança alimentar é um desafio global que afeta milhões de pessoas em todo o mundo. A capacidade de produzir alimentos de forma eficiente e sustentável desempenha um papel fundamental na mitigação da fome e no desenvolvimento socioeconômico. Nesse contexto, a adoção de tecnologias avançadas, como as tecnologias 4.0, pode desempenhar um papel crucial na transformação da agroindústria e no enfrentamento desse desafio.

Embora as tecnologias 4.0 tenham sido amplamente exploradas em diversos setores industriais, sua aplicação específica na agroindústria ainda está em estágios iniciais e requer uma análise mais aprofundada. É essencial compreender como essas tecnologias estão sendo utilizadas em diferentes países e contextos agroindustriais para identificar boas práticas, desafios e oportunidades.

Nesse sentido, é essencial lançar um olhar analítico sobre o conhecimento científico produzido sobre o assunto, a fim de compreender como essas tecnologias estão sendo desenvolvidas e aplicadas em diferentes regiões do globo. Ao examinar

as tendências e variações regionais, será possível gerar informações e discussões estratégicas relevantes tanto para o avanço do estudo acadêmico quanto para os empreendimentos agroindustriais nacionais.

O conhecimento e as informações geradas nesse processo de análise e comparação entre estudos e aplicações das tecnologias 4.0 na agroindústria podem desempenhar um papel fundamental na orientação de estudos futuros. Além disso, essas informações constituem um importante registro do conhecimento gerado até o presente momento, fornecendo uma base sólida para pesquisadores, empresários e acadêmicos do ramo do agronegócio.

Por meio dessa investigação, espera-se disponibilizar uma diversidade de informações e insights estratégicos que contribuam para o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e empreendimentos agroindustriais. Esses resultados servirão à sociedade na forma de conhecimento gerado e na busca por maior qualidade dos produtos que são diretamente ou indiretamente utilizados pela população.

Em última análise, espera-se que este estudo contribua para a mitigação da fome e para o fortalecimento da segurança alimentar por meio do estímulo à inovação, ao empreendedorismo e ao investimento na agroindústria. Ao despertar o interesse de diversos atores, incluindo pesquisadores, empresas e tomadores de decisão, essa pesquisa tem o potencial de impulsionar a adoção das tecnologias 4.0 e estimular colaborações internacionais para enfrentar esse desafio global premente.

Portanto, a realização desse estudo comparativo das tecnologias 4.0 no contexto da agroindústria apresenta uma justificativa sólida, pois busca preencher lacunas de conhecimento, enriquecer o estudo acadêmico, embasar decisões estratégicas e contribuir para o avanço do agronegócio, visando aprimorar sua eficiência, sustentabilidade e competitividade.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, serão detalhados o objetivo geral e os objetivos específicos, fornecendo uma visão abrangente do que se espera alcançar. Esses objetivos foram estabelecidos para explorar a relevância e o impacto dessas tecnologias no agronegócio, fornecendo insights estratégicos para o meio acadêmico e empresarial.

Nesta seção, serão detalhados o objetivo geral e os objetivos específicos, fornecendo uma visão abrangente do que se espera alcançar.

Com base nas informações apresentadas sobre as tecnologias 4.0 na agroindústria em diferentes regiões, os objetivos deste estudo visam preencher lacunas de conhecimento, analisar tendências globais, identificar variações regionais e fornecer insights estratégicos para o avanço do agronegócio.

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar oportunidades de pesquisa e aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no contexto do agronegócio por meio de uma comparação do estado-da-arte com o estado-da-prática.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Caracterizar as tecnologias da Indústria 4.0 e sua aplicação no agronegócio;
- b. Descrever o estado-da-arte acerca das tecnologias da indústria 4.0 aplicadas ao agronegócio;
- c. Analisar o estado-da-prática, identificando as principais tendências práticas quanto à presença das tecnologias da indústria 4.0 no agronegócio;
- d. Comparar teoria e prática, identificando oportunidades acadêmicas e de negócio a serem exploradas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seção apresentará os conceitos utilizados durante o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

(MAHDIRAJI et al., 2022) trazem em seu artigo uma extensa lista das tecnologias consideradas disruptivas dentro da Indústria 4.0. Destas, foram selecionadas para compor o escopo deste artigo *Internet of Things*, Inteligência Artificial, Conexão 5G, *Drones*, Computação em Nuvem, *Data Warehouse*, *Big Data*, *Blockchain* e sistemas cyber-físicos. A escolha do escopo foi feita durante a realização do presente trabalho, e levou em conta o volume das publicações acadêmicas encontradas a respeito de cada tema e sua relevância. As demais tecnologias estão presentes no ANEXO A, que contém a tabela completa, transcrita do estudo em questão.

2.2 DEFINIÇÕES

2.2.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (do inglês Internet of things - IoT) é um paradigma, no qual objetos e elementos de um sistema, equipados com sensores, atuadores e processadores, podem se comunicar uns com os outros com o objetivo de prover serviços significativos. Em sistemas IoT, sensores são usados para obter e coletar dados, que serão repassados a centros de controle ou bancos de dados na nuvem, para posterior armazenamento, processamento, análise e tomadas de decisões (MOTLAGH et al., 2020). Como exemplos, podem-se citar sistemas de controle de irrigação automatizados, como o de (DIVYAPRIYA et al., 2020), que utiliza dados de previsões do tempo para realizar o controle hídrico.

2.2.2 Inteligência Artificial

Inteligência Artificial (IA) é um ramo da ciência da computação que se propõe a desenvolver sistemas que simulem a capacidade humana de percepção de um problema, identificando seus componentes para, com isso, resolver problemas e propor/tomar decisões (LOBO, 2017).

Assim, sistemas inteligentes são capazes de realizar tarefas sem receber instruções diretas de humanos (os “robôs” são exemplos disso) (LOBO, 2017).

Usando diferentes algoritmos e estratégias de tomada de decisões e um grande volume de dados, sistemas de IA são capazes de propor ações, quando solicitados (LOBO, 2017).

Os algoritmos de IA tornaram-se parte do cotidiano. Estão presentes desde os aplicativos de áudio e vídeo para recomendar conteúdo com base nas preferências do usuário até softwares de desenvolvimento de aplicativos, atuando como corretores e com capacidade de gerar códigos com base em instruções verbais, através de plataformas como o ChatGPT e o Github Copilot X (GITHUB, 2023; OPEN AI, 2023).

2.2.3 Conexão 5G

A Conexão 5G é a quinta geração de comunicações sem fio. Com o desenvolvimento dessa tecnologia, a taxa de transmissão de dados, a mobilidade, cobertura e eficiência do espectro de frequência aumentam (GUPTA; JHA, 2015). Pressupõe-se que a 5G precisa abordar 5 desafios que não são resolvidos de maneira eficaz pelo 4G: maior capacidade e maior taxa de transmissão dos dados, menor latência de ponta a ponta, conectividade massiva de dispositivos, redução de custos e provisão consistente de Qualidade de Experiência (GUPTA; JHA, 2015).

2.2.4 Drones

Drones ou Veículos Aéreos Não tripulados (VANTs) são as aeronaves que são capazes de voar sem pilotos e passageiros a bordo. O controle dos *drones* é feito remotamente por ondas de rádio, ou de maneira autônoma (com uma rota predeterminada). Drones não tem um tamanho específico, e são frequentemente equipados com acessórios para vigilância e monitoramento (KARDASZ; DOSKOCZ, 2016). No caso de drones agrícolas, eles também podem carregar equipamentos para aspersão de agentes químicos e/ou biológicos, como defensivos. A característica mais importante dos drones é que eles não precisam de nenhuma infraestrutura adicional para registrar e monitorar uma área ou objeto designado (KARDASZ; DOSKOCZ, 2016).

2.2.5 Computação em Nuvem

Computação em nuvem é uma técnica onde serviços de Tecnologia da Informação são providos por gigantescas unidades de computação de baixo custo conectadas por redes IP. Há 5 grandes características da computação em nuvem (QIAN et al., 2009):

- i. Recursos computacionais em grande escala
- ii. Elasticidade e escalabilidade
- iii. Pool de recursos compartilhados
- iv. Agendamento dinâmico de recursos
- v. Propósito geral

Muitas empresas têm experimentado e/ou implementado sistemas internos de computação em nuvem. Computação em nuvem já é uma estratégia chave para vendedores de recursos de Tecnologia da Informação e fornecedores de serviços de internet e telefonia. Adicionalmente, Estados Unidos e Japão fizeram da computação em nuvem a estratégia nacional (QIAN et al., 2009). Serviços como *iCloud*, da *Amazon* e *Google Drive*, da *Google*, são exemplos dessa tecnologia.

2.2.6 Data Warehouse

Um *data warehouse* é definido como uma coleção de dados orientada a sujeito, variante no tempo, não-volátil, que serve como implementação física de um modelo de dados de suporte e decisão e armazena e informação na qual um empreendimento pode utilizar para ajudar a tomar decisões estratégicas (REDDY et al., 2010). No histórico dos *data warehouses*, dados sintetizados e consolidados são mais importantes do que registros detalhados individuais. Como eles contêm dados consolidados, talvez de muitos bancos de dados operacionais, através de períodos potencialmente longos, elas tendem a ser maior do que tais bancos (REDDY et al., 2010). Em outras palavras, *data warehousing* é uma coleção de tecnologias de suporte, destinada a ajudar profissionais como executivos, gerentes e analistas a tomar decisões melhores e mais rapidamente (REDDY et al., 2010).

2.2.7 Big Data

Big data é um termo para gigantescos conjuntos de dados que contém grandes volumes de dados, com estruturas bem maiores e mais complexas do que bancos de dados comuns, com a dificuldade adicional de armazenar, analisar e visualizar tais dados para posterior processamento dos resultados (SAGIROGLU; SINANC, 2013). *Big data* e sua análise se encontram no centro da ciência moderna e negócios. Os dados aqui descritos são gerados de transações *online*, *e-mails*, vídeos, áudios, imagens, registros de cliques ou toques na tela dos celulares, posts em redes sociais, resultados de buscas, registros de saúde, sensores em telefones e seus aplicativos. Eles são armazenados em bancos de dados que crescem de forma massiva, e se tornam difíceis de capturar, armazenar, gerenciar, compartilhar, analisar e visualizar utilizando ferramentas de software tradicionais (SAGIROGLU; SINANC, 2013).

2.2.8 Blockchain

Uma *blockchain* consiste em conjuntos de dados, que são compostos por uma corrente de pacotes de dados (blocos), onde um bloco contém múltiplas transações. A *blockchain* é estendida para cada bloco adicional e assim representa a razão contábil completa do histórico de transações. Blocos podem ser validados pela rede usando algoritmos de criptografia. Além das transações, cada bloco contém uma marca temporal, o resumo criptográfico (ou *hash*) do bloco anterior, e um número arbitrário para verificar o resumo. Esse conceito assegura a integridade da *blockchain* inteira até o primeiro bloco (“bloco *genesis*”). Resumos criptográficos são únicos, e fraudes podem ser prevenidas de maneira efetiva, uma vez que mudanças em um bloco na corrente iriam imediatamente mudar seu respectivo resumo. Se a maioria dos nós na rede concorda por um mecanismo de consenso a respeito da validade das transações em um bloco e da validade do bloco em si, este pode passar a compor a corrente (NOFER et al., 2017). Muito se tem discutido a respeito dessa tecnologia no contexto das cripto moedas e transações bancárias, mas empresas já a utilizam para solucionar problemas de rastreabilidade na cadeia de suprimentos.

2.2.9 Sistemas Cyber-Físicos

Os Sistemas Cyber-Físicos (*Cyber Physical Systems - CPS*) são redes de elementos que interagem entre o ambiente físico e as ferramentas computacionais, incluindo *hardware* e *software*. Esses sistemas geralmente são compostos por dispositivos embarcados (sensores e atuadores) para monitoramento e controle de processos físicos. O conceito de sistemas Cyber-Físicos surge como uma integração dos elementos computacionais com os elementos físicos, permitindo que os primeiros não sejam totalmente dependentes. No entanto, a autonomia e funcionalidade desses sistemas estão sempre condicionadas a outros sistemas que respondem aos fenômenos físicos monitorados e reagem de forma autônoma. Isso requer a execução de sistemas sincronizados e em tempo real (GARAY, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seção de procedimentos metodológicos é dividida em três partes: (1) enquadramento metodológico, (2) revisão da literatura e (3) revisão da prática. Serão apresentadas as ferramentas utilizadas, os procedimentos adotados e os critérios de seleção, visando obter resultados consistentes e atingir os objetivos propostos.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho adota uma abordagem metodológica mista, utilizando uma triangulação de dados, que combina análises quantitativas de estudos bibliográficos e documentais com análises qualitativas em uma revisão sistemática. Essa combinação estratégica busca aproveitar as melhores características de cada abordagem para obter uma compreensão aprofundada do problema de pesquisa (MIGUEL, 2012).

As fontes de informação utilizadas são periódicos científicos, periódicos de indexação e resumos, bem como documentos gerados pelas empresas investigadas (GIL, 2002). Quanto à classificação baseada nos objetivos, este trabalho é classificado como uma pesquisa exploratória, que tem como propósito principal aumentar a familiaridade com o problema, explicitá-lo ou formular hipóteses. Essas pesquisas visam principalmente aprimorar ideias e descobrir intuições (GIL, 2002). Em termos de procedimentos técnicos, o presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica e uma análise comparativa.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa dos artigos ocorreu segundo as seguintes etapas: (i) Revisão da literatura – o que inclui definição das palavras-chave e bases de dados, bem como as pesquisas em si e aquisição dos artigos -, (ii) Revisão da prática, referente aos documentos divulgados pelas empresas contendo informações a respeito delas mesmas e de seus produtos, (iii) Análise dos artigos segundo a metodologia

PRISMA e das informações disponibilizadas pelas empresas e, por último (iv) comparação e discussão das informações encontradas.

Figura 1 – Procedimentos Metodológicos do Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.1 Revisão da Literatura

As bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, foram utilizadas para a pesquisa bibliográfica, permitindo o acesso a uma ampla gama de artigos e estudos relevantes. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: (“agroindustry” OR “agribusiness”) AND (“industr* 4.0” OR “cyber physical systems” OR “internet of things” OR “iot”).

As palavras-chave foram escolhidas tendo por objetivo localizar o maior número possível de trabalhos acadêmicos que se enquadrem na temática da tecnologia da indústria 4.0 no agronegócio. Os artigos foram selecionados segundo a metodologia PRISMA apresentada na Figura 2 a seguir (QUADRAS, 2020):

- Idioma: filtro por artigos nos idiomas inglês, espanhol e português;
- Canal de Divulgação: filtro por artigos publicados em periódicos e anais de congresso;
- Aderência do Título: filtro pela aderência do título com o tema;
- Aderência do Resumo: filtro da aderência do resumo;
- Análise Completa: filtro da aderência artigos completos.

Após a pesquisa nas duas bases de dados, foram obtidos 238 artigos. Removendo-se os duplicados e aplicando os demais filtros, restaram 125 artigos que atendiam aos critérios de inclusão no estudo.

Figura 2 – Fluxo dos artigos



Fonte: elaborado pelo autor

3.2.2 Revisão da Prática

A abordagem metodológica adotada para a investigação da prática em questão foi desenvolvida com base na metodologia de pesquisa proposta por Zanella (2019), porém, devidamente adaptada para a temática específica do presente estudo. Inicialmente, serão identificadas as fontes de pesquisa relevantes, bem como a seleção dos modelos e/ou aplicações práticas pertinentes ao tema em análise. Em seguida, será realizada a coleta de dados das empresas, bem como de informações sobre seus produtos, com ênfase nas tecnologias empregadas e nos benefícios proporcionados ao setor do agronegócio. Posteriormente, os dados coletados serão submetidos a uma análise minuciosa, visando à sua catalogação e à obtenção de uma visualização clara e compreensível. Ademais, serão realizadas

comparações com os resultados obtidos na revisão bibliográfica e conduzidas discussões pertinentes, com o intuito de aprofundar a compreensão dos achados.

3.2.3 Fontes de pesquisa para a Revisão da Prática

Para realização das pesquisas, foram selecionados os motores de busca *Google*, *Bing* e *DuckDuckGo*, por oferecerem vantagens significativas ao buscar dados sobre empresas e produtos. Essas plataformas possuem ampla abrangência e indexação, fornecendo resultados relevantes com base nas consultas dos usuários. Além disso, oferecem recursos avançados de pesquisa, diversidade de fontes de informação, facilidade de uso. Assim, esses motores de pesquisa são ferramentas eficazes para encontrar informações precisas e confiáveis sobre empresas e seus produtos.

A pesquisa documental, referente às tecnologias utilizadas na agroindústria na prática, foi feita junto utilizando termos descritos na Tabela 1. Esse método se justifica devido ao amplo uso que as empresas fazem desse recurso digital para divulgar seus serviços e capacidade técnica.

É possível observar que a utilização de parâmetros de pesquisa, tais como "-site:.br" e "-site:.com.br", têm como finalidade permitir aos motores de busca evitar a inclusão de páginas que possuam o domínio ".br" e ".com.br", respectivamente, nos resultados de busca. Essa abordagem se mostra útil para restringir a exibição de páginas de um determinado país ou região, direcionando a pesquisa para outras fontes de informação.

Tabela 1 – Termos de busca da pesquisa documental

(continua)

Termos de busca empregados
<i>solucoes iot agronegócio</i>
<i>solucoes nuvem agronegócio</i>
<i>solucoes blockchain agronegócio</i>
<i>solucoes drones agronegócio</i>
<i>solucoes big data agronegócio</i>
<i>solucoes data warehouse agronegócio</i>

Tabela 1 – Termos de busca da pesquisa documental
(conclusão)

Termos de busca empregados
<i>solucoes sistemas cyber-físicos agronegocio</i>
<i>solucoes inteligencia artificial agronegocio</i>
<i>solucoes 5G agronegocio</i>
<i>IoT solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Cloud solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Blockchain solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Drone solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Big data solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Data warehouse solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Cyber-physical systems solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Artificial intelligence solutions agribusiness-site:.br -site:.com.br</i>
<i>5G solutions agribusiness -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones IoT en agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones en la nube agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones blockchain agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones de drones agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones de big data agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones de data warehouse agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones de sistemas ciberfísicos agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones de inteligencia artificial agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>
<i>Soluciones 5G agronegocios -site:.br -site:.com.br</i>

Fonte: elaborada pelo autor

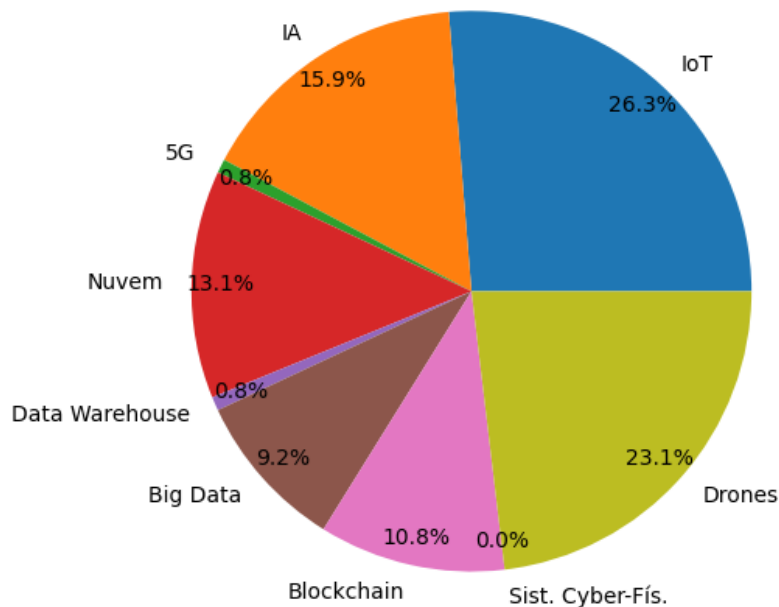
4 RESULTADOS

Aqui serão apresentados os resultados da comparação com trabalhos correlatos, da revisão da literatura, da análise das informações divulgadas pelas empresas especializadas em soluções baseadas em tecnologia 4.0 no contexto da agroindústria e discussões a respeito dos resultados obtidos.

4.1 RESULTADOS ABSOLUTOS

Com base nas informações ilustradas nas figuras abaixo, podem ser observadas algumas tendências interessantes no uso das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto do agronegócio. Vamos analisar os resultados obtidos nas citações das tecnologias nos produtos e estudos de todo o mundo.

Figura 3 – Proporção das citações das tecnologias nos produtos
Citações das tecnologias nos produtos



Fonte: elaborado pelo autor

Drones foram amplamente utilizados na agroindústria para fins de monitoramento e pulverização. Empresas especializadas nesse setor destacaram a

capacidade dos drones em gerar imagens que foram processadas por algoritmos de Inteligência Artificial. Esses algoritmos forneceram dados importantes relacionados à produção agrícola, permitindo que os produtores tomassem decisões mais informadas. Além disso, algumas empresas ofereceram serviços de operação de drones, permitindo que os produtores tivessem acesso à tecnologia sem precisar investir em equipamentos próprios.

A Internet das Coisas desempenhou um papel crucial no monitoramento da agroindústria. Ela foi usada para monitorar o comportamento de animais e estimar a qualidade da produção. No caso das lavouras, soluções baseadas em IoT promoveram o controle de variáveis como índice pluviométrico, umidade, qualidade do solo, ar e água, além dos produtos químicos presentes nesses elementos e suas quantidades. Algumas empresas foram além e ofereceram monitoramento de veículos agrícolas e informações de telemetria, possibilitando um controle mais preciso das atividades no campo. Poucas empresas também desenvolveram soluções voltadas para o controle do estoque de insumos.

A Inteligência Artificial teve uma ampla gama de aplicações na agroindústria. Ela foi usada no processamento de imagens e na previsão de cenários futuros, como previsão do tempo, consumo de insumos e produtividade do empreendimento. Além disso, soluções de *software* de gestão baseadas em IA foram desenvolvidas para automatizar operações agrícolas por meio da coleta e análise de grandes volumes de dados. Essas soluções buscaram identificar o melhor momento para realizar cada operação no agronegócio, direcionando insumos, equipamentos, maquinários e mão de obra de maneira autônoma. A IA também foi aplicada no processamento de imagens para classificação do solo, monitoramento da colheita, classificação de solo e detecção de doenças em animais.

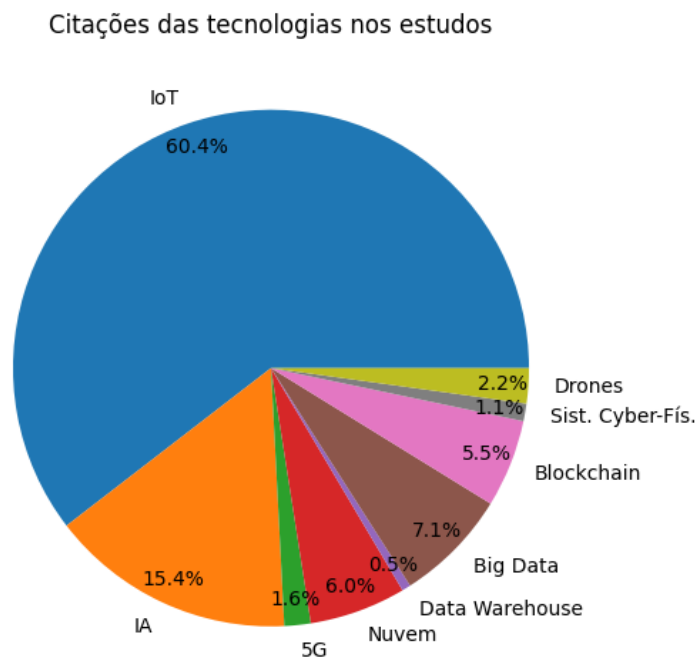
A computação em nuvem desempenhou um papel fundamental na agroindústria, oferecendo hospedagem e processamento de grandes volumes de dados. Empresas desenvolveram sistemas de gestão baseados em tecnologia de computação em nuvem, focados na análise e visualização de dados por meio de gráficos e tabelas. Isso proporcionou aos usuários informações úteis para tomadas de decisões mais assertivas. Além disso, soluções avançadas de gestão empresarial, como programas de Planejamento das Necessidades de Materiais (MRPs) e plataformas de análise e visualização de dados, utilizaram algoritmos de IA para fornecer insights avançados aos gestores.

O *Big Data* foi amplamente utilizado na agroindústria para armazenamento e gerenciamento de grandes volumes de dados. O uso do *data warehouse* em conjunto com a IA permitiu a geração de conhecimento útil por meio da mineração de dados.

A tecnologia *blockchain* encontrou aplicação na agroindústria como uma forma de armazenar e gerenciar informações ao longo da cadeia de suprimentos. Ela foi usada em conjunto com a IoT para automatizar processos e com *smart contracts* para automatizar transações. Além disso, o uso da *blockchain* ofereceu proteção da integridade dos dados contra ameaças cibernéticas e a capacidade de realizar transações com criptomoedas.

A conectividade 5G desempenhou um papel importante na comunicação entre dispositivos IoT na agroindústria. Os módulos de transmissão de dados permitiram que esses dispositivos se comunicassem rapidamente com a rede 5G, proporcionando uma ampla gama de possibilidades de uso, desde aplicações industriais até soluções para o consumidor final. Além disso, a conectividade 5G também foi usada na comunicação de drones, melhorando sua eficiência e desempenho.

Figura 4 – Proporção das citações das tecnologias nos estudos



Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 3, destacam-se as seguintes porcentagens de citações:

- IoT (Internet das Coisas): 26,3%
- Drones: 23,1%
- Blockchain: 10,8%
- Nuvem: 13,1%
- Inteligência Artificial: 15,9%

Pode-se observar que a IoT e os *drones* são as tecnologias mais citadas, representando 26,3% e 23,1% das citações, respectivamente. Isso indica que essas tecnologias estão sendo amplamente utilizadas no agronegócio, provavelmente devido à sua capacidade de coletar dados em tempo real e fornecer informações valiosas para a tomada de decisões. A presença significativa da *blockchain* (10,8%) também indica que há interesse no uso dessa tecnologia para garantir a segurança e a rastreabilidade das transações no setor agrícola. Além disso, a computação em nuvem e a inteligência artificial são tecnologias que estão sendo exploradas, representando 13,1% e 15,9% das citações, respectivamente. Isso sugere que a capacidade de armazenamento e processamento em nuvem, juntamente com a aplicação de algoritmos de inteligência artificial, estão sendo considerados para otimizar processos e melhorar a eficiência no agronegócio.

A Figura 4 revela as seguintes porcentagens:

- IoT (Internet das Coisas): 60,4%
- Drones: 2,2%
- Blockchain: 5,5%
- Nuvem: 6%
- Inteligência Artificial: 15,4%

Nesse caso, a IoT se destaca ainda mais, representando a maioria esmagadora das citações nos estudos, com 60,4%. Isso indica que há um forte interesse acadêmico e científico em explorar os benefícios da IoT no agronegócio, tanto em termos de pesquisa quanto de aplicação prática. Em contraste, os *drones* são menos citados nos estudos, representando apenas 2,2% das citações. Isso

pode indicar uma área com menor foco de pesquisa ou possivelmente uma aplicação mais consolidada no contexto do agronegócio. A *blockchain* (5,5%) e a inteligência artificial (15,4%) também recebem atenção significativa nos estudos, demonstrando o interesse em explorar seu potencial para melhorar a eficiência, segurança e rastreabilidade nas atividades agrícolas.

Com base nas informações apresentadas, pode-se concluir que a IoT é a tecnologia mais amplamente utilizada e estudada no agronegócio, tanto em produtos quanto em pesquisas acadêmicas. Os *drones*, a *blockchain*, a computação em nuvem e a inteligência artificial também desempenham papéis importantes no setor, embora com diferentes níveis de adoção e foco de pesquisa. Essas tecnologias têm o potencial de impulsionar a transformação digital do agronegócio, promovendo a automação, a eficiência operacional e a tomada de decisões baseadas em dados precisos e em tempo real.

A incorporação das tecnologias 4.0 na agroindústria tem sido objeto de estudos acadêmicos abrangentes, visando melhorar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade do setor. Diversas aplicações foram investigadas e abordadas de maneira aprofundada, proporcionando avanços significativos nas práticas agrícolas e pecuárias ao redor do mundo.

A Internet das Coisas (IoT) emergiu como uma ferramenta poderosa para monitorar e controlar diversos aspectos da agroindústria. No campo da agricultura e pecuária, a IoT tem sido aplicada para monitorar a presença de pragas por meio de inspeção visual, além de rastrear a qualidade e quantidade de produção. Além disso, variáveis ambientais cruciais, como temperatura, pressão, umidade e até mesmo produtos químicos, são monitoradas por meio de dispositivos IoT. Esses estudos também exploraram a combinação da IoT com algoritmos de Inteligência Artificial (IA) para análise avançada e tomada de decisões inteligentes. A utilização conjunta da IoT com a computação de borda (*Edge Computing*) também tem sido investigada para processamento de dados em tempo real. Além disso, a aplicação de tecnologia LoRaWAN para comunicação e conectividade tem sido amplamente estudada.

Outra área de pesquisa significativa diz respeito à aplicação do *Blockchain* na agroindústria. Essa tecnologia tem sido usada para armazenar e gerenciar informações relacionadas à produção e transações ao longo da cadeia de suprimentos. A combinação do *Blockchain* com a IoT permite a automação dos processos, garantindo maior rastreabilidade e transparência em cada etapa da

cadeia. A utilização de contratos inteligentes (*smart contracts*) também tem sido explorada, automatizando as transações e assegurando sua execução de forma segura e confiável.

Os *drones* têm sido amplamente estudados no contexto da agroindústria, principalmente para pulverização de culturas e mapeamento de áreas agrícolas. A integração desses veículos com dispositivos IoT permite a coleta de diferentes tipos de dados, fornecendo informações valiosas para o monitoramento de lavouras, detecção de pragas e gerenciamento de recursos.

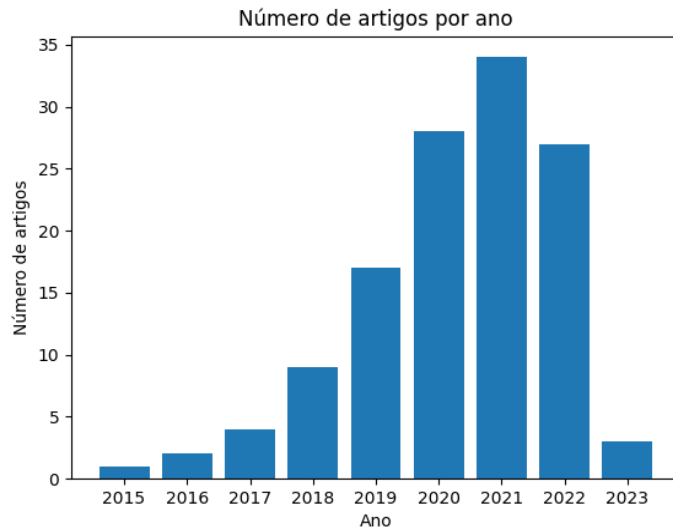
A Inteligência Artificial tem desempenhado um papel fundamental no processamento e análise dos dados obtidos por meio de dispositivos IoT e armazenados em grandes conjuntos de dados (*Big Data*) ou *data warehouses*. A aplicação de algoritmos de IA na detecção de pragas tem mostrado resultados promissores, permitindo a identificação precoce de problemas e a implementação de medidas de controle mais eficazes. Além disso, a combinação da IA com *data warehouses* tem contribuído para a geração de conhecimento útil por meio da mineração de dados e análise preditiva.

4.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta seção irá apresentar a revisão de literatura para os artigos selecionados. A estrutura está relacionada com as perguntas de pesquisa.

Como apresentado na seção 3.2.1, a pesquisa resultou em 125 artigos de periódicos e anais de conferências. A Figura 5 mostra o número de publicações ao longo dos anos. Pode-se observar que se trata de um campo de pesquisa relativamente novo, uma vez que o primeiro artigo sobre o assunto é de 2015, ano em que apenas um artigo foi publicado sobre o tema. Adicionalmente, nota-se um grande salto no número de publicações a partir do ano de 2019. Por fim, ainda que o número de produções acadêmicas sobre o assunto tenha apresentado queda no ano de 2022, ele ainda é relativamente alto para o período observado.

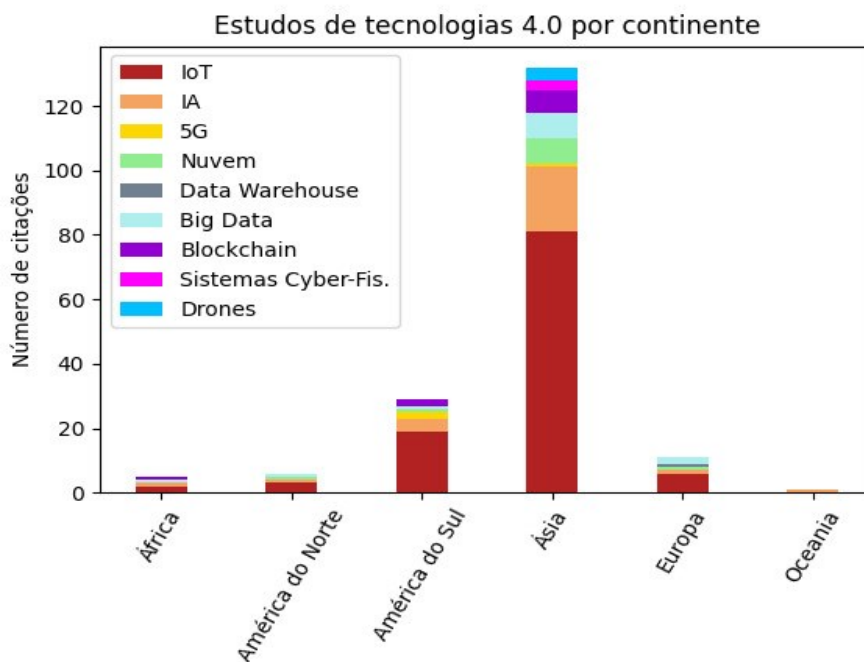
Figura 5 – Número de artigos por ano



Fonte: elaborado pelo autor

A primeira pesquisa a respeito das aplicações das tecnologias da indústria 4.0 à agroindústria foi conduzida por Campos e Cugnasca em 2015. Nela, os autores propõem uma arquitetura de rastreabilidade de 4 camadas baseada em IoT para uma cadeia de produção de vinhos. Pesquisas baseadas em *internet of things* formaram uma camada expressiva dos estudos analisados.

Figura 6 – Estudos de tecnologias 4.0 por continente



Fonte: elaborado pelo autor

A comparação das quantidades de estudos encontrados em cada região revela tendências e padrões interessantes, fornecendo percepções sobre as áreas de maior interesse e desenvolvimento no contexto da agroindústria.

Conforme apresentado na Figura 6, ao analisar os dados coletados, observa-se que a África apresenta um número limitado de estudos, com destaque para a Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) como as tecnologias mais mencionadas. No entanto, outras tecnologias, como a conectividade 5G, nuvem, *data warehouse*, *Big Data*, *blockchain*, sistemas cyber-físicos e *drones*, ainda não receberam atenção significativa nessa região.

Na América do Norte, também se observa uma quantidade limitada de estudos, sendo a IoT o foco principal, seguida pela IA e nuvem. Embora haja um interesse crescente nessas tecnologias, é notável a ausência de estudos relacionados à conectividade 5G, *data warehouse*, *Big Data*, *blockchain*, sistemas cyber-físicos e *drones* nessa região.

Já na América do Sul, destaca-se um maior número de estudos, com ênfase significativa na IoT, seguida pela IA, conectividade 5G, nuvem, *Big Data* e *blockchain*. Essa região mostra um interesse diversificado em várias tecnologias 4.0, demonstrando um potencial significativo para a adoção dessas inovações no setor agroindustrial.

A Ásia se destaca como uma região com uma quantidade substancial de estudos em todas as tecnologias analisadas. A IoT é a tecnologia mais abordada, seguida pela IA, nuvem, *Big Data*, *blockchain*, sistemas cyber-físicos e *drones*. Essa região mostra um elevado nível de interesse e desenvolvimento em todas essas áreas, indicando um ambiente propício para o avanço da agroindústria por meio das tecnologias 4.0.

A Europa apresenta um número moderado de estudos, com a IoT, IA, nuvem, *data warehouse* e *Big Data* como as tecnologias mais abordadas. A conectividade 5G, *blockchain* e sistemas cyber-físicos ainda não receberam uma atenção significativa nessa região, assim como os *drones*.

Por fim, a Oceania revela um baixo número de estudos, com a IA como a única tecnologia mencionada. As demais tecnologias analisadas, incluindo a IoT, conectividade 5G, nuvem, *data warehouse*, *Big Data*, *blockchain*, sistemas cyber-físicos e *drones*, não foram abordadas nesse contexto específico.

A análise comparativa dos estudos por continente proporciona uma visão panorâmica das tecnologias 4.0 aplicadas na agroindústria globalmente, destacando as áreas de maior e menor interesse em cada região.

4.2.1 Ásia

A revisão da literatura pertinente à Internet das Coisas (IoT) indica que a maioria dos artigos de origem asiática tem se concentrado na análise ou proposição de soluções para otimizar o uso de recursos agrícolas, especialmente em relação à água e à área cultivável (MOHAPATRA et al., 2018). Nesse contexto, temas como a economia de água (GEETHA et al., 2019), o aumento da produtividade por unidade de área cultivada, a redução do consumo de energia (RUAN et al., 2019), a previsão da demanda e do consumo de recursos (KHAN et al., 2021) e a previsão das condições climáticas (SHALI et al., 2021) foram frequentemente abordados. Além disso, o uso da IoT para prever e controlar pragas e monitorar animais e seus ambientes também emergiu como um tópico relevante, embora em menor medida.

O estudo da aplicação da IoT no setor agrícola representa uma abordagem inovadora e sustentável para enfrentar os desafios impostos pela produção agrícola contemporânea. Em particular, a economia de recursos hídricos e a maximização da produtividade por área cultivada são questões fundamentais que podem ser abordadas por meio da utilização de tecnologias avançadas de IoT (KEERTHANA et al., 2018; RUAN et al., 2019). A análise dos artigos examinados também destaca a importância de uma gestão eficiente do consumo energético na produção agrícola, o que pode ser alcançado por meio da utilização de soluções de IoT que permitem o monitoramento em tempo real do uso de energia nas diferentes etapas do processo de produção.

Outro aspecto relevante identificado na revisão da literatura é a importância da previsão da demanda e do consumo de recursos, que pode ser realizada por meio de tecnologias IoT. Essa previsão pode ajudar a otimizar o uso de recursos escassos, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos e a redução do desperdício de recursos agrícolas (GHANDER et al., 20212). A previsão das condições climáticas também emergiu como um tópico importante, pois as tecnologias de IoT podem ser utilizadas para coletar dados em tempo real sobre o

clima e o solo, o que pode ajudar os agricultores a tomar decisões mais informadas sobre o plantio, colheita e outras atividades agrícolas (KHAN et al., 2021).

Além disso, a revisão da literatura destaca o uso da IoT para a previsão e controle de pragas e o monitoramento de animais e seus ambientes como um tópico emergente no setor agrícola (SANGHAVI et al., 2021). Essas tecnologias podem ajudar a prever surtos de pragas e a monitorar o bem-estar dos animais, o que pode ajudar a prevenir doenças e aumentar a produtividade (ISLAM et al., 2019).

Ao se analisar a literatura científica sobre IoT publicada no continente asiático, é possível perceber que os pesquisadores indianos e russos têm abordado o tema de forma distinta. Enquanto a maioria dos artigos originários da Índia se concentra no desenvolvimento de novas soluções e sistemas para IoT ou na análise do uso de soluções e sistemas já existentes, os artigos escritos na Rússia tendem a abordar o assunto de maneira mais teórica e conceitual.

Os pesquisadores indianos têm buscado aprimorar o uso da IoT no setor agrícola por meio do desenvolvimento de novas soluções e sistemas que permitam uma melhor eficiência e desempenho. Por exemplo, alguns artigos propõem a utilização de sensores para monitorar e gerenciar o uso da água na agricultura, a fim de maximizar a produção e minimizar o desperdício (GEETHA et al., 2019).

Já os pesquisadores russos têm se concentrado mais na teoria e conceitos da IoT, buscando entender melhor as implicações e potenciais da tecnologia em diversos setores (GORLOV et al., 2021). Esses estudos costumam analisar a IoT do ponto de vista de sua arquitetura e dos requisitos necessários para sua implementação em diferentes contextos.

Os artigos que abordaram IoT no continente asiático foram os mesmos que citaram Inteligência Artificial (SHALINI; ARAVINDA, 2021), computação em nuvem (RANJITHKUMAR; ROBERT, 2021), sistemas cyber-físicos (GHANDAR et al., 2021), *drones* (KHAN et al., 2021), conectividade 5G (GUO, 2021), *big data* (YADAV et al., 2022) e *blockchain* (SUJAN et al., 2021). Ou seja, nesse continente, o estudo das aplicações dessas tecnologias na agroindústria parece estar fortemente atrelado às capacidades da tecnologia IoT.

No continente asiático, dois artigos recentes abordaram o uso da *blockchain* como tecnologia principal, enfatizando sua aplicação em *smart contracts* – contratos cujos termos contratuais de um acordo são executados automaticamente sem a intervenção de uma terceira parte confiável (ZHENG, Z. 2020). Em um desses

artigos, SMIRNOV e TESLYA (2022) propõem a utilização desses contratos para coordenar processos automatizados por robôs, visando otimizar a eficiência dos sistemas produtivos. A ideia é que os *smart contracts* possam estabelecer regras claras e precisas para que os robôs possam realizar suas tarefas de forma autônoma, sem a necessidade de intervenção humana.

Por sua vez, KURNIA et al. (2020) focam no uso dos *smart contracts* para solucionar problemas de confiabilidade, rastreabilidade e troca de informações ao longo da cadeia de suprimentos, gerando maior transparência nas negociações. A aplicação desses contratos inteligentes permite o estabelecimento de acordos entre as partes envolvidas, com garantia de que as transações serão realizadas de forma segura e confiável, e que as informações serão compartilhadas de forma transparente.

Nesse sentido, percebe-se que a tecnologia *blockchain* vem sendo estudada e aplicada em diferentes contextos, apresentando potencial para promover maior eficiência, transparência e segurança em diversos processos e transações.

Apenas um artigo tratou exclusivamente de *drones* (YAQOT; MENEZES, 2021), e os tratam como uma alternativa promissora para o enfrentamento de desafios como o consumo de água, o uso intensivo da força de trabalho, o consumo de área agricultável e a emissão de gases-estufa. Através de seu uso, é possível obter informações precisas e detalhadas sobre as áreas cultivadas, permitindo a adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

YAQOT e MENEZES (2021) abordaram essa tecnologia como uma ferramenta essencial para o setor, destacando seu potencial para aprimorar a produção agrícola. Os autores ressaltam que a utilização de *drones* pode ser ainda mais eficiente com a adoção da Inteligência Artificial (IA), permitindo a automatização dessa tecnologia e tornando a agricultura mais eficiente sob os critérios supracitados.

A IA pode auxiliar na coleta e análise de dados obtidos pelos *drones*, permitindo a identificação de áreas que necessitam de maior atenção e intervenção, bem como o monitoramento contínuo do desenvolvimento das culturas. Com isso, é possível realizar ações preventivas e corretivas de forma mais precisa e rápida, reduzindo custos e aumentando a produtividade (SKYDAN et al., 2019).

Assim, percebe-se que a utilização de *drones* na agroindústria apresenta um potencial significativo para aprimorar a produção agrícola, reduzir impactos

ambientais e promover a sustentabilidade no setor. A adoção da IA como ferramenta de suporte pode contribuir para tornar essa tecnologia ainda mais eficiente e produtiva, garantindo benefícios para toda a cadeia produtiva e para a sociedade em geral.

4.2.2 América do Sul

A América do Sul apresentou o segundo maior número de estudos investigados neste trabalho de pesquisa. Similarmente à região da Ásia, a maioria dos estudos se basearam na aplicação de tecnologias de Internet das Coisas. A análise dos estudos revelou que uma grande quantidade de trabalhos está focada na análise do estado atual da implementação de tecnologias da indústria 4.0 no setor agroindustrial, com destaque para a identificação dos desafios e para a oferta de *insights* sobre as boas práticas que podem ser adotadas nesse segmento, tanto por parte dos empresários quanto dos gestores de políticas públicas (GRIMBLATT, 2020).

Outro tema bastante presente foi a combinação de IoT com *blockchain* (LIMA, 2020) para gerar soluções voltadas à rastreabilidade de produtos e insumos na cadeia de produção. Além disso, outros temas relevantes foram mencionados, como o uso de aplicações IoT para controle de qualidade de produtos agrícolas através de inspeção visual computadorizada (TALAVERA et al., 2017), controle de variáveis ambientais, tais como umidade e temperatura (TALAVERA et al., 2017), conectividade de aplicações IoT através de 5G e LoRa (CAVALCANTE et al., 2017; GOMEZ-TORRES; TAMAYO, 2020), e gestão do conhecimento no contexto da modernização do agronegócio (ZANUZZI et al., 2020).

Nesse sentido, é possível perceber que a adoção de tecnologias de IoT e indústria 4.0 no setor agroindustrial tem se mostrado uma tendência crescente em diversos países do continente, com um número significativo de trabalhos dedicados a investigar os desafios e oportunidades nesse contexto. Esses estudos têm contribuído para a identificação de práticas bem-sucedidas e para a proposição de soluções inovadoras e eficazes para aprimorar a cadeia de produção agroindustrial.

Assim como ocorreu nos estudos realizados no continente asiático, os trabalhos científicos provenientes da América do Sul que abordaram a temática da

Internet das Coisas (IoT) também apresentaram uma tendência em integrar essa tecnologia a outras ferramentas de ponta. De fato, os artigos que trataram da IoT na América do Sul frequentemente mencionaram outras tecnologias emergentes como a conectividade 5G (CAVALCANTE et al., 2017), *big data* (LIMA et al., 2020), IA (RIBEIRO et al., 2020) e nuvem (LIMA et al., 2020).

Essa abordagem integrada entre diferentes tecnologias de ponta não é surpreendente, considerando que a IoT é uma tecnologia complexa que envolve a conexão de diversos dispositivos por meio da internet, gerando grande quantidade de dados que precisam ser processados, analisados e armazenados. Nesse contexto, a conectividade 5G, *data warehouse*, *big data*, Inteligência Artificial e nuvem se apresentam como ferramentas essenciais para a obtenção e o processamento desses dados em tempo real, possibilitando uma análise mais precisa e uma tomada de decisão mais rápida e eficiente.

Em um único artigo encontrado na literatura, MACEDO et al. (2018) exploram a aplicação da Inteligência Artificial na agroindústria, especificamente em sistemas de inspeção visual da qualidade de grãos no Brasil. A análise realizada pelos autores sugere que essa tecnologia pode apresentar potencial para aumentar a produtividade, reduzir impactos ambientais, aumentar lucros e melhorar a qualidade dos produtos.

Apenas um artigo tratou do tema da *blockchain*. Nele, ROCHA et al (2021), fizeram uma revisão sistemática sobre as aplicações dessa tecnologia no agronegócio, buscando identificar as atuais aplicações dessa tecnologia no setor agroindustrial e, ao mesmo tempo, apontar oportunidades para estudos futuros.

Os resultados obtidos indicaram que as pesquisas sobre a aplicação da *blockchain* no agronegócio ainda estão em fase inicial, pois há muitos protótipos sendo desenvolvidos e testados em laboratórios.

Os autores destacaram que a *blockchain* possui um grande potencial para promover maior confiabilidade e agilidade na transmissão de informações, com custos reduzidos. Entretanto, ressaltaram também a necessidade de investigar questões importantes, tais como os custos de transações, a governança das informações, novos modelos de negócio, a assimetria de informações, o custo de implementação da tecnologia e o uso da *blockchain* como ferramenta de gerenciamento nos setores agroindustriais.

4.2.3 Europa

A maior parte dos artigos estudados vindos da Europa também citaram a tecnologia IoT. Destes, o tema mais citado foi o uso dessa tecnologia como um importante recurso para melhorar a monitoração de produtos agrícolas através da cadeia de suprimentos. Essa aplicação da IoT pode gerar maior confiabilidade no processo, reduzir desperdícios e fornecer informações mais abundantes e confiáveis aos *stakeholders* sobre os produtos (SCUDERI et al., 2022).

Além disso, um tema que apareceu em um estudo foi a combinação da IoT com o *Edge Computing*, uma arquitetura de computação distribuída que coloca o processamento de dados mais próximo do dispositivo de origem, em vez de enviá-los para um *data center* ou nuvem centralizada para processamento. Essa abordagem pode reduzir o tráfego de dados na rede e melhorar a eficiência no processamento de informações (PÉREZ-PONS et al., 2021).

Os resultados desse estudo sugerem que a aplicação de técnicas de vanguarda, como a IoT e o *Edge Computing*, pode representar uma vantagem competitiva no longo prazo para medir a eficiência das Unidades de Tomada de Decisão. De fato, a crescente adoção do paradigma *agri-tech* está levando a cenários em larga escala, como fazendas com milhões de hectares e um grande número de sensores, o que se traduz em um aumento significativo do tráfego de dados para a nuvem (PÉREZ-PONS et al., 2021).

Outra tecnologia abordada pelos estudos analisados nesse continente foi *data warehouse*, abordada em um estudo feito por NGO et al. (2019). Nele, os autores apresentaram um estudo detalhado sobre o projeto e a implementação dessa tecnologia em uma aplicação voltada para o setor agroindustrial.

Os resultados obtidos pelos autores foram promissores, com métricas comparativas favoráveis em relação a outras tecnologias já estabelecidas. Além disso, eles sugeriram possíveis encaminhamentos para futuras pesquisas, como a utilização de técnicas sofisticadas de mineração de dados para determinar as características dos dados das colheitas e combiná-las com os resultados esperados para extrair conhecimento útil, modelos preditivos baseados em algoritmos de Inteligência Artificial, uma interface inteligente para acesso aos dados e a combinação com o *framework* de mapeamento de conhecimento de alta performance.

NGO; KECHADI (2020), tratam a respeito de *big data*. O estudo apresenta um esquema de constelação de fatos como estrutura geral para integrar diversos conjuntos de dados agrícolas. Esse esquema é flexível e extensível a outros conjuntos de dados agrícolas e critérios de qualidade de análise de Big Data. A partir desse esquema, os autores foram capazes de extrair, transferir e carregar informações de diversos conjuntos de dados em uma única representação unificada de dados agrícolas. Também foi realizado um estudo de análise de dados para investigar o efeito de determinados fatores agrícolas na produção de colheitas, utilizando técnicas de classificação. O estudo identificou as quantidades ideais de propriedades do solo, herbicidas e inseticidas para diferentes colheitas estudadas. Como trabalho futuro, a pesquisa pretende aplicar algoritmos de aprendizado de máquina mais sofisticados em seu conjunto de dados unificado para descobrir relações globais entre as propriedades do solo e outros fatores, como nutrientes e fertilizantes. Esse estudo futuro será apoiado por uma interface de visualização inteligente que permitirá o acesso aos dados e a exibição dos resultados da análise de dados.

Em um estudo focado em Inteligência Artificial, TUREČEK et al. (2022) procuram utilizar *deep learning* para procurar por moscas brancas em uma estufa de tomates. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de monitoramento de um fitopatologista profissional. Os resultados de monitoramento do funcionário treinado em relação ao profissional alcançaram um erro quadrático médio (RMSE) igual a 4,23, enquanto o modelo CNN desenvolvido foi avaliado em 5,83. Os resultados apresentados abrem novas fronteiras para ajustes adicionais no modelo CNN, levando ao potencial de substituir um ou mais funcionários no futuro e tornar a produção de tomate menos cara e menos dependente de mão de obra humana. Futuramente, os autores planejam ajustar a abordagem de rotulação de dados para superar as vantagens humanas no reconhecimento de moscas brancas.

4.2.4 África

Dois artigos encontrados foram atribuídos a autores vindos desse continente. Para melhor entender o primeiro, apresenta-se a definição de LoRaWAN: é uma arquitetura de sistema sem fio de ponta a ponta que fornece uma solução de

conectividade de baixo consumo de energia, longo alcance, baixo custo, segura e escalável para operadores públicos e redes privadas para uma ampla gama de casos de uso IoT. A arquitetura LoRaWAN utiliza a camada física LoRa baseada em modulação de espectro expandido e define vários protocolos para criar um sistema ponta a ponta. (YEGIN et al., 2020). Assim, nesse estudo, MILES et al. (2020) avaliam o desempenho do LoRaWAN em aplicações de IoT para agricultura inteligente. O estudo explora parâmetros críticos que não foram discutidos anteriormente na literatura, propondo um modelo matemático para estimar com precisão a taxa de entrega de pacotes bem-sucedida do LoRaWAN para uma fazenda piloto com base no intervalo de transmissão e no número de nós. Os pesquisadores confirmam que a arquitetura IoT LoRaWAN com uma única rede conectando até 1000 nós, enviando pacotes em um intervalo mínimo de transmissão de uma hora, é adequada para muitas aplicações agrícolas. A pesquisa incentiva o uso futuro de redes LoRaWAN para aplicações reais de IoT na agricultura inteligente e sugere pesquisas adicionais para considerar condições externas e ambientais que possam afetar o desempenho do LoRaWAN.

No segundo, uma revisão da literatura preliminar por ABBAN, R; ABEBE, G. (2022), foi feita uma análise das práticas sustentáveis adotadas nas cadeias de suprimentos de alimentos na África Subsaariana, e constatou-se que tecnologias específicas relacionadas à produção, armazenamento de grãos, gerenciamento de resíduos alimentares e gerenciamento de armazéns estão sendo utilizadas. No entanto, a adoção de tecnologias de processamento de alimentos e plataformas de marketing digital (*e-commerce*) é bastante baixa. Além disso, segundo os autores, a aplicação de tecnologias como Internet das Coisas, *Big Data*, Inteligência Artificial, *Blockchain* e/ou *Business Analytics* é rara. De acordo com a pesquisa, a maioria dos processos de digitalização tende a ser baseada em dispositivos móveis, como as TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação, como aplicativos móveis, SMS, chamadas de voz e internet móvel, que são utilizadas em dispositivos móveis, como smartphones e tablets), que estão ajudando pequenos agricultores na Tanzânia e Gana na cadeia de valor agrícola. Sugere-se que futuras pesquisas explorem os fatores socioeconômicos, técnicos, institucionais e outros que dificultam a adoção de tecnologias digitais na região, e que os resultados possam ter implicações importantes para políticas que apoiam a promoção de tecnologias digitais e práticas

sustentáveis ao longo das cadeias de suprimentos de alimentos na África Subsaariana.

4.2.5 América do Norte

Deste continente, foram encontrados 3 estudos. DU, X. et al. (2023) examinam o impacto da digitalização na agricultura e na cadeia de suprimentos de alimentos. O artigo fornece uma análise detalhada de tecnologias como sensoriamento remoto, robótica e aplicativos baseados em tecnologia de comunicação na Internet, e como essas tecnologias impactaram produtores e consumidores em termos de tomada de decisão e construção de relacionamentos. A inteligência artificial permitiu aos agricultores obter mais informações sobre a produção e gerenciar dados de forma mais eficaz, enquanto a robótica melhorou a automação da agricultura e do processamento de alimentos. Embora o comércio eletrônico de alimentos e mantimentos possa trazer benefícios ambientais adicionais, existem limitações, como a concorrência de varejistas tradicionais e obstáculos na compra de produtos agrícolas on-line. O artigo sugere combinar compras *on-line* e *off-line* para fornecer uma nova experiência de varejo, que pode beneficiar tanto os consumidores quanto a indústria de alimentos e agricultura.

FRANCO, J. D. et al. (2020) discutem um sistema de monitoramento que controla as variáveis de temperatura e umidade para a germinação de sementes de *Ocimum basilicum*. Os fatores controlados levam a tendências de crescimento positivas em comparação com fatores não controlados e regimes de hidratação cronometrados, resultando em um curto período de hidratação e na obtenção de radícula com alongamento entre 3 e 10 mm. O desempenho do controlador permite que as variáveis sejam estabelecidas na referência proposta para a semente. As informações são enviadas para a nuvem, facilitando o compartilhamento de dados em tempo real. Este trabalho fornece a base para trabalhos futuros para implementar um método de triagem na descoberta de condições ideais de germinação de sementes selvagens desconhecidas ou novas sementes obtidas por técnicas de reprodução usando estratégias como ANFIS (Sistema Adaptativo de Inferência *Neuro-Fuzzy*). As técnicas de classificação discutidas no artigo podem ser usadas para o estudo de uma variedade de classes de sementes.

XIN, J.; ZAZUETA, F. (2016) discutem tendências de tecnologia de comunicação e informação para aplicações voltadas para agricultura. O artigo conclui que a transformação digital na agricultura cria novas oportunidades para fornecer ferramentas inteligentes para a agricultura do futuro. Segundo os autores, os agricultores estão cada vez mais interessados em adotar a tecnologia de agricultura inteligente, e as soluções baseadas em nuvem podem fornecer um catálogo abrangente de serviços que atendam às suas necessidades, integrando e agregando serviços de várias fontes. A integração bem-sucedida de soluções de *software*, IoT, dispositivos móveis, e o gerenciamento de fazendas e baseadas em conhecimento e análises em tempo real em um ambiente em nuvem pode criar novas soluções para a agricultura inteligente. No entanto, criar esse ambiente em nuvem requer colaboração e expertise multidisciplinar entre provedores de serviços, e a superação de questões técnicas, como a definição de uma linguagem comum, criação de padrões, barramentos de serviço e APIs. Apesar desses desafios, segundo os autores, o futuro da agricultura será de soluções de agricultura inteligente centradas em dados, baseadas em conhecimento e centradas no agricultor em um modelo de aplicação em nuvem.

4.2.6 Oceania

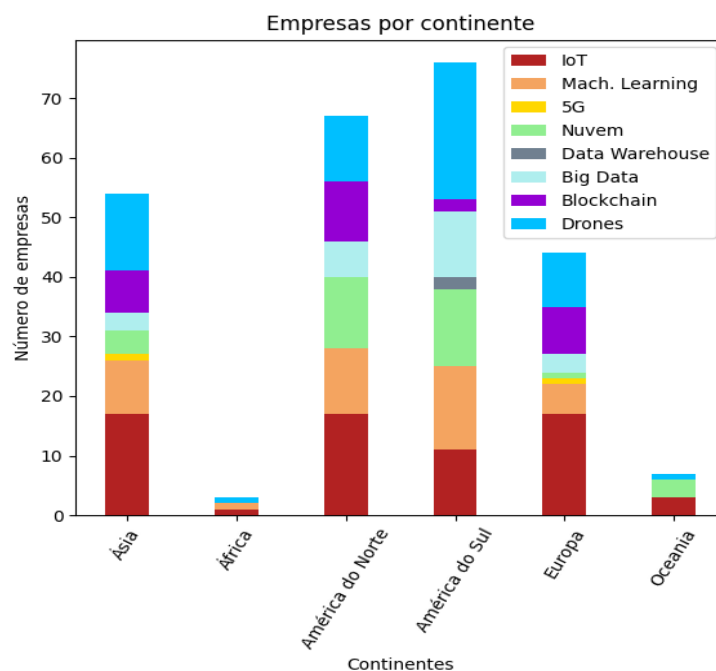
No único trabalho encontrado para esse continente, PEROV, I. (2021) analisa sistemas robóticos da indústria leiteira. O artigo conclui que a eficiência econômica dos sistemas de ordenha robótica é determinada por três principais fatores: a qualidade das decisões tomadas e executadas pelo ordenhador robótico, a redução da necessidade de envolvimento humano em rotinas diárias relacionadas à interação animal e a implementação de soluções tecnológicas que imitam processos naturais de ordenha o mais próximo possível. Ainda segundo os autores, o ordenhador robótico é capaz de cumprir todos os requisitos de ordenha, garantindo alta qualidade do leite e a saúde das vacas, fornecendo informações de decisão para vacas individuais, ajustando intervalos e frequências de ordenha, bloqueando a ordenha de quartos afetados, classificando animais por razões veterinárias e zootécnicas e implementando correções individuais para ração. Adicionalmente, a inclusão da ordenha robótica e dispositivos para determinação automática do índice

de detecção de mastite no sistema e/ou contador de células somáticas online poderia ajudar a identificar problemas com as glândulas mamárias.

Para promover a robotização da produção de laticínios e melhorar a eficiência de gestão em fazendas leiteiras robóticas, o artigo recomenda a criação de centros regionais para coletar e analisar dados de ordenha de sistemas informatizados em fazendas leiteiras. Esses dados, quando processados usando algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina, apoiarão o estabelecimento de práticas bem-sucedidas de gestão para complexos leiteiros robóticos. A criação de aplicativos de software especializados pode melhorar os indicadores de qualidade do leite comercial, aumentar a longevidade produtiva dos animais, acelerar a melhoria da genética do rebanho e criar condições para aumentar o número de vacas, manter o emprego e criar empregos informatizados. Os autores sugerem que essa abordagem também atrairá jovens especialistas para a agricultura.

4.3 REVISÃO DA PRÁTICA

Figura 7 – Empresas e suas tecnologias por continente



Fonte: elaborado pelo autor

Durante a busca por empresas segundo a metodologia anteriormente apresentada, foram encontradas organizações que oferecem produtos voltados para a agroindústria baseados nas tecnologias citadas. A distribuição global dessas empresas segue representada na Figura 7.

4.3.1 América do Sul

Observou-se que a tecnologia mais presente nos produtos das empresas sul-americanas foi o *drone*. Esses aparelhos têm sido amplamente utilizados para fins de visualização, mapeamento e aspersão de agentes químicos nas atividades agrícolas.

Uma descoberta interessante foi uma empresa sul-americana que apresentou drones especializados na distribuição de insetos. Essa inovação específica não foi identificada em nenhum outro lugar do mundo.

Essas informações evidenciam a relevância e a adoção crescente de drones no contexto do agronegócio, proporcionando benefícios como monitoramento mais preciso, eficiência na aplicação de insumos e potencial para controle biológico de pragas.

O mercado de produtos baseados na Internet das Coisas apresenta uma forte orientação para o monitoramento de variáveis. No âmbito agropecuário, as soluções oferecidas pelas empresas desse setor prometem registrar e monitorar informações cruciais para o sucesso das atividades, como o posicionamento, temperatura, ciclos de cio, comportamentos anômalos ou esperados, quantidade produzida (como leite, por exemplo) e estimativa de peso dos animais, utilizando a combinação de imagens obtidas por dispositivos IoT e análise baseada em Inteligência artificial.

No que se refere às lavouras, as soluções prometem o controle de variáveis como índice pluviométrico, umidade, qualidade do solo, do ar e da água, bem como dos produtos químicos presentes nesses elementos e suas quantidades. Algumas empresas vão além e oferecem monitoramento de veículos agrícolas e informações de telemetria a respeito dos mesmos, permitindo um controle mais preciso das atividades no campo. Ademais, algumas poucas empresas divulgaram soluções voltadas para o controle do estoque de insumos.

Dentre os produtos divulgados pelas empresas analisadas, a grande maioria utiliza a tecnologia 4G para transmitir suas informações. Entretanto, algumas poucas empresas oferecem a tecnologia LoRa, que se destaca por sua capacidade de transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia. O uso dessas tecnologias contribui para o fornecimento de dados em tempo real, possibilitando uma tomada de decisão mais precisa e assertiva por parte dos produtores rurais.

Embora muitas empresas trabalhem com Inteligência Artificial (IA) no continente em questão, as aplicações divulgadas pelas mesmas estão principalmente relacionadas ao processamento de imagens e previsão de cenários futuros, como previsão do tempo, do consumo de insumos e produtividade do empreendimento. No entanto, um número reduzido de empresas também oferece soluções de *software* de gestão que prometem automatizar operações agrícolas por meio da coleta e análise de um grande volume de dados. Tais soluções buscam identificar o melhor momento para realizar cada operação dentro do agronegócio, a fim de direcionar insumos, equipamentos, maquinários e mão de obra de maneira completamente autônoma. Esse avanço tecnológico na automação de operações agrícolas teria, supostamente, o potencial de melhorar significativamente a eficiência, reduzir custos e aumentar a produção em todo o setor agrícola.

Muitas das empresas sul-americanas que apresentam produtos baseados na computação em nuvem, tecnologia que se apresenta como uma alternativa vantajosa para hospedagem e processamento de grandes volumes de dados, a utilizam como base para sistemas de gestão, com foco na análise e visualização de dados por meio de gráficos e tabelas, proporcionando aos usuários informações úteis para tomadas de decisões mais assertivas. Algumas empresas vão além e oferecem infraestrutura de nuvem para que seus clientes desenvolvam suas próprias aplicações personalizadas, possibilitando maior autonomia e flexibilidade no uso dessa tecnologia. É importante destacar que o uso da tecnologia de nuvem está se tornando cada vez mais comum no ambiente empresarial e apresenta-se como uma solução estratégica para otimização de processos e ganhos em eficiência e produtividade.

As empresas sul-americanas têm divulgado seus produtos baseados em *big data* como fundamentais para outras aplicações tecnológicas, destacando-se principalmente na Internet das Coisas, Inteligência Artificial e computação em

nuvem. Tais produtos têm a capacidade de fornecer informações valiosas para sistemas IoT, incluindo sensores e dispositivos conectados, com base na coleta e análise de grandes volumes de dados. Além disso, a integração desses produtos com tecnologias de IA permite a extração de *insights* relevantes, como padrões e correlações, que são valiosos para a tomada de decisões e aprimoramento de processos. Finalmente, a utilização da infraestrutura de nuvem oferecida pelas empresas sul-americanas permite uma implementação mais fácil e escalonável dessas soluções em um ambiente virtualizado.

A despeito do potencial da tecnologia *blockchain*, apenas um número reduzido de empresas oferece soluções baseadas nessa tecnologia para a cadeia de suprimentos. Esses produtos especializados possuem o propósito de monitorar o fluxo de insumos e produtos, visando aprimorar a transparência e a segurança em todos os elos dessa cadeia.

Por outro lado, observa-se uma concentração de empresas sul-americanas que oferecem soluções baseadas em *data warehouse* especificamente direcionadas ao agronegócio. Nesses casos, a tecnologia é aplicada em conjunto com técnicas de Inteligência Artificial, permitindo a análise e o armazenamento de dados de produção e gestão, com o objetivo de gerar informações estratégicas e ferramentas de inteligência de negócios voltadas para o agronegócio.

4.3.2 América do Norte

No continente da América do Norte, as empresas têm apresentado uma ampla gama de produtos que utilizam a tecnologia IoT em diversos setores, como na agricultura e na criação de animais. Esses produtos têm sido desenvolvidos com recursos tecnológicos que permitem monitorar uma variedade de variáveis relacionadas ao solo, água e ar, como a umidade, níveis de macro e micronutrientes, presença de produtos químicos, temperatura, estufas inteligentes e monitoramento meteorológico, entre outros.

Na agricultura, por exemplo, os produtos são projetados para fornecer aos agricultores informações precisas e em tempo real sobre as condições de cultivo, permitindo que eles possam tomar decisões estratégicas sobre o manejo da plantação, como a irrigação e a aplicação de fertilizantes. Já na criação de animais,

os produtos oferecem recursos avançados para controlar variáveis como a temperatura e a umidade, além de monitorar o comportamento dos animais, como ciclos de cio, comportamentos anômalos ou esperados, quantidade produzida e estimativa de peso dos animais.

Combinando essas tecnologias com a IA (Inteligência Artificial), as empresas na América do Norte estão oferecendo produtos que prometem melhorar o controle e a previsão de ciclos de manutenção de equipamentos e inventário e consumo de insumos, previsão do tempo, previsão da qualidade e quantidade de colheitas e produtos de origem animal e detecção de pragas e parasitas. Esses produtos permitem que os agricultores e criadores de animais possam ter um melhor controle sobre suas operações, identificando e solucionando possíveis problemas antes que eles se tornem críticos.

Adicionalmente, essas empresas também estão oferecendo produtos que permitem o controle do posicionamento e telemetria de veículos e equipamentos, além de integração de redes IoT com *drones* e redes de conexão para dispositivos IoT, utilizando tecnologias LoRa e de telefonia. Essas tecnologias oferecem novas possibilidades para o gerenciamento de recursos, como o transporte e logística de produtos, permitindo que as empresas possam operar com maior eficiência e competitividade.

As organizações dos Estados Unidos têm expressado o potencial da tecnologia *blockchain* na indústria agropecuária, principalmente em relação à rastreabilidade, confiança e transparência nas operações da cadeia de suprimentos. A aplicação do *blockchain* no setor também oferece a proteção da integridade dos dados contra ameaças cibernéticas, além da capacidade de realizar transações com criptomoedas.

Outro benefício apontado pelas empresas é a possibilidade de aprimorar a distribuição de subsídios, o que poderia garantir que esses recursos sejam destinados às pessoas que realmente precisam deles. Além disso, a adoção da tecnologia *blockchain* pode melhorar a confiabilidade dos relatórios apresentados aos stakeholders sobre essa distribuição.

Muitas organizações acreditam que a confiabilidade e disponibilidade dos dados podem ser ampliadas ainda mais pela combinação dessa tecnologia com outras como a Internet das Coisas e a computação em nuvem. Essa integração

permitiria a automatização de transações, reduzindo o risco de erros humanos, sejam eles intencionais ou não.

As empresas norte-americanas têm apresentado produtos baseados em tecnologia de computação em nuvem que visam fornecer soluções avançadas para gestão empresarial. Entre essas soluções, destacam-se programas de MRPs (*Material Requirements Planning* - Planejamento das Necessidades de Materiais, em português), que têm como objetivo facilitar o planejamento das necessidades de materiais na produção. Adicionalmente, são oferecidas plataformas de análise e visualização de dados relacionados às demandas do empreendimento, que utilizam algoritmos de Inteligência Artificial para fornecer *insights* avançados e relevantes aos gestores.

A tecnologia da computação em nuvem também é utilizada para oferecer serviços de consultoria para projetos e implementações no agronegócio. Dessa forma, as empresas visam ajudar os produtores rurais a compreenderem e aproveitarem todo o potencial dessa tecnologia, otimizando suas operações e aumentando sua produtividade.

A adoção de soluções baseadas em computação em nuvem pode proporcionar diversos benefícios para o agronegócio, incluindo a redução de custos operacionais, a melhoria da eficiência e a otimização dos processos produtivos. Além disso, a tecnologia de nuvem permite a integração de diferentes sistemas e a utilização de dados em tempo real, permitindo que os administradores tomem decisões mais informadas e estratégicas.

As empresas norte-americanas têm empregado a Inteligência Artificial em seus produtos de três maneiras principais. A primeira delas é por meio da integração com dispositivos de Internet das Coisas, que permite a automação da coleta de dados e informações, bem como sua classificação e armazenamento em bancos de dados locais ou na nuvem. Esse tipo de integração permite que as informações sejam coletadas em tempo real, proporcionando aos gestores uma visão mais precisa e atualizada das condições da lavoura ou criação.

A segunda maneira pela qual a IA tem sido empregada é no processamento de imagens, que são utilizadas para classificação do solo, monitoramento da colheita, classificação de solo e detecção de doenças em animais. Esse tipo de aplicação requer o uso de algoritmos de processamento de imagens avançados, que são capazes de identificar e classificar características específicas das imagens.

Por fim, a terceira maneira pela qual a IA tem sido utilizada é como uma ferramenta para auxiliar o gerenciamento de recursos. Nesse caso, algoritmos de IA são utilizados para analisar dados coletados a respeito da lavoura ou criação, identificando as variáveis mais críticas para a produtividade e qualidade dos produtos. Além disso, a IA é capaz de prever a demanda e consumo de insumos e produtos, permitindo uma melhor gestão dos recursos disponíveis.

As empresas norte-americanas que utilizam *Big Data* como ferramenta para aprimorar suas soluções de agronegócio adotam uma abordagem baseada em infraestrutura para a implantação dessa tecnologia. Isso implica no uso dessa tecnologia para armazenamento, processamento e análise de grandes volumes de dados gerados pelas atividades agrícolas, como dados climáticos, de solo, de mercado e de safras, para o desenvolvimento de soluções personalizadas para o produtor rural. Essas soluções podem ser implementadas em diferentes fases do ciclo produtivo, desde a análise do solo e planejamento da safra até a gestão de colheita e pós-colheita.

Adicionalmente, as empresas destacam a importância do *Big Data* como base para outras tecnologias de ponta, tais como Inteligência Artificial, permitindo a realização de análises mais precisas e aprimoramento de modelos preditivos para otimização da produtividade e da eficiência dos processos agrícolas. Isso, por sua vez, possibilita a redução de custos e aumenta a rentabilidade das atividades agropecuárias.

As empresas norte-americanas que oferecem produtos baseados em *drones* têm como principal destaque a capacidade desses veículos em gerar imagens que são posteriormente processadas por algoritmos de Inteligência Artificial para obtenção de dados importantes relacionados à produção agrícola. Dentre esses dados, destacam-se informações como tipo de colheita, número de animais, estado de desenvolvimento das plantas, movimentação de animais, tipo de solo, elevação e presença de parasitas, dentre outros. Além disso, essas empresas também ressaltam a capacidade dos drones em transportar sensores diversos, o que amplia ainda mais a sua capacidade de coletar informações relevantes para o gerenciamento da produção agrícola.

Outro uso muito comum desses veículos na agricultura é a sua utilização para aspersão de produtos químicos, como defensivos e fertilizantes. Esse tipo de

aplicação aumenta a eficiência na distribuição desses insumos, garantindo uma melhor cobertura e uma distribuição mais uniforme nos cultivos.

Alguns desses produtos também oferecem a operação de *drones* como serviço, o que permite que os produtores tenham acesso à tecnologia sem a necessidade de investir em equipamentos próprios. Além disso, apenas uma empresa ofereceu a montagem de *drones* sob encomenda, de acordo com as especificações de cada cliente.

4.3.3 Ásia

Apenas um número limitado de empresas sediadas na Ásia divulgou suas soluções baseadas em nuvem, especificamente direcionadas para a agroindústria. A oferta dessas empresas abrange plataformas de armazenamento, processamento e visualização de dados referentes às operações da indústria agrícola. Essas soluções baseadas em nuvem permitem que as empresas agroindustriais aproveitem as vantagens da tecnologia de computação em nuvem para armazenar grandes quantidades de dados com facilidade e acessá-los a qualquer momento e de qualquer lugar. A nuvem também permite que esses dados sejam processados e visualizados para aprimorar a tomada de decisões e otimizar as operações agrícolas.

As empresas asiáticas apresentaram mais produtos baseados na tecnologia Internet das Coisas. Os produtos apresentados tinham como objetivo principal a automação da coleta de dados, que era realizada por dispositivos IoT que conectam sensores a uma rede de computadores responsável pelo armazenamento dos dados para posterior processamento com o uso de algoritmos de Inteligência Artificial. Dessa forma, foi possível gerar ferramentas de inteligência de negócios voltadas especificamente para a agroindústria. Além disso, essas empresas utilizaram a tecnologia IoT para monitorar as condições climáticas em pontos específicos da produção.

A automação de recursos como água e ração, controle de posicionamento de animais e veículos agrícolas e monitoramento de variáveis ligadas à manutenção da qualidade dos produtos através da cadeia de suprimentos, como umidade,

temperatura e exposição à luz, foram menos presentes nos produtos apresentados pelas empresas asiáticas.

Em relação à conectividade utilizada, a tecnologia LoRa foi a mais citada pelas empresas, seguida pela LTE. No entanto, é importante destacar que outras tecnologias de conectividade também estão sendo utilizadas no mercado, e cada uma apresenta vantagens e desvantagens específicas dependendo do contexto de aplicação.

As empresas asiáticas que fornecem soluções baseadas em *drones*, assim como suas contrapartes norte-americanas, estão se concentrando no desenvolvimento de produtos que visam adquirir imagens e dados por meio de sensores embarcados. Esses dados são posteriormente processados para gerar *insights* e mapeamento geográfico, bem como para aprimorar a tomada de decisões estratégicas no âmbito dos negócios. Além disso, muitas dessas empresas estão investindo em veículos especializados para a aspersão de agentes químicos nas lavouras, o que tem sido bem recebido pela indústria agrícola.

No entanto, um número reduzido de empresas está desenvolvendo *drones* terrestres, uma inovação que é exclusiva do continente asiático no mundo todo. Esses veículos, que diferem dos aéreos convencionais, são projetados para operar em superfícies planas e podem ser utilizados em tarefas que incluem aspersão de agentes químicos, coleta de dados por sensores e monitoramento ambiental.

Outra distinção entre as empresas asiáticas e seus concorrentes internacionais é a baixa presença de *drones* autônomos em seus catálogos de produtos. Embora possa haver empresas desenvolvendo esses *drones* em outras partes do mundo, as empresas asiáticas são as únicas que divulgaram comercialmente esses veículos autônomos.

As empresas asiáticas que apresentam produtos na área de Inteligência Artificial têm investido em soluções de análise de imagens que utilizam algoritmos especializados no processamento de conteúdo visual. Essas soluções oferecem diversos benefícios, como a análise e classificação de sementes, condições físicas e químicas do solo, qualidade dos produtos enviados para clientes e incidência de pragas. Além disso, a IA é utilizada para prever o consumo de insumos, a incidência de pragas, o clima nas localidades observadas e a quantidade e qualidade da produção.

Nesse contexto, destaca-se a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina, que permitem que as soluções de IA aprendam e melhorem a partir dos dados coletados pelos sensores. Isso é particularmente útil para a previsão de condições futuras e para a identificação de padrões complexos que seriam difíceis ou impossíveis de identificar por meio da análise humana.

Além disso, um número reduzido de empresas asiáticas oferece sistemas de navegação autônoma para *drones*, o que permite que esses equipamentos sejam controlados de forma autônoma, sem a necessidade de intervenção humana.

As empresas asiáticas que oferecem soluções baseadas em *blockchain*, tecnologia que permite a criação de um registro digital de transações e a sua verificação descentralizada, têm se concentrado em soluções de rastreabilidade e transparência na cadeia de suprimentos do setor agrícola. Através da utilização de *blockchain*, é possível criar um registro imutável e seguro das informações sobre o produto, incluindo dados sobre a sua origem, condições de armazenamento e uso de produtos químicos. Isso proporciona uma maior confiabilidade e transparência em toda a cadeia, desde a produção até a entrega do produto final ao consumidor, possibilitando a rastreabilidade do produto em cada etapa do processo.

As empresas asiáticas destacam que uma das principais vantagens da adoção da tecnologia *blockchain* é a prevenção de fraudes em seguros, o que pode reduzir significativamente os custos para os investidores do setor agrícola. Além disso, essas empresas apontam que as transações financeiras podem ser agilizadas por meio de *smart contracts* (contratos inteligentes), que permitem a execução automática de acordos preestabelecidos, sem a necessidade de intermediários, reduzindo custos e aumentando a eficiência do processo.

Vale ressaltar que, apesar de algumas empresas asiáticas estarem explorando o uso de *blockchain* em transações financeiras, o uso de criptomoedas ainda é pouco expressivo no setor agrícola.

Apenas um número limitado de empresas sediadas na Ásia divulgou suas soluções baseadas em nuvem, especificamente direcionadas para a agroindústria. A oferta dessas empresas abrange plataformas de armazenamento, processamento e visualização de dados referentes às operações da indústria agrícola. Essas soluções baseadas em nuvem permitem que as empresas agroindustriais aproveitem as vantagens da tecnologia de computação em nuvem para armazenar grandes quantidades de dados com facilidade e acessá-los a qualquer momento e de

qualquer lugar. A nuvem também permite que esses dados sejam processados e visualizados para aprimorar a tomada de decisões e otimizar as operações agrícolas.

As empresas asiáticas que oferecem soluções baseadas em *Big Data* para o setor agroindustrial se concentram em plataformas de armazenamento e processamento de dados. Essas plataformas permitem a coleta, organização, análise e interpretação de grandes conjuntos de dados, com o objetivo de gerar *insights* valiosos para as empresas.

As plataformas oferecidas por essas empresas são apoiadas por algoritmos de Inteligência Artificial, que são capazes de processar grandes volumes de dados e extrair informações significativas a partir deles. A IA pode ser utilizada para identificar padrões e tendências nos dados, fornecendo informações valiosas para a agroindústria.

A empresa asiática que apresenta produtos baseados em 5G conta apenas com módulos de transmissão de dados que se utilizam dessa tecnologia, para uso em conjunto com dispositivos IoT.

Os módulos de transmissão de dados oferecidos por essa empresa são projetados para facilitar a conexão entre dispositivos IoT e a rede 5G. Eles permitem que esses dispositivos se comuniquem com a rede de maneira rápida e eficiente, fornecendo uma ampla gama de possibilidades de uso, desde aplicações industriais até soluções para o consumidor final.

4.3.4 Europa

As empresas europeias, tal como seus pares norte-americanos e asiáticos, apresentam uma ampla variedade de soluções tecnológicas baseadas na Internet das Coisas. Essas soluções são capazes de coletar uma vasta gama de dados em tempo real, tais como informações relacionadas à qualidade do solo, condições climáticas, estado das colheitas, temperatura e umidade, contando com sistemas de alerta que disparam quando os dados coletados saem dos limites preestabelecidos para cada cultura ou criação.

Alguns produtos têm a funcionalidade adicional de acionar sistemas auxiliares de controle de variáveis, tais como sistemas de irrigação ou climatizadores

de ar para animais, quando as condições ambientais atingem níveis críticos ou indesejados.

A interconexão entre sistemas de computação em nuvem para análise e visualização dos dados é um aspecto bastante presente nos produtos oferecidos pelas empresas europeias no campo da agricultura e pecuária. Algumas empresas oferecem produtos que incluem monitoramento de dados de animais, como frequência cardíaca, pressão sanguínea, ritmo de respiração, digestão e outros sinais vitais. Esses dados são coletados em tempo real e são integrados com outras informações relevantes, como clima, temperatura e qualidade do solo, para, de acordo com os anúncios das empresas, fornecer *insights* valiosos para o gerenciamento das atividades agrícolas e pecuárias.

Nesse contexto, a coleta e análise de dados de animais pode ser particularmente útil para a melhoria da saúde e bem-estar dos animais, bem como para a prevenção de doenças e aumento da produtividade na criação.

A integração com sistemas de computação em nuvem para análise e visualização dos dados foi uma funcionalidade presente em muitos desses produtos, e algumas empresas ainda oferecem recursos avançados, como a detecção de pragas por meio de algoritmos de inteligência artificial e a automação de transações na *blockchain* dentro da cadeia de suprimentos, agilizando o processo.

Destaca-se também o monitoramento inteligente de estoques e o posicionamento de animais e veículos agrícolas, que visam aumentar a eficiência da cadeia produtiva. Quanto às conexões utilizadas para esses dispositivos, as empresas europeias adotam principalmente as tecnologias celular e LoRa, sendo esta anunciada como uma solução mais eficiente do ponto de vista ecológico e ambiental, devido ao seu menor consumo de energia. Na perspectiva do gerenciamento agrícola, as empresas que desenvolvem soluções de inteligência artificial (IA) destacam sua capacidade de fornecer informações úteis para aprimorar a produtividade das culturas. Com base em dados coletados por sensores e outras fontes, essas soluções podem realizar a análise da saúde das plantas, monitoramento da qualidade e classificação das colheitas, bem como o desenvolvimento de programas para sistemas de colheita automática. Além disso, esses dados podem ser usados para otimizar algoritmos de previsão de produtividade, a fim de prever a safra de forma mais precisa e melhorar a tomada de decisão.

As empresas também destacam que a detecção precoce de doenças e pragas pode reduzir significativamente os custos de tratamento. Por meio do uso de técnicas de aprendizado de máquina, essas soluções podem identificar padrões nos dados coletados e, com isso, alertar os agricultores para a presença de pragas ou doenças em suas culturas antes que se tornem um problema grave. Assim, ao detectar a presença desses problemas de forma antecipada, é possível implementar medidas preventivas ou curativas com mais eficiência e eficácia, o que pode levar a uma redução nos custos de produção e aumento da rentabilidade.

As empresas europeias que se destacam na oferta de produtos baseados em *drones* apresentam uma ampla gama de funcionalidades, que vão desde a irrigação, monitoramento e aspersão de produtos químicos, até a plantação, análise do solo e controle de pragas, além do monitoramento da saúde das plantas, gerenciamento de animais e vigilância aérea. Algumas dessas funções, como captura e processamento de imagens e coleta de dados, são executadas com o auxílio de dispositivos e sensores de Internet das Coisas e algoritmos baseados em Inteligência Artificial.

É importante ressaltar que algumas empresas vão além, oferecendo *softwares* para a automação de *drones* e mapeamento usando esses veículos. Adicionalmente, um número limitado de empresas anunciou a criação de veículos autônomos, com conectividade *wifi* e celular.

Nas empresas analisadas nesta seção, é perceptível que os *drones* destinados a sensoriamento e visualização foram mais comuns do que aqueles voltados à aspersão de produtos químicos. Isso sugere uma maior ênfase na coleta de dados para o monitoramento e análise das condições do solo, da plantação e dos animais, em vez do uso para a aplicação direta de insumos agrícolas.

No continente em questão, é possível encontrar empresas que oferecem produtos baseados em *blockchain*, destacando principalmente seu uso para registro e automação de transações na cadeia de suprimentos. Dentre as informações que podem ser incluídas em cada bloco da *blockchain*, estão a qualidade dos produtos, métodos de cultivo ou criação, a localização de cada item na cadeia de suprimentos, como está sendo tratado e de onde vem. Algumas empresas afirmam que, ao combinar essa tecnologia com dispositivos IoT, é possível automatizar o registro de transações, gerando aumento na velocidade e confiabilidade das informações.

De acordo com essas empresas, a adoção dessa tecnologia no contexto da agroindústria oferece diversas vantagens, tais como: aumento da transparência e segurança dos dados compartilhados pela cadeia de suprimentos, facilidade na realização de auditorias, melhoria na transparência da distribuição de subsídios, facilidade na gestão do inventário, redução de custos e taxas administrativas, aumento da segurança, por dificultar a ação de hackers, e maior agilidade no pagamento dos produtos. Além disso, a implementação de *smart contracts* pode acelerar ainda mais e dar maior confiabilidade ao processo de registro de transações.

A tecnologia *blockchain*, juntamente com dispositivos IoT, permite que as empresas envolvidas na cadeia de suprimentos registrem, monitorem e rastreiem informações de forma segura e confiável. Essa tecnologia pode transformar a maneira como a cadeia de suprimentos é gerenciada, possibilitando maior transparência, eficiência e redução de custos.

Na região em questão, existem empresas que desenvolvem produtos com base em tecnologias de Inteligência Artificial, os quais são destinados à aplicação em atividades agrícolas e de criação de animais, sendo estes últimos, especialmente os bovinos e as aves, os principais alvos das soluções oferecidas. Mais especificamente, essas empresas alegam que seus produtos têm a capacidade de coletar uma variedade de informações relacionadas à saúde e bem-estar dos animais, tais como a detecção do período de cio, estimativas de peso, estatísticas de fertilidade, identificação de sintomas de doenças e monitoramento da alimentação. Tudo isso é possível graças às funcionalidades disponíveis nesses produtos, que utilizam algoritmos de IA para analisar uma grande quantidade de dados gerados pelos sensores e outras fontes de informação em tempo real, a fim de gerar informações úteis à tomada de decisões no contexto do agronegócio.

No que tange ao plantio, empresas que apresentam produtos baseados em Inteligência Artificial afirmam oferecer soluções que são capazes de realizar a avaliação de condições de saúde das plantas, de forma a permitir uma identificação precoce de anomalias e doenças, possibilitando a tomada de ações preventivas. Além disso, esses produtos podem realizar a avaliação da qualidade e classificação das colheitas, tornando possível a seleção de produtos de maior qualidade e com maior valor agregado. Outro benefício desses produtos é o desenvolvimento de programas para sistemas de colheita automática, que permitem uma maior eficiência

na colheita e redução de desperdícios de produtos, o que contribui para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Na perspectiva do gerenciamento agrícola, as empresas que desenvolvem soluções de inteligência artificial destacam sua capacidade de fornecer informações úteis para aprimorar a produtividade das culturas. Com base em dados coletados por sensores e outras fontes, essas soluções podem realizar a análise da saúde das plantas, monitoramento da qualidade e classificação das colheitas, bem como o desenvolvimento de programas para sistemas de colheita automática. Além disso, esses dados podem ser usados para otimizar algoritmos de previsão de produtividade, a fim de prever a safra de forma mais precisa e melhorar a tomada de decisão.

As empresas também destacam que a detecção precoce de doenças e pragas pode reduzir significativamente os custos de tratamento. Por meio do uso de técnicas de aprendizado de máquina, essas soluções podem identificar padrões nos dados coletados e, com isso, alertar os agricultores para a presença de pragas ou doenças em suas culturas antes que se tornem um problema grave. Assim, ao detectar a presença desses problemas de forma antecipada, é possível implementar medidas preventivas ou curativas com mais eficiência e eficácia, o que pode levar a uma redução nos custos de produção e aumento da rentabilidade.

No continente em questão, as empresas que oferecem produtos baseados em *Big Data* utilizam essa tecnologia como fonte de dados para análises por meio de algoritmos de Inteligência Artificial. Especificamente, a utilização de *Big Data* no contexto da agroindústria permite que dados de diversas fontes sejam coletados, processados e analisados, possibilitando uma tomada de decisão mais embasada. As empresas destacam que a análise de dados pode ser usada para diversas finalidades, como o monitoramento de condições climáticas, o rastreamento da produção agrícola, a otimização de recursos, a previsão de safras e o gerenciamento de riscos. A tecnologia de *Big Data* também pode ser integrada com outras soluções de tecnologia, como IoT e *blockchain*, para fornecer uma visão mais completa e detalhada do processo produtivo. Adicionalmente, verificou-se que uma empresa ofereceu soluções inovadoras ao utilizar a tecnologia de comunicação 5G para conectar seu *drone*, permitindo o envio ágil de informações coletadas para servidores externos, a fim de serem processados de forma eficiente.

4.3.5 Oceania

No continente da Oceania, foram encontradas empresas nos países Austrália e Nova Zelândia. Essas empresas se destacam por oferecer soluções em IoT para o setor agroindustrial. Essas soluções são baseadas em um grande número de sensores distribuídos em diferentes pontos da produção, que permitem coletar informações sobre diversos aspectos do processo produtivo e do ambiente em que ele ocorre.

Esses sensores medem e armazenam dados relacionados ao uso de recursos como fertilizantes, energia, água, luz, umidade, temperatura, níveis de macro e micronutrientes, posicionamento de veículos e telemetria e posicionamento de animais. Com base nesses dados, são gerados *insights* para auxiliar na tomada de decisão em empreendimentos agroindustriais, bem como alertas para avisar caso alguma variável esteja fora dos padrões de referência.

Além disso, essas soluções permitem rastrear dados de animais, como comportamento, peso, fertilidade e ciclos de cio. Essas informações podem ser utilizadas para monitorar o bem-estar animal e detectar possíveis problemas de saúde precocemente, reduzindo os custos com tratamentos e melhorando a eficiência produtiva. A utilização de sensores em rede é uma tecnologia em ascensão no setor agroindustrial e tem sido amplamente estudada e aplicada em diferentes contextos.

No continente analisado, empresas têm oferecido soluções de tecnologia da nuvem, que envolvem serviços de armazenamento e backup na nuvem, consultoria em arquitetura em nuvem, migração para esse tipo de tecnologia e ERPs virtuais acessíveis em diferentes dispositivos. Esses ERPs se destacam por apresentarem múltiplos recursos de visualização, tais como gráficos e tabelas, que facilitam a análise e a interpretação dos dados.

É importante ressaltar, de acordo com essas empresas, que a migração para a tecnologia da nuvem pode trazer benefícios significativos, como a redução de custos com infraestrutura e maior agilidade na gestão de dados, além de aumentar a segurança no armazenamento das informações. Ademais, a disponibilidade do ERP virtual em diversos dispositivos permite que os usuários possam acessar as

informações de qualquer lugar e a qualquer momento, trazendo mais flexibilidade e praticidade para a gestão empresarial.

No continente em questão, constatou-se que há somente uma empresa que fornece soluções relacionadas a *drones*. Esses dispositivos são utilizados principalmente para fins de mapeamento, gerando dados georreferenciados de infraestrutura, vigilância, imagens e condições climáticas. Esses dados podem ser aplicados tanto na agricultura quanto na pecuária.

4.3.6 África

No continente Africano, apenas duas empresas apresentaram produtos relacionados a IoT voltados ao agronegócio. Esses produtos realizam a coleta de dados relevantes por meio de dispositivos IoT. Esses dispositivos são capazes de coletar dados sobre pluviometria, temperatura, velocidade e direção do vento, pressão do ar, posicionamento de animais e máquinas e umidade, o que pode contribuir para a otimização do uso de recursos e aumento da qualidade das colheitas. Adicionalmente, uma das empresas oferece a implementação de estufas inteligentes, capazes de se autorregular em termos de temperatura, umidade do ar e irrigação.

Segundo material divulgado pelas empresas, a utilização de IoT no agronegócio africano pode trazer inúmeros benefícios, tais como a redução de custos de produção e a minimização do impacto ambiental, já que a tecnologia permite uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos naturais. Além disso, a automatização do processo de coleta de dados pode aumentar a produtividade do empreendimento, já que os gestores têm acesso a informações mais precisas e atualizadas sobre as condições do ambiente de produção. As principais vantagens da aplicação dessa tecnologia, segundo a empresa, são a otimização no uso de recursos e a melhoria na qualidade da produção.

No continente Africano, a utilização de *drones* no agronegócio é ainda pouco explorada, tendo em vista que apenas uma empresa desse continente apresentou soluções em *drones* para essa finalidade. Essa empresa oferece serviços que utilizam esses veículos para o sensoriamento e mapeamento do empreendimento agrícola, possibilitando a coleta de dados precisos em áreas de difícil acesso ou em

grandes extensões territoriais. Além disso, essa empresa também oferece serviços de aspersão de produtos químicos de maneira precisa, o que pode levar a uma maior eficiência e redução no uso desses agentes.

4.4 COMPARAÇÃO

Com base nessa análise comparativa, espera-se fornecer uma visão ampla e aprofundada do estado atual da adoção da Indústria 4.0 na agroindústria, destacando tanto as contribuições positivas quanto as limitações encontradas. Essa comparação entre estudos acadêmicos e aplicações práticas permitirá uma compreensão mais holística dos avanços e das lacunas existentes, bem como das oportunidades e desafios enfrentados pela agroindústria ao adotar as tecnologias da Indústria 4.0.

Além disso, essa análise comparativa também poderá fornecer *insights* valiosos para o desenvolvimento e implementação de estratégias eficazes para a adoção da Indústria 4.0 na agroindústria. Ao compreender as lacunas entre a teoria e a prática, os pesquisadores, gestores e tomadores de decisão poderão direcionar esforços e recursos de forma mais eficiente, concentrando-se em áreas específicas que requerem maior atenção e investimento.

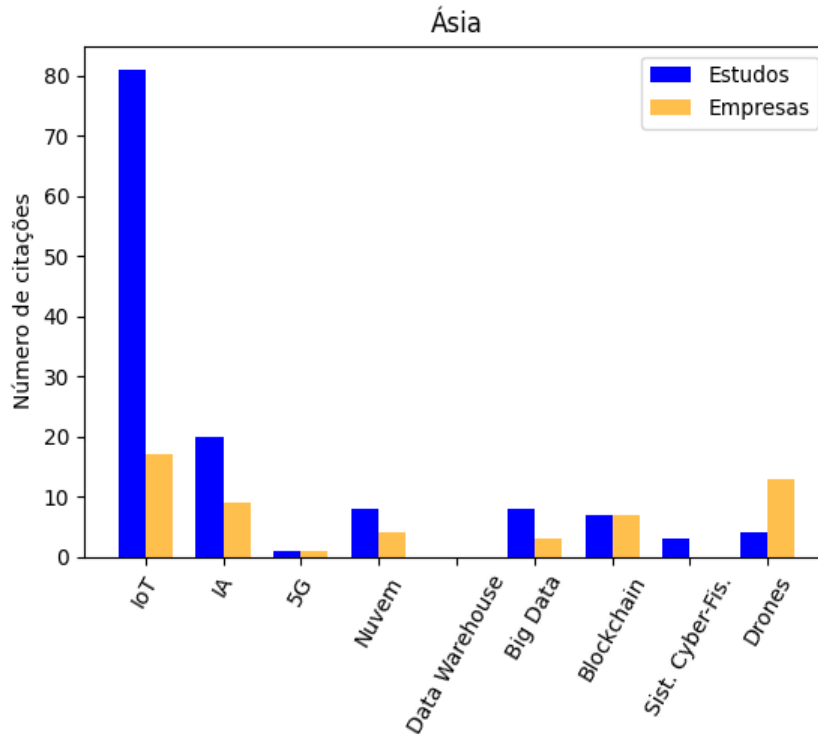
4.4.1 Ásia

Durante o período analisado, que compreendeu os anos de 2015 a 2023, foi observado um considerável número de estudos que abordaram a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na agroindústria, sendo o continente asiático destacado como o principal cenário dessas pesquisas. Os esforços nessa região para explorar as potencialidades da Indústria 4.0 no contexto agroindustrial foram notáveis, superando outras regiões do mundo em quantidade de estudos desenvolvidos.

Entre as tecnologias da Indústria 4.0 investigadas nesses estudos, a Internet das Coisas (IoT) emergiu como uma das principais tecnologias adotadas na agroindústria asiática. A IoT, caracterizada pela interconexão de dispositivos inteligentes através da internet, proporcionou um salto qualitativo na eficiência

operacional, rastreabilidade dos produtos, monitoramento ambiental e gestão inteligente dos recursos nesse setor.

Figura 8 – Tecnologias nos estudos e empresas da Ásia



Fonte: elaborado pelo autor

No âmbito dos estudos realizados na Ásia, a IoT foi amplamente abordada, demonstrando sua importância para o avanço da agroindústria. Por meio da implementação de sensores inteligentes, os pesquisadores coletaram dados em tempo real sobre parâmetros críticos, como temperatura, umidade do solo, qualidade da água e condições climáticas. Esses dados, transmitidos e analisados em plataformas digitais, proporcionaram uma base sólida para a tomada de decisões informadas e uma resposta rápida a eventos imprevistos. Além disso, a IoT permitiu a automação de processos, com dispositivos interconectados otimizando os fluxos de produção e reduzindo a dependência da intervenção humana.

No entanto, é importante salientar que a dominância da IoT nos estudos não se refletiu de forma tão pronunciada no âmbito das empresas que trabalham com as tecnologias da Indústria 4.0 na Ásia. Embora a IoT tenha sido uma tecnologia relevante, outras tecnologias também desempenharam papéis significativos na implementação dessas tecnologias. É interessante destacar que as tecnologias de

drones e *blockchain* se destacaram nas empresas em comparação com os estudos realizados. Os *drones* foram amplamente utilizados para o monitoramento de áreas agrícolas, auxiliando no mapeamento e na análise de lavouras e para a aplicação de produtos químicos usados na agroindústria, enquanto a tecnologia *blockchain* encontrou aplicação na garantia da rastreabilidade e segurança dos produtos agroindustriais.

Além disso, as tecnologias de *Big Data*, computação em nuvem, 5G e IA também foram relevantes tanto nos estudos quanto nas empresas da agroindústria asiática.

Os estudos acadêmicos provenientes da Ásia e as empresas da região compartilham algumas semelhanças e diferenças notáveis no uso da Internet das Coisas no contexto da agroindústria. Ambos reconhecem o potencial da IoT para otimizar o uso dos recursos agrícolas, aumentar a produtividade e reduzir o consumo de energia. No entanto, existem algumas divergências em termos de foco e abordagem.

Em relação aos estudos acadêmicos, a otimização do uso dos recursos agrícolas, como água e área cultivável, destaca-se como um fator motivador para a aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na agroindústria. Os pesquisadores asiáticos mencionam a coleta automática de dados por meio da IoT como um meio de obter informações em tempo real para a previsão da demanda e do consumo de insumos e recursos. Além disso, a previsão e controle de pragas, bem como o monitoramento de animais e seus ambientes, são mencionados como usos relevantes da IoT nos estudos acadêmicos.

Já as empresas asiáticas direcionam seus produtos baseados em IoT para a automação da coleta de dados na agroindústria. Os dispositivos IoT conectam sensores a uma rede de computadores responsável pelo armazenamento dos dados, que são posteriormente processados por algoritmos de Inteligência Artificial. Embora a automação de recursos como água e ração, controle de posicionamento de animais e veículos agrícolas, e monitoramento de variáveis de qualidade ao longo da cadeia de suprimentos sejam mencionados nos estudos acadêmicos, a presença dessas funcionalidades nos produtos das empresas asiáticas foi limitada.

Quanto às tecnologias de conectividade utilizadas, as empresas asiáticas preferem a tecnologia LoRa, seguida pela LTE, para conectar seus dispositivos IoT.

No entanto, outras tecnologias, como a conexão 4G, também estão sendo utilizadas no mercado e estudadas nas universidades.

Nos estudos acadêmicos provenientes da Ásia que citaram *drones*, essa tecnologia foi identificada como uma possível ferramenta para enfrentar desafios significativos na agroindústria. Esses desafios incluem o consumo de água, o uso intensivo da força de trabalho, o consumo de área agricultável e a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a utilização de *drones* foi mencionada como uma maneira de obter informações precisas e detalhadas sobre as áreas cultivadas, permitindo a adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Na prática, as empresas asiáticas apresentaram produtos baseados em *drones* com foco específico em duas áreas principais. Primeiro, muitos desses produtos têm como objetivo a aquisição de imagens e dados por meio de sensores embarcados. Esses dados são essenciais para gerar *insights* e mapeamento geográfico, bem como para aprimorar a tomada de decisões estratégicas nas atividades agrícolas. Além disso, as empresas asiáticas estão investindo em *drones* especializados para a aspersão de agentes químicos nas lavouras, o que tem sido bem recebido pela indústria agrícola como uma forma de otimizar os processos de aplicação de produtos químicos.

Uma distinção importante é que as empresas asiáticas são as únicas do mundo todo que apresentaram *drones* terrestres em seu portfólio de produtos. Esses veículos são projetados especificamente para operar em superfícies planas e são utilizados em tarefas como aspersão de agentes químicos, coleta de dados por sensores e monitoramento ambiental. Essa inovação exclusiva das empresas asiáticas destaca sua capacidade de oferecer soluções adaptadas às necessidades específicas da agroindústria.

Outra diferença significativa é que as empresas asiáticas são as únicas a comercializar *drones* autônomos entre seus produtos. Eles são capazes de operar de forma independente, sem a necessidade de controle humano direto. Essa característica destaca o nível de avanço tecnológico alcançado pelas empresas asiáticas.

Dessa forma, os estudos acadêmicos da Ásia destacam o potencial dos *drones* para enfrentar desafios específicos da agroindústria, enquanto as empresas asiáticas estão desenvolvendo produtos que aproveitam essa tecnologia. Esses produtos incluem funcionalidades como aquisição de imagens e dados, *drones*

terrestres para tarefas específicas e veículos autônomos. A convergência entre as pesquisas acadêmicas e as inovações das empresas asiáticas demonstra um avanço significativo na aplicação dessa tecnologia na agroindústria e promove o desenvolvimento de práticas mais eficientes, sustentáveis e automatizadas nesse setor.

Os estudos acadêmicos provenientes da Ásia destacaram a Inteligência Artificial como uma poderosa ferramenta no contexto da agroindústria. Essa tecnologia foi mencionada como uma solução promissora para a coleta e análise de dados obtidos por *drones* e dispositivos IoT, bem como para a identificação de áreas que requerem maior atenção e intervenção. Além disso, a IA foi apontada como uma ferramenta essencial para o monitoramento contínuo do desenvolvimento das culturas, permitindo a realização de ações preventivas e corretivas de forma precisa e rápida. Essas aplicações resultaram em benefícios tangíveis, como a redução de custos e o aumento da produtividade na agroindústria.

Por outro lado, as empresas asiáticas direcionaram seus produtos baseados em Inteligência Artificial para o processamento de conteúdo visual. Essas soluções se concentram na análise e classificação de diversos aspectos, como sementes, condições do solo, qualidade dos produtos enviados aos clientes e incidência de pragas. Além disso, a IA foi utilizada para gerar informações relacionadas à saúde e comportamento dos animais. As empresas destacaram os benefícios dessas soluções na previsão de consumo de insumos, incidência de pragas, clima nas localidades observadas e quantidade e qualidade da produção.

Tanto nos estudos acadêmicos quanto nas empresas, a Inteligência Artificial foi reconhecida como uma ferramenta valiosa na agroindústria. Ambos destacaram o potencial da IA na análise de dados e no processamento de conteúdo visual para obter *insights* relevantes e tomar decisões estratégicas. Enquanto os estudos acadêmicos enfatizaram o papel da IA na coleta de dados por *drones* e IoT, além do monitoramento das culturas, as empresas focaram no processamento de imagens para aprimorar a classificação de sementes, condições do solo, qualidade dos produtos e incidência de pragas. Essas abordagens complementares ressaltam o amplo escopo de aplicação da Inteligência Artificial na agroindústria.

Tanto nos estudos acadêmicos provenientes da Ásia quanto nas empresas da região, há um reconhecimento da importância da utilização da tecnologia *blockchain* na agroindústria, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade e

transparência na cadeia de suprimentos. Nos estudos acadêmicos, destaca-se a aplicação de *smart contracts* para coordenar processos automatizados por robôs e estabelecer acordos entre as partes envolvidas. Esses contratos inteligentes garantem transações seguras, confiáveis e o compartilhamento transparente de informações.

Na prática, muitas empresas asiáticas têm desenvolvido soluções baseadas em *blockchain* que visam aprimorar a rastreabilidade e a transparência na cadeia de suprimentos do setor agrícola. Essas soluções incluem a utilização de *smart contracts*, os quais permitem redução de custos e aumento da eficiência do processo financeiro. As empresas destacam que os benefícios são ainda maiores quando as duas tecnologias são combinadas.

No entanto, é importante notar que o uso de criptomoedas no setor agrícola ainda é limitado, com poucas empresas asiáticas apresentando produtos relacionados a transações com elas. Embora haja um reconhecimento geral das vantagens proporcionadas pela *blockchain*, especialmente no que se refere à prevenção de fraudes em seguros, redução de custos e aumento da eficiência do processo produtivo, o foco das empresas está principalmente na implementação de soluções de rastreabilidade e transparência, por meio de registros seguros e imutáveis.

Essa convergência entre os estudos acadêmicos e as empresas da Ásia evidencia a relevância da IoT e do *blockchain* na agroindústria. Os benefícios identificados incluem a melhoria da confiabilidade das transações, a redução de custos operacionais e a otimização do processo produtivo.

Os estudos acadêmicos provenientes da Ásia destacaram a utilização da tecnologia de nuvem para o armazenamento de dados coletados por dispositivos IoT. Isso implica que os dados coletados por sensores e dispositivos conectados na agroindústria são armazenados na nuvem para serem posteriormente processados e utilizados. Essa abordagem permite uma maior escalabilidade e acessibilidade aos dados, garantindo que as informações coletadas estejam disponíveis para análise e tomada de decisões.

Por outro lado, muitas empresas asiáticas apresentaram soluções de plataformas de armazenamento, processamento e visualização de dados e informações relacionados às operações da indústria agrícola. Essas soluções baseadas em nuvem permitem que os empreendimentos agrícolas armazenem

grandes quantidades de dados de forma fácil e acessível, além de processá-los e visualizá-los para melhorar suas operações e tomar decisões mais informadas.

Os estudos acadêmicos provenientes da Ásia e as empresas da região compartilham uma visão em comum sobre a utilização da tecnologia de *Big Data* no setor agroindustrial. Ambos destacam a importância do armazenamento de dados coletados por dispositivos IoT e seu posterior processamento e utilização.

Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas asiáticas enfatizam a necessidade de soluções de plataformas de armazenamento e processamento de dados para as operações da indústria agrícola. Essas plataformas têm a capacidade de coletar, organizar, analisar e interpretar grandes conjuntos de dados, com o objetivo de gerar *insights* valiosos para as empresas do setor.

As empresas afirmam que é importante a utilização de algoritmos de Inteligência Artificial para apoiar essas plataformas de *Big Data*. Esses algoritmos desempenham um papel fundamental no processamento e interpretação dos dados, permitindo identificar padrões e tendências que fornecem informações valiosas para a agroindústria.

Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas asiáticas reconhecem o potencial da *Big Data* no contexto da agroindústria e enfatizam a importância de plataformas de armazenamento e processamento de dados, apoiadas por algoritmos de Inteligência Artificial, para obter *insights* valiosos e melhorar as operações do setor.

Os estudos acadêmicos provenientes da Ásia citaram a utilização da conectividade 5G em conjunto com dispositivos IoT. Essa tecnologia foi mencionada como uma forma de aproveitar a velocidade e a capacidade de transmissão de dados do 5G para impulsionar as operações na agroindústria.

Por sua vez, uma empresa asiática específica apresenta produtos baseados em 5G, que consistem em módulos de transmissão de dados. Esses módulos são projetados para facilitar a conexão entre dispositivos IoT e a rede 5G, permitindo uma comunicação eficiente e rápida.

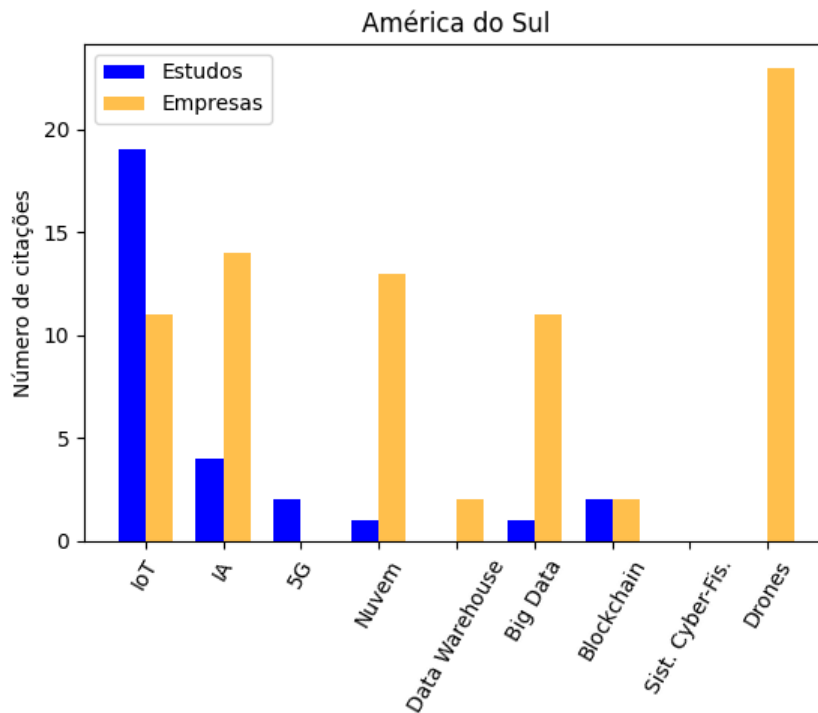
Portanto, tanto os estudos acadêmicos quanto a empresa asiática reconhecem o potencial da conectividade 5G e sua aplicação em conjunto com dispositivos IoT para impulsionar a agroindústria.

4.4.2 América do Sul

Nos estudos acadêmicos da América do Sul, a tecnologia mais citada foi a Internet das Coisas, indicando um interesse significativo nessa área de pesquisa. Além disso, também foram mencionadas outras tecnologias, como conectividade 5G, Inteligência Artificial, *Big Data*, Nuvem, *data warehouse* e *blockchain*.

Em relação aos produtos apresentados pelas empresas da América do Sul, a tecnologia mais utilizada foi a dos *drones*. Além disso, as empresas também citaram outras tecnologias, como IoT, Inteligência Artificial, Nuvem, *data warehouse*, *Big Data* e *blockchain*.

Figura 9 – Tecnologias nos estudos e empresas da América do Sul



Fonte: elaborado pelo autor

Ao comparar as duas fontes de informação, observa-se que a IoT e a Inteligência Artificial são tecnologias citadas tanto nos estudos acadêmicos quanto nos produtos das empresas. Isso ressalta a importância dessas tecnologias no contexto da agroindústria na região da América do Sul.

É interessante notar que as tecnologias mais presentes nos produtos das empresas são as mesmas que aparecem nos estudos acadêmicos, mas com uma ordem de prioridade diferente. Isso pode indicar que as empresas estão focando em diferentes aspectos das tecnologias 4.0 na agroindústria em comparação com a pesquisa acadêmica, o que pode ser resultado de necessidades específicas do mercado e da indústria.

Os estudos acadêmicos têm se dedicado a analisar o estado atual da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 na agroindústria, identificando desafios e oferecendo *insights* sobre boas práticas. Por sua vez, as empresas têm desenvolvido produtos que se baseiam na tecnologia IoT para o monitoramento de variáveis tanto nas lavouras quanto na agropecuária.

Os artigos observados dão certa ênfase à combinação da IoT com *blockchain*. Os autores mencionam essa abordagem como uma solução promissora para a rastreabilidade de produtos e insumos ao longo da cadeia de produção.

Os temas abordados nos estudos acadêmicos incluem o uso de aplicações IoT para controle de qualidade de produtos agrícolas, controle de variáveis ambientais, conectividade 5G e LoRa, e gestão do conhecimento no contexto da modernização do agronegócio. Já as empresas, por sua vez, têm se concentrado no monitoramento de variáveis como posicionamento, temperatura, ciclos de cio, comportamentos dos animais, quantidade produzida (por exemplo, leite), estimativa de peso dos animais, índice pluviométrico, umidade, qualidade do solo, do ar e da água, além dos produtos químicos presentes nesses elementos e suas quantidades.

No que diz respeito às tecnologias de transmissão de dados, as empresas da região utilizam predominantemente a tecnologia 4G para transmitir as informações coletadas. No entanto, algumas poucas empresas têm adotado a tecnologia LoRa, que se destaca por sua capacidade de transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia. Em comparação, os artigos científicos mencionam o uso das conectividades 5G e LoRa com a Internet das Coisas.

Com base nas informações apresentadas nos estudos acadêmicos e nas empresas da América do Sul, pode-se observar que a Inteligência Artificial é uma tecnologia em destaque no contexto da agroindústria. Tanto nos estudos acadêmicos quanto nas soluções oferecidas pelas empresas, a IA é mencionada como uma ferramenta com potencial para trazer benefícios significativos ao setor.

Nos trabalhos acadêmicos sul-americanos, um estudo específico abordou a aplicação da IA na inspeção visual de grãos, destacando que essa tecnologia pode aumentar a produtividade, reduzir impactos ambientais, aumentar lucros e melhorar a qualidade dos produtos agrícolas. Essa abordagem destaca o potencial da IA como uma ferramenta que contribui para otimizar processos e melhorar os resultados na agroindústria.

No contexto das empresas, aquelas que utilizam a IA em seus produtos estão focadas principalmente no processamento de imagens e na previsão de cenários futuros. Essas aplicações envolvem o uso dessa tecnologia para a previsão do tempo, do consumo de insumos e da produtividade do empreendimento. Essas soluções oferecidas pelas empresas demonstram como a IA pode ser usada para analisar grandes volumes de dados e fornecer informações precisas e relevantes para a tomada de decisão.

Além disso, algumas empresas também oferecem soluções de software de gestão que buscam automatizar operações agrícolas por meio da coleta e análise de dados. Essas soluções utilizam a IA para direcionar insumos, equipamentos, maquinários e mão de obra de maneira autônoma, identificando o melhor momento para cada operação no agronegócio. Essa abordagem mostra como a IA pode contribuir para a automação e a melhoria da eficiência das atividades agrícolas, reduzindo custos e aumentando a produção.

Os estudos acadêmicos que mencionaram a *blockchain* como uma tecnologia em estágio inicial de pesquisa no agronegócio indicaram que muitos protótipos estão sendo desenvolvidos e testados em laboratórios. A *blockchain* foi identificada como uma tecnologia com potencial para melhorar a confiabilidade e a agilidade na transmissão de informações, ao mesmo tempo em que reduz os custos. No entanto, existem questões importantes a serem investigadas, como os custos de transações, a governança das informações, os novos modelos de negócio, a assimetria de informações, o custo de implementação da tecnologia e o uso dessa tecnologia como uma ferramenta de gerenciamento nos setores agroindustriais.

Por outro lado, as empresas da América do Sul que oferecem produtos baseados em *blockchain* têm focado em soluções para a cadeia de suprimentos. Esses produtos têm como objetivo monitorar o fluxo de insumos e produtos, buscando melhorar a transparência e a segurança nessa cadeia. Portanto, as empresas desse continente têm direcionado o uso dessa tecnologia para aprimorar

a rastreabilidade e a confiabilidade das transações na cadeia de suprimentos da agroindústria.

É importante ressaltar que as informações dos estudos acadêmicos se referem a um estágio inicial de pesquisa, com foco em potencial e possíveis aplicações da *blockchain*. Por outro lado, as empresas já estão implementando soluções para melhorar a cadeia de suprimentos no setor agroindustrial. Essa diferença indica uma possível lacuna entre a pesquisa acadêmica e a implementação prática da tecnologia no contexto da agroindústria na América do Sul.

Os estudos acadêmicos realizados na América do Sul não mencionaram o uso de *Big Data* na agroindústria, indicando uma lacuna no conhecimento acadêmico sobre essa tecnologia específica nesse contexto.

Por outro lado, empresas da América do Sul têm apresentado produtos baseados em *Big Data* que são fundamentais para diversas aplicações na agroindústria. Esses produtos são desenvolvidos com foco na coleta e análise de grandes volumes de dados, e sua funcionalidade depende desses processos. Além disso, as empresas têm buscado integrar esses produtos com tecnologias de Inteligência Artificial, o que permite extrair *insights* relevantes, como padrões e correlações, dos dados coletados.

Essa comparação revela uma discrepância entre o conhecimento acadêmico e a prática empresarial no uso de *Big Data* na agroindústria. Enquanto os estudos acadêmicos ainda não abordaram essa tecnologia de forma significativa, as empresas estão desenvolvendo e oferecendo produtos baseados em *Big Data* que demonstram seu potencial e valor na análise de dados e geração de inteligência de negócios relevante para o setor agroindustrial.

Essa discrepância entre academia e indústria destaca a importância de promover mais pesquisas e estudos acadêmicos sobre o uso de *Big Data* na agroindústria, a fim de fornecer embasamento teórico e contribuir para o avanço e a inovação nesse campo. Além disso, a troca de conhecimentos e experiências entre acadêmicos e empresas pode impulsionar a adoção efetiva de soluções baseadas nessa tecnologia na agroindústria, beneficiando o setor como um todo.

Os estudos acadêmicos da América do Sul não mencionaram a conexão em nuvem, indicando uma lacuna na pesquisa acadêmica em relação a esse tópico específico. No entanto, as empresas da América do Sul que oferecem produtos

baseados em nuvem estão focadas na oferta de sistemas de gestão. Esses sistemas têm a capacidade de hospedar, processar e visualizar grandes volumes de dados, o que pode ser benéfico para a agroindústria.

Além disso, algumas empresas também fornecem infraestrutura de nuvem para permitir que os clientes desenvolvam suas próprias aplicações personalizadas. Essa abordagem oferece maior autonomia e flexibilidade no uso da tecnologia de nuvem, permitindo que as empresas agroindustriais personalizem soluções de acordo com suas necessidades específicas.

Nenhum artigo acadêmico da América do Sul mencionou o uso de *data warehouse* na agroindústria, indicando uma falta de pesquisas acadêmicas específicas sobre esse tema. No entanto, algumas empresas sul-americanas estão oferecendo soluções baseadas nessa tecnologia direcionadas ao agronegócio.

Essas empresas utilizam a tecnologia de *data warehouse* em conjunto com técnicas de Inteligência Artificial para realizar a análise e o armazenamento de dados de produção e gestão. O objetivo é gerar informações estratégicas e ferramentas de inteligência de negócios voltadas para o agronegócio. Assim, a análise desses dados pode ajudar a identificar padrões, tendências e correlações que contribuem para a tomada de decisões estratégicas no setor agroindustrial.

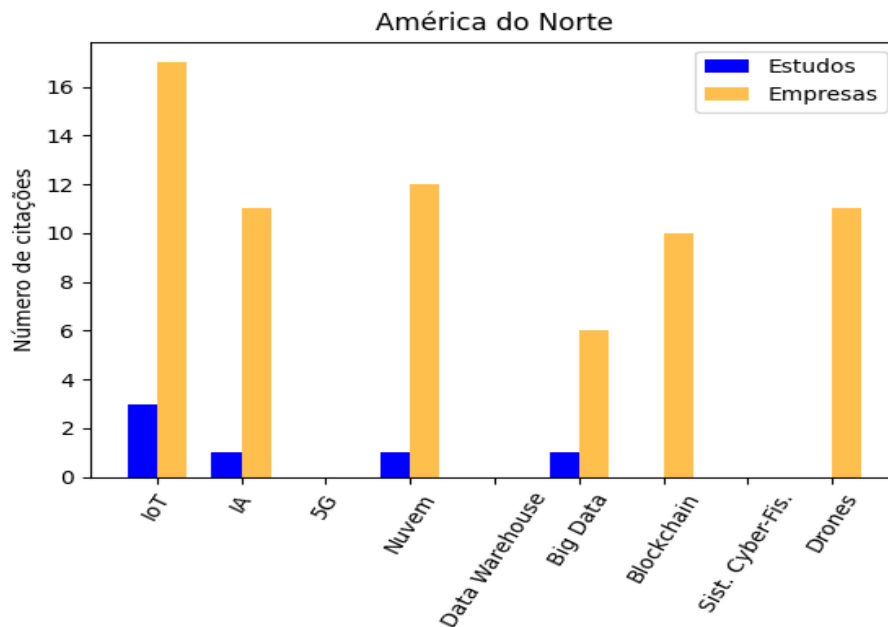
4.4.3 América do Norte

Com base nas informações fornecidas, pode-se observar que tanto nos estudos acadêmicos da América do Norte quanto nas empresas da mesma região, há uma ênfase significativa no uso da tecnologia IoT (Internet das Coisas) no contexto da agroindústria. Essa tecnologia foi mencionada tanto nos estudos acadêmicos quanto nos produtos apresentados pelas empresas. Além disso, outras tecnologias também desempenham um papel relevante, embora em diferentes proporções. Nos estudos acadêmicos, além da IoT, as tecnologias de nuvem, Inteligência Artificial e *Big Data* também foram citadas.

Por outro lado, as empresas da América do Norte apresentaram uma gama mais diversificada de tecnologias da indústria 4.0 em seus produtos. Além da IoT, as empresas também utilizaram tecnologias de nuvem, Inteligência Artificial, *drones*, *blockchain* e *Big Data* em diferentes proporções. Isso indica uma abordagem mais

abrangente no uso das tecnologias da indústria 4.0 para melhorar a eficiência, a produtividade e a tomada de decisões na agroindústria.

Figura 10 – Tecnologias nos estudos e empresas da América do Nort



Fonte: elaborado pelo autor

No entanto, é importante ressaltar que as tecnologias da conectividade 5G e *data warehouse* não foram amplamente utilizadas pelas empresas da América do Norte em seus produtos. Isso sugere que essas tecnologias ainda não foram completamente adotadas ou não são consideradas tão relevantes para a agroindústria nessa região.

Os estudos acadêmicos da América do Norte demonstram o potencial da tecnologia IoT na agroindústria, abordando diversas aplicações e benefícios. Um dos artigos discute o impacto da digitalização na agricultura e na cadeia de suprimentos de alimentos, analisando tecnologias como sensoriamento remoto, robótica e dispositivos baseados em IoT. Nesse contexto, a inteligência artificial é destacada como uma ferramenta que permite aos agricultores obterem informações mais precisas sobre a produção e gerenciar dados de forma mais eficaz. Outro artigo apresenta um sistema de monitoramento para a germinação de sementes, utilizando dispositivos IoT para capturar e transmitir dados de temperatura e umidade. Essas informações são enviadas para a nuvem e processadas com algoritmos de inteligência artificial, permitindo o compartilhamento em tempo real dos dados

coletados. Além disso, um terceiro artigo discute tendências de tecnologia de comunicação e informação na agricultura, ressaltando a importância da integração de soluções de *software* com IoT, dispositivos móveis e gerenciamento baseado em conhecimento e análises em tempo real, com o objetivo de criar soluções para a agricultura inteligente. No entanto, a criação desse ambiente em nuvem requer colaboração e expertise multidisciplinar.

Em relação às empresas da América do Norte, os produtos baseados em IoT apresentados por elas são aplicados principalmente nos setores de agricultura e criação de animais. Esses produtos oferecem recursos avançados de monitoramento de variáveis relacionadas ao solo, água e ar, como umidade, níveis de nutrientes, presença de produtos químicos, temperatura, estufas inteligentes e monitoramento meteorológico. Na criação de animais, eles permitem o controle de fatores como temperatura, umidade e comportamento, incluindo o monitoramento de ciclos de cio, comportamentos anômalos ou esperados, quantidade produzida e estimativa de peso dos animais. Em muitos casos, a tecnologia IoT é combinada com algoritmos de Inteligência Artificial, proporcionando melhor controle e previsão de ciclos de manutenção, inventário, consumo de insumos, previsão do tempo, qualidade e quantidade de colheitas, além de detecção de pragas e parasitas. Esses produtos oferecem aos agricultores e criadores de animais um maior controle sobre suas operações, permitindo a identificação e solução antecipada de problemas.

Além disso, as empresas também oferecem produtos para controle de posicionamento e telemetria de veículos e equipamentos, bem como integração de *drones* com redes de dispositivos IoT. Para viabilizar a conectividade dessas soluções, tecnologias como LoRa e telefonia são utilizadas. Essas inovações tecnológicas permitem que as empresas da América do Norte operem com maior eficiência, competitividade e melhor controle de recursos, como o transporte e a logística de produtos.

Essa convergência entre as descobertas acadêmicas e as práticas das empresas demonstra uma abordagem sinérgica em direção à adoção da IoT na agroindústria. As empresas estão utilizando as tecnologias mencionadas nos estudos acadêmicos, como a IoT combinada com a inteligência artificial, para desenvolver produtos inovadores que auxiliam os agricultores e criadores de animais no controle e otimização de suas operações. Essa integração de conhecimentos e

esforços entre academia e indústria é fundamental para impulsionar a transformação digital e a adoção da Indústria 4.0 na agroindústria.

Nos estudos acadêmicos da América do Norte, a tecnologia de nuvem é mencionada sendo utilizada em conjunto com as tecnologias IoT, Inteligência Artificial e *Big Data*. Isso indica que os pesquisadores reconhecem a importância da nuvem como uma plataforma para armazenar e processar grandes volumes de dados gerados por dispositivos IoT e aplicar análises avançadas com o uso de *Big Data* e IA.

Já nas empresas da América do Norte que apresentam produtos baseados em nuvem, destaca-se a oferta de programas de MRPs (*Material Requirements Planning*), que facilitam o planejamento das necessidades de materiais na produção. Além disso, são oferecidas plataformas de análise e visualização de dados relacionados às demandas do empreendimento, utilizando algoritmos de Inteligência Artificial para fornecer inteligência de negócios aos gestores. Essas soluções evidenciam a utilização da nuvem como uma ferramenta para otimizar a gestão de materiais e permitir a tomada de decisões mais informadas.

Adicionalmente, algumas empresas da América do Norte que apresentam produtos baseados em nuvem oferecem serviços de consultoria em projetos e implementações dessa tecnologia no agronegócio. Isso demonstra que elas reconhecem a importância de fornecer suporte e orientação aos produtores rurais na adoção da nuvem, ajudando-os a compreender e aproveitar os benefícios dessa tecnologia.

Nos estudos acadêmicos da América do Norte, foi observado o uso conjunto da tecnologia *Big Data* com as tecnologias IoT, Inteligência Artificial e nuvem. Essa integração permite a coleta, armazenamento, processamento e análise de grandes volumes de dados gerados pelas atividades agrícolas, incluindo informações climáticas, dados de solo, de mercado e de safras.

Analogamente, as empresas da América do Norte que apresentam produtos baseados em *Big Data* também enfatizam sua utilização para o armazenamento, processamento e análise de dados agrícolas. Elas reconhecem a importância do *Big Data* como base para outras tecnologias avançadas, como a Inteligência Artificial. A combinação do *Big Data* com a IA permite realizar análises mais precisas e o aprimoramento de modelos preditivos, que contribuem para a otimização da produtividade e eficiência dos processos agrícolas.

Tanto nos estudos acadêmicos quanto nas empresas, a aplicação do *Big Data* no contexto da agroindústria visa extrair conhecimento e *insights* relevantes a partir dos dados coletados. Essa abordagem permite o desenvolvimento de soluções personalizadas e estratégias mais eficientes, proporcionando benefícios como a tomada de decisões embasadas em informações mais precisas, a redução de custos operacionais e o aumento da produtividade.

Nos estudos acadêmicos da América do Norte, a IA é citada sendo utilizada em conjunto com as tecnologias IoT, *Big Data* e nuvem. Por sua vez, as empresas da América do Norte que apresentam produtos baseados em IA demonstram aplicá-la de maneiras semelhantes.

Tanto nos estudos acadêmicos quanto nas empresas, a IA é empregada em conjunto com dispositivos IoT para coletar, classificar e armazenar dados em tempo real. Essa integração permite uma visão mais precisa e atualizada das condições da lavoura ou criação, auxiliando os gestores na tomada de decisões.

Outro ponto em comum é o uso da IA no processamento de imagens. Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas utilizam algoritmos de processamento de imagens avançados para classificar o solo, monitorar a colheita e detectar doenças em animais. Essa aplicação da IA contribui para aprimorar a análise e classificação de características específicas das imagens, proporcionando uma maior eficiência na detecção de problemas agrícolas.

Além disso, tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas destacam a utilização da IA como uma ferramenta para auxiliar o gerenciamento de recursos na agroindústria. A IA analisa os dados coletados sobre a lavoura ou criação, identificando as variáveis mais críticas para a produtividade e qualidade dos produtos. Também é mencionado o uso da IA no processamento de dados para previsão da demanda e do consumo de insumos e produtos.

Nos estudos acadêmicos da América do Norte, não foram encontradas citações sobre a tecnologia de *drones*. Por outro lado, as empresas da mesma região têm desenvolvido produtos com foco na coleta de dados e informações relevantes para a produção agrícola.

As empresas oferecem soluções para a coleta de dados utilizando *drones*, incluindo a captura de imagens e informações sobre diversos aspectos agrícolas, como tipo de colheita, número de animais, estado de desenvolvimento das plantas,

movimentação de animais, tipo de solo, elevação e presença de parasitas. Esses dados são posteriormente processados por algoritmos de Inteligência Artificial.

Além disso, as empresas fornecem veículos capazes de transportar sensores diversos, permitindo a coleta de informações relevantes para a produção agrícola. Essa capacidade de transporte de sensores amplia a utilidade e versatilidade dos *drones* na agroindústria.

Outra aplicação pelas empresas é a aspersão de produtos químicos, como defensivos e fertilizantes. Essa utilização visa aumentar a eficiência na distribuição desses insumos nos cultivos, garantindo uma cobertura mais eficiente e uniforme.

As empresas também disponibilizam a operação de *drones* como serviço, possibilitando que os produtores tenham acesso à tecnologia sem a necessidade de investir em equipamentos próprios. Essa abordagem facilita o uso dessa tecnologia na agroindústria, tornando-os mais acessíveis aos agricultores.

Por fim, observa-se que uma das empresas oferece a montagem de *drones* sob encomenda, atendendo às necessidades e especificações de cada cliente.

Nos estudos acadêmicos da América do Norte, a tecnologia *blockchain* não foi mencionada, o que indica uma falta de ênfase nessa área de pesquisa específica dentro da engenharia de produção. Por outro lado, as empresas da região têm se destacado no desenvolvimento de produtos baseados em nessa tecnologia e têm explorado suas vantagens no contexto agroindustrial.

As empresas que oferecem soluções baseadas em *blockchain* enfatizam a importância da rastreabilidade, confiança e transparência nas operações da cadeia de suprimentos. Essas soluções buscam garantir a integridade dos dados contra ameaças cibernéticas, além de permitir a realização de transações com criptomoedas.

Além disso, as empresas destacam que a adoção do *blockchain* pode trazer benefícios significativos para a distribuição de subsídios, garantindo que esses recursos sejam direcionados às pessoas que realmente precisam deles. A confiabilidade dos relatórios apresentados aos *stakeholders* sobre essa distribuição também é ressaltada como um aspecto positivo.

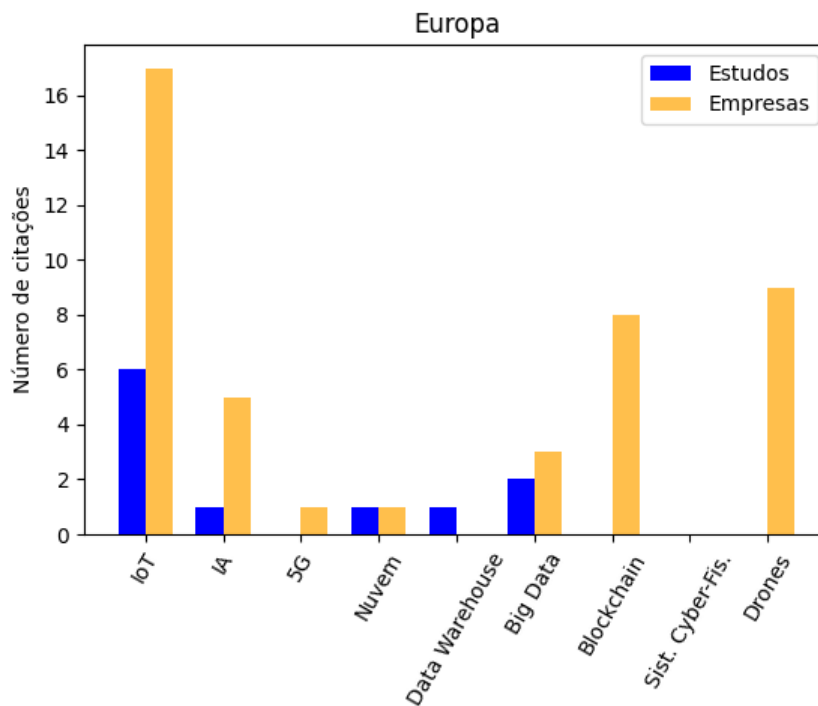
Outra observação importante é que algumas empresas estão combinando o *blockchain* com outras tecnologias, como a Internet das Coisas e a computação em nuvem, com o objetivo de ampliar a confiabilidade e disponibilidade dos dados. Essa

integração permitiria a automatização de transações e reduziria o risco de erros humanos, sejam eles intencionais ou não.

4.4.4 Europa

Nos estudos acadêmicos da Europa, foram citadas as tecnologias 4.0 IoT, nuvem, Inteligência Artificial, *data warehouse* e *Big Data*. Dentre essas tecnologias, a mais mencionada nos estudos acadêmicos foi a IoT, destacando sua relevância no contexto da agroindústria. Além disso, é importante ressaltar que a Europa ocupou a terceira posição em número de estudos relacionados ao uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, indicando um interesse significativo nessa área de pesquisa.

Figura 11 – Tecnologias nos estudos e empresas da Europa



Fonte: elaborado pelo autor

Por outro lado, ao analisar as empresas da Europa, observa-se que a tecnologia IoT foi a mais utilizada em seus produtos, seguida pelas tecnologias *drones*, *blockchain*, inteligência artificial, *Big Data* e nuvem. Essa predominância da IoT reflete a importância dessa tecnologia na indústria agrícola, permitindo a coleta

de dados em tempo real e a automatização de processos. Notavelmente, a tecnologia *data warehouse* não foi mencionada como parte dos produtos desenvolvidos pelas empresas europeias, indicando uma possível falta de foco nessa área específica.

Em relação ao número de empresas envolvidas no uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, a Europa ocupou a quarta posição, o que mostra uma participação ativa do setor empresarial na adoção dessas tecnologias. Embora o número de empresas seja menor do que em outros continentes, a presença de produtos baseados em tecnologias 4.0 na agroindústria europeia destaca a importância dessas inovações no contexto da produção agrícola e no gerenciamento de toda a cadeia de suprimentos.

Em relação aos estudos acadêmicos, o uso da IoT para melhorar o monitoramento de produtos agrícolas ao longo da cadeia de suprimentos foi amplamente citado como um tema importante. Os autores ressaltaram que a aplicação da IoT pode gerar maior confiabilidade no processo, reduzir desperdícios e fornecer informações mais abundantes e confiáveis aos *stakeholders* sobre os produtos. Essa visão é corroborada pelas empresas europeias que oferecem produtos baseados em IoT, que também destacam a coleta de dados em tempo real, como qualidade do solo, condições climáticas, estado das colheitas, temperatura e umidade. Essas soluções tecnológicas permitem um monitoramento mais preciso e detalhado, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões no contexto do agronegócio.

Outro ponto de convergência é a ênfase dada ao uso de tecnologias avançadas, como *Edge Computing*, combinadas com a IoT. Os estudos acadêmicos mencionam que a combinação da IoT com o *Edge Computing* pode reduzir o tráfego de dados na rede e melhorar a eficiência no processamento de informações. Essa abordagem é vista como uma vantagem competitiva no longo prazo para medir a eficiência das Unidades de Tomada de Decisão. As empresas europeias também destacam a interconexão com sistemas de computação em nuvem para análise e visualização dos dados coletados, demonstrando a importância de soluções tecnológicas integradas para lidar com a grande quantidade de dados gerados pela IoT.

No que diz respeito aos produtos oferecidos pelas empresas, é interessante notar que muitas delas vão além do monitoramento de condições e coleta de dados.

Elas oferecem soluções que acionam sistemas auxiliares de controle de variáveis, como irrigação e climatização, quando as condições atingem níveis críticos ou indesejados. Além disso, as empresas destacam a importância do monitoramento de dados de animais, como frequência cardíaca, pressão sanguínea, ritmo de respiração e digestão, integrando essas informações com dados relevantes, como clima, temperatura e qualidade do solo. Isso permite insights valiosos para o gerenciamento agrícola e pecuário, contribuindo para a melhoria da saúde e bem-estar dos animais, prevenção de doenças e aumento da produtividade na criação.

A detecção de pragas por meio de algoritmos de Inteligência Artificial, utilizando dados coletados por dispositivos IoT, também é abordada pelas empresas europeias. Essa integração com a automação de transações na *blockchain* demonstra a combinação de diferentes tecnologias para obter resultados mais eficazes e confiáveis. Além disso, as empresas oferecem produtos para o monitoramento inteligente de estoques e o posicionamento de animais e veículos agrícolas, aproveitando as capacidades da IoT para rastrear e otimizar as operações no campo.

Por fim, é importante destacar a escolha das tecnologias de conexão utilizadas pelas empresas. Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas mencionam o uso de tecnologias celulares e LoRa para as conexões dos dispositivos IoT. A tecnologia LoRa é destacada por seu menor consumo de energia e menor impacto ambiental, o que demonstra uma preocupação com a sustentabilidade e eficiência energética nas soluções oferecidas.

Nos estudos acadêmicos da Europa referentes ao uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, não foi encontrada nenhuma referência específica aos *drones*. Isso indica uma possível lacuna nas pesquisas acadêmicas no que diz respeito ao uso dessa tecnologia nesse contexto, ou simplesmente uma falta de inclusão dessas informações nos estudos analisados.

Por outro lado, as empresas europeias que apresentam produtos baseados em *drones* oferecem uma ampla variedade de soluções e funcionalidades no setor agroindustrial. Essas soluções envolvem o uso de *drones* para irrigação, monitoramento e aspersão de produtos químicos, plantação, análise do solo, controle de pragas, monitoramento da saúde das plantas, gerenciamento de animais e vigilância aérea. Essas funcionalidades destacam a versatilidade desses

dispositivos e sua capacidade de atender a diversas necessidades no contexto agrícola.

É interessante observar que algumas empresas utilizam dispositivos e sensores de Internet das Coisas e algoritmos de Inteligência Artificial para auxiliar no desempenho das tarefas dos *drones*. Isso indica a integração de diferentes tecnologias para obter melhores resultados e automação das operações. Além disso, algumas empresas oferecem softwares para automação de *drones* e mapeamento, o que demonstra uma preocupação com a eficiência e otimização das tarefas relacionadas ao uso dessa tecnologia na agroindústria.

Em relação à conectividade, poucas empresas anunciaram *drones* autônomos com conectividade Wi-Fi e celular, o que pode limitar a comunicação e troca de informações em tempo real. No entanto, vale ressaltar que a conectividade pode variar dependendo das necessidades específicas de cada aplicação e das limitações do ambiente de operação.

Uma diferença notável entre os estudos acadêmicos e as empresas é o enfoque dado ao uso desses veículos. Enquanto os estudos acadêmicos não os mencionam, as empresas europeias enfatizam o uso de *drones* para coleta de dados, monitoramento e análise das condições do solo, da plantação e dos animais. Isso indica uma ênfase maior na obtenção de informações para tomada de decisões embasadas no contexto agrícola, em vez do uso direto dessa tecnologia para a aplicação de insumos agrícolas, como a aspersão de produtos químicos.

Nos estudos acadêmicos da Europa referentes ao uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, não foi encontrada nenhuma referência específica à tecnologia *blockchain*.

Por outro lado, as empresas europeias que apresentam produtos baseados nessa tecnologia oferecem soluções que se concentram principalmente no registro e automação de transações na cadeia de suprimentos agroindustriais. Essas soluções incluem informações detalhadas sobre a qualidade dos produtos, métodos de cultivo ou criação, localização na cadeia de suprimentos e tratamento dos itens. Ao utilizar a tecnologia *blockchain*, essas empresas afirmam que é possível aumentar a velocidade e a confiabilidade das informações, especialmente quando combinada com dispositivos IoT e *smart contracts*.

Nos estudos acadêmicos da Europa referentes às aplicações das tecnologias 4.0 na agroindústria, apenas um deles fez referência específica à

Inteligência Artificial. Esse estudo utilizou a técnica de *Deep Learning* para buscar moscas brancas em uma estufa de tomates. Os resultados indicam o potencial da substituição de funcionários por modelos de IA e a redução da dependência de mão de obra humana na produção agrícola.

Por outro lado, as empresas europeias que apresentam produtos baseados em Inteligência Artificial oferecem soluções para coleta e análise de informações relacionadas à saúde e bem-estar dos animais, como detecção do período de cio, estimativas de peso, estatísticas de fertilidade, identificação de sintomas de doenças e monitoramento da alimentação. Esses produtos utilizam algoritmos de IA para analisar dados gerados por sensores e outras fontes em tempo real, com o objetivo de fornecer informações úteis para a tomada de decisões no agronegócio.

Além disso, as empresas também oferecem soluções baseadas em IA para avaliação das condições de saúde das plantas, identificação precoce de anomalias e doenças, avaliação da qualidade e classificação das colheitas, e desenvolvimento de programas para sistemas de colheita automática. Segundo as empresas, esses produtos contribuem para uma maior eficiência na colheita, redução de desperdícios de produtos e sustentabilidade do sistema produtivo. A análise da saúde das plantas, o monitoramento da qualidade e classificação das colheitas, e a otimização de algoritmos de previsão de produtividade são algumas das formas como a IA é aplicada nesse contexto.

Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas apontam para a capacidade da IA de substituir mão de obra humana em certas tarefas, como a detecção de pragas em plantações. Além disso, as empresas destacam os benefícios da IA na coleta e análise de dados para melhorar a tomada de decisões no agronegócio, seja no cuidado com os animais ou na saúde e produtividade das plantas.

No entanto, é importante ressaltar que as informações dos estudos acadêmicos são limitadas, com apenas um deles fazendo referência direta à Inteligência Artificial. Por outro lado, as empresas europeias estão desenvolvendo e oferecendo uma variedade de produtos baseados em IA, abrangendo diferentes aspectos da agroindústria, desde o monitoramento da saúde animal até a otimização da colheita e a prevenção de doenças nas plantas.

Nos estudos acadêmicos da Europa referentes às aplicações das tecnologias 4.0 na agroindústria, apenas dois mencionaram a utilização de *Big Data*.

Em um desses estudos, os autores propuseram um esquema de constelação de fatos como estrutura geral para integrar conjuntos de dados agrícolas diversos. Esse esquema permitiu a extração, transferência e carga de informações de diferentes conjuntos de dados em uma única representação unificada de dados agrícolas. Já no outro estudo, a *Big Data* foi apresentada como parte importante da modernização da agroindústria italiana, devido à sua capacidade de armazenar e relacionar grandes volumes de dados. No entanto, observou-se que as tecnologias 4.0 ainda são pouco aplicadas nesse setor na Itália, sendo necessários investimentos em treinamento de operadores na cadeia de suprimentos e na conscientização dos agricultores sobre as vantagens da adoção dessas tecnologias.

Por outro lado, as empresas europeias que apresentam produtos baseados em *Big Data* utilizam essa tecnologia como fonte de dados para análises, por meio de algoritmos de Inteligência Artificial. A utilização de *Big Data* possibilita a coleta, processamento e análise de informações provenientes de diversas fontes, com o objetivo de embasar a tomada de decisão no contexto agrícola. Essa análise de dados pode ser aplicada em diferentes áreas, como monitoramento de condições climáticas, rastreamento da produção agrícola, otimização de recursos, previsão de safras e gerenciamento de riscos. Além disso, as empresas destacam que a tecnologia de Big Data pode ser integrada a outras soluções tecnológicas, como Internet das Coisas e *blockchain*, para fornecer uma visão mais completa e detalhada do processo produtivo.

Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas reconhecem a importância dessa tecnologia para a coleta, análise e aproveitamento de grandes volumes de dados na cadeia produtiva agrícola. A aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial potencializa o uso desses dados, permitindo a geração de insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas.

No entanto, é importante ressaltar que os estudos acadêmicos indicam uma adoção mais limitada do *Big Data* na agroindústria, especialmente em certas regiões como a Itália. As empresas, por sua vez, estão na vanguarda da aplicação dessa tecnologia nesse continente, buscando integrá-la a outras soluções e enfatizando os benefícios do uso de *Big Data* para aprimorar a eficiência, a produtividade e a gestão de riscos no setor agrícola.

Nos estudos acadêmicos da Europa sobre o uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, nenhum deles fez referência ao 5G. Isso indica uma possível lacuna ou falta de pesquisa sobre a aplicação específica do 5G nesse setor.

Por outro lado, uma empresa europeia mencionou o uso do 5G para a conexão com um *drone*. Essa empresa aproveita a conectividade 5G para possibilitar o envio ágil de informações coletadas pelo veículo para servidores externos. Essas informações são processadas de forma eficiente pelos servidores externos, demonstrando a capacidade do 5G de fornecer uma comunicação rápida e confiável para facilitar a transferência de dados no contexto agrícola. Essa aplicação permite a coleta e o processamento eficiente de dados agrícolas, possibilitando tomadas de decisão mais rápidas e assertivas.

É importante destacar que a falta de menção ao 5G nos estudos acadêmicos não significa necessariamente que essa tecnologia não possua potencial de aplicação na agroindústria. Pode ser necessário um maior enfoque e investimento em pesquisas acadêmicas para explorar as oportunidades oferecidas pelo 5G nesse setor, incluindo aspectos como conectividade, velocidade, latência reduzida e capacidade de suportar uma grande quantidade de dispositivos conectados.

4.4.5 África

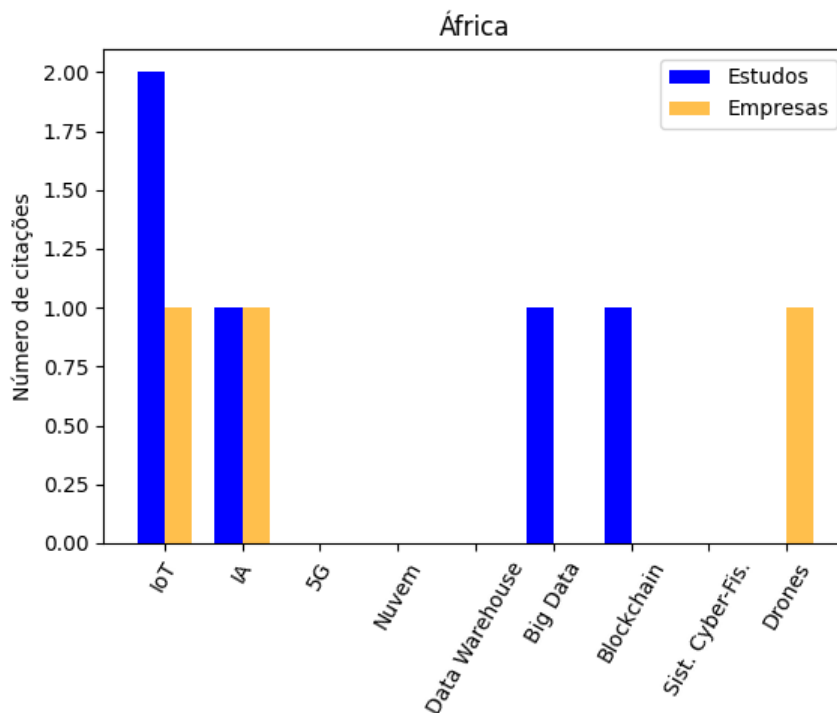
Em relação aos estudos acadêmicos, constatou-se que apenas as tecnologias IoT, Inteligência Artificial, *blockchain* e *Big Data* foram mencionadas. Dentre essas, a IoT foi a mais citada, sendo mencionada em todos os estudos acadêmicos, enquanto as demais foram citadas em igual medida. A África se posicionou como o quinto continente em número de estudos publicados sobre o uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, com dois trabalhos publicados.

Já em relação às empresas, os produtos apresentados foram baseados nas tecnologias IoT, Inteligência Artificial e *drones*, em igual proporção. Não houve menção específica ao *blockchain* ou *Big Data* por parte das empresas. A África foi o sexto continente em número de empresas envolvidas no uso das tecnologias 4.0 na agroindústria.

Portanto, pode-se observar que tanto nos estudos acadêmicos quanto nas empresas da África, a IoT e a Inteligência Artificial são as tecnologias mais

abordadas no contexto da agroindústria. No entanto, os estudos acadêmicos mencionam também o *blockchain* e o big data, enquanto as empresas não enfatizam essas tecnologias. Além disso, embora a África esteja presente tanto nos estudos acadêmicos quanto nas empresas, sua representatividade é menor em comparação com outros continentes em termos de publicações e envolvimento de empresas nas tecnologias 4.0 na agroindústria.

Figura 12 – Tecnologias nos estudos e empresas da África



Fonte: elaborado pelo autor

No que diz respeito aos estudos acadêmicos, um estudo avaliou o desempenho do LoRaWAN em aplicações de IoT para agricultura inteligente na África. Os autores sugerem que a infraestrutura IoT baseada em LoRaWAN tem potencial para melhorar a conectividade e a comunicação em diversas aplicações agrícolas na região.

Por outro lado, outro estudo sobre práticas sustentáveis nas cadeias de suprimentos de alimentos na África Subsaariana revelou que a aplicação de tecnologias como IoT, *Big Data*, Inteligência Artificial e *blockchain* ainda é rara na região. A pesquisa mencionou que a digitalização na região tende a ser baseada em dispositivos móveis, como smartphones e tablets, por meio de tecnologias como

aplicativos móveis, SMS e chamadas de voz. Essas Tecnologias de Informação e Comunicação estão sendo utilizadas principalmente para auxiliar pequenos agricultores na cadeia de valor agrícola, mas a adoção de tecnologias mais avançadas é limitada.

Já em relação às empresas da África que oferecem produtos baseados em IoT, observa-se que a coleta de dados relevantes é realizada por meio de dispositivos IoT. Esses dispositivos coletam informações como pluviometria, temperatura, velocidade e direção do vento, pressão do ar, posicionamento de animais e máquinas, e umidade. Essa coleta de dados contribui para a otimização do uso de recursos e o aumento da qualidade das colheitas. Uma das empresas também oferece a implementação de estufas inteligentes, capazes de se autorregular em termos de temperatura, umidade do ar e irrigação.

De acordo com as informações divulgadas pelas empresas, a utilização de IoT no agronegócio africano traz benefícios como a redução de custos de produção e a minimização do impacto ambiental. Além disso, a tecnologia IoT permite uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos naturais, contribuindo para a otimização do uso de recursos e melhorias na qualidade e quantidade da produção.

Tanto os estudos acadêmicos quanto as empresas destacam a otimização do uso de recursos e a melhoria na qualidade da produção como vantagens do uso da IoT. No entanto, os estudos acadêmicos apontam para a adoção ainda limitada dessas tecnologias na região, enquanto as empresas já estão oferecendo produtos e soluções baseados em IoT para atender às necessidades da agroindústria africana.

De acordo com um dos estudos acadêmicos mencionados, a aplicação da IA na região da África é rara. No entanto, as empresas da África que oferecem produtos baseados em IA estão utilizando essa tecnologia no processamento de dados obtidos por dispositivos de Internet das Coisas. Isso sugere que, embora a adoção da IA possa ser limitada no âmbito acadêmico, as empresas estão identificando oportunidades e aplicando a IA como uma ferramenta para melhorar o processamento e a análise de dados coletados por dispositivos IoT na agroindústria.

Portanto, há uma oportunidade para um maior alinhamento entre a pesquisa acadêmica e as práticas empresariais. A pesquisa acadêmica pode desempenhar um papel importante na investigação dos desafios e benefícios da aplicação da IA na agroindústria africana, enquanto as empresas podem compartilhar suas

experiências e resultados práticos, contribuindo para a evolução do conhecimento científico e promovendo a adoção mais ampla da IA na região.

O estudo acadêmico mencionado indica que a aplicação das tecnologias *blockchain* e *Big Data* são raramente encontradas na agroindústria africana. Essa conclusão sugere que, do ponto de vista acadêmico, há uma falta de adoção generalizada desses avanços na região, possivelmente devido a diversos fatores, como falta de conhecimento, recursos limitados e desafios regulatórios.

Por sua vez, as informações sobre as empresas da África indicam que não foram identificados produtos relacionados à *blockchain* e à *Big Data*. Isso indica que, atualmente, as empresas da região não estão oferecendo soluções ou produtos que utilizem essas tecnologias na agroindústria.

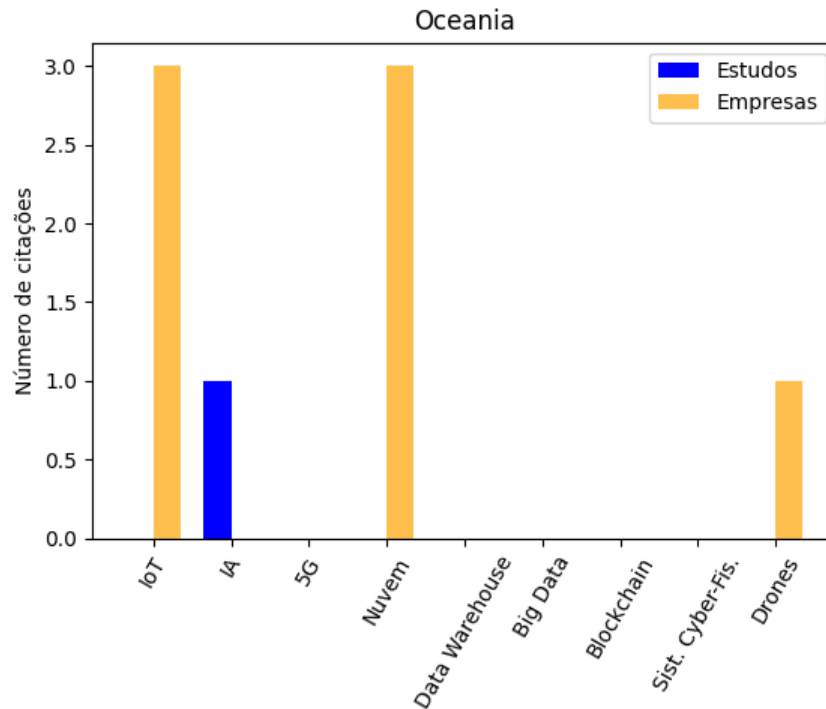
Com base nas informações apresentadas, é possível observar uma discrepância entre os estudos acadêmicos e a utilização de *drones* pelas empresas da África na agroindústria. Enquanto os estudos acadêmicos não fazem menção ao uso dessa tecnologia, a empresa africana apresenta produtos e serviços que fazem uso da mesma.

Por outro lado, a empresa africana apresenta uma solução que faz uso de *drones* para o sensoriamento e mapeamento de empreendimentos agrícolas, além de oferecer serviços de aspersão precisa de produtos químicos. Isso indica que as empresas estão buscando soluções inovadoras para melhorar a eficiência e reduzir o uso de recursos na agroindústria.

4.4.6 Oceania

Com base nas informações apresentadas, podem-se notar algumas diferenças entre os estudos acadêmicos e as empresas no que se refere ao uso das tecnologias 4.0 na agroindústria na Oceania. Apenas uma tecnologia (Inteligência Artificial) foi citada no estudo acadêmico. Por outro lado, a Oceania é o quinto continente em número de empresas envolvidas no uso das tecnologias 4.0 na agroindústria, e a maioria dos produtos apresentados pelas empresas foram baseados nas tecnologias IoT e nuvem, com *drones* sendo a tecnologia menos citada.

Figura 13 – Tecnologias nos estudos e empresas da Oceania



Fonte: elaborado pelo autor

No entanto, é importante notar que essas observações são baseadas em um único estudo acadêmico e em informações gerais sobre empresas na Oceania, e é possível que outras pesquisas e informações possam oferecer uma imagem diferente ou mais precisa da adoção de tecnologias 4.0 na agroindústria na região.

Nos estudos acadêmicos da Oceania sobre as tecnologias 4.0 na agroindústria, não foi encontrada nenhuma referência à IoT. Isso indica uma possível lacuna entre a pesquisa acadêmica e a adoção dessa tecnologia específica na região.

Por outro lado, as empresas da Oceania que apresentaram produtos baseados em IoT oferecem soluções que envolvem a utilização de sensores distribuídos em diferentes pontos da produção, permitindo a coleta de informações sobre vários aspectos do processo produtivo e do ambiente.

Os dados coletados pelos sensores incluem o uso de recursos como fertilizantes, energia, água e luz, além de medir a umidade, temperatura e níveis de macro e micronutrientes. Também são realizadas medições relacionadas ao posicionamento de veículos e telemetria, bem como o posicionamento de animais.

O principal objetivo dessas soluções é gerar *insights* que auxiliem na tomada de decisão em empreendimentos agroindustriais, bem como fornecer alertas em caso de variações fora dos padrões de referência. Além disso, os produtos baseados em IoT permitem o rastreamento de informações sobre os animais, como comportamento, peso, fertilidade e ciclos de cio. Esses dados são utilizados para monitorar o bem-estar animal, detectar precocemente problemas de saúde, reduzir os custos com tratamentos e melhorar a eficiência produtiva.

Nos estudos acadêmicos da Oceania sobre as tecnologias 4.0 na agroindústria, não foi encontrada nenhuma referência específica à tecnologia da nuvem.

Por outro lado, as empresas da Oceania que apresentaram produtos baseados na tecnologia da nuvem demonstraram uma clara ênfase nessa área. Essas empresas oferecem serviços como armazenamento e backup na nuvem, consultoria em arquitetura em nuvem, migração para tecnologia da nuvem e também fornecem ERPs virtuais com recursos avançados de visualização, como gráficos e tabelas, acessíveis em diferentes dispositivos.

Essas soluções baseadas na nuvem têm diversos benefícios citados pelas empresas, como a redução de custos com infraestrutura, a maior agilidade na gestão de dados, o aumento da segurança no armazenamento das informações e a maior flexibilidade e praticidade para a gestão empresarial. Esses benefícios destacam as vantagens oferecidas pela tecnologia da nuvem para o setor agroindustrial.

Nos estudos acadêmicos da Oceania sobre as tecnologias 4.0 na agroindústria, não foram encontradas referências específicas ao uso de *drones*.

No entanto, uma empresa da Oceania apresentou produtos baseados nessa tecnologia, destacando principalmente a função de mapeamento. Esses veículos são utilizados para coletar dados georreferenciados, como infraestrutura, vigilância, imagens e condições climáticas. Essas informações podem ser aplicadas tanto na agricultura quanto na pecuária.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar o estado da prática, representado pelos produtos oferecidos pelas empresas, com o estado da arte, representado pelos estudos acadêmicos levantados ao redor do mundo, no contexto da aplicação das tecnologias 4.0 na agroindústria.

As tecnologias da indústria 4.0 e sua aplicação no agronegócio foram caracterizadas no presente estudo. As tecnologias identificadas incluem Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Conexão 5G, *Drones*, Computação em Nuvem, *data warehouse*, *Big Data*, *blockchain* e sistemas cyber-físicos. Essas tecnologias foram selecionadas com base em sua presença em publicações acadêmicas e sua relevância para as operações agropecuárias. O trabalho fornece uma compreensão abrangente das tecnologias associadas à Indústria 4.0 e seu impacto potencial no setor agrícola.

O segundo objetivo específico deste trabalho foi descrever o estado atual das tecnologias da indústria 4.0 aplicadas ao agronegócio. Esse objetivo foi alcançado por meio da revisão de artigos acadêmicos e da apresentação das principais descobertas, motivações e argumentos.

Na Ásia, a revisão da literatura revelou um foco na otimização do uso de recursos agrícolas, como água e terras cultiváveis. Temas como economia de água, aumento de produtividade, redução do consumo de energia, previsão de demanda de recursos, previsão do tempo, controle de pragas e monitoramento de animais foram frequentemente abordados. Pesquisadores indianos concentraram-se no desenvolvimento de novas soluções de IoT para gestão e eficiência hídrica, enquanto pesquisadores russos abordaram o tema de forma teórica e conceitual. A integração de IoT com outras tecnologias, como IA, computação em nuvem, sistemas cyber-físicos, *drones*, conectividade 5G, *big data* e *blockchain*, também foi observada no contexto asiático.

Na América do Sul, os estudos também enfatizaram a aplicação de tecnologias de IoT no agronegócio. Houve um foco na análise do estado atual da implementação e na identificação de desafios e boas práticas. IoT combinada com *blockchain* para rastreabilidade, inspeção visual computadorizada, controle ambiental, conectividade por meio de 5G e LoRa, e gestão do conhecimento foram

os principais tópicos. A integração de IoT com conectividade 5G, *Big Data*, IA e computação em nuvem também foi mencionada.

Na Europa, a tecnologia de IoT foi amplamente mencionada, especialmente na melhoria do monitoramento de produtos ao longo da cadeia de suprimentos. A combinação de IoT com *Edge Computing* e armazenamento de dados também foi discutida. Os estudos destacaram a vantagem competitiva de longo prazo dessas tecnologias para tomada de decisões e mensuração de eficiência. Além disso, o armazenamento de dados e o *Big Data* foram abordados como tecnologias importantes para o setor agroindustrial. Técnicas de aprendizado de máquina e *deep learning* foram exploradas para análise de culturas e detecção de pragas em estudos europeus.

Na África, foram encontrados apenas dois artigos. Um estudo focou no uso do LoRaWAN, uma solução de conectividade sem fio, para aplicações de IoT. O outro estudo explorou técnicas de IA para detecção de pragas na produção de tomate em estufas.

No geral, os resultados da revisão da literatura demonstraram uma tendência crescente de adoção de tecnologias de IoT e indústria 4.0 no agronegócio em diferentes continentes. Destacou-se a integração com outras tecnologias de ponta e o potencial de melhoria da eficiência, sustentabilidade e transparência.

No que diz respeito ao objetivo referente à análise do estado-da-prática e identificação das principais tendências práticas em relação à presença das tecnologias da Indústria 4.0 no agronegócio, ele foi cumprido por meio da busca de empresas no setor agroindustrial e pela revisão do conteúdo fornecido por elas, descrevendo seus produtos.

Quanto ao objetivo de analisar o estado-da-prática e identificar as principais tendências no uso das tecnologias da indústria 4.0 no agronegócio ao redor do mundo, foram realizadas consultas a motores de busca online, buscando informações sobre empresas e seus produtos relacionados às tecnologias da indústria 4.0 no agronegócio. Essas informações foram analisadas e transcritas no presente trabalho.

Os resultados obtidos revelaram várias tendências práticas quanto à presença das tecnologias da indústria 4.0 no agronegócio em diferentes regiões do mundo.

Na América do Sul, os *drones* são amplamente utilizados para visualização, mapeamento e aplicação de agentes químicos nas atividades agrícolas. Uma empresa sul-americana desenvolveu *drones* especializados na distribuição de insetos, uma inovação exclusiva. A Internet das Coisas (IoT) é amplamente aplicada no monitoramento de variáveis agrícolas e pecuárias, enquanto a Inteligência Artificial (IA) é usada no processamento de imagens e na previsão de cenários futuros. A computação em nuvem é utilizada para hospedagem e processamento de dados, e o uso de *big data* é fundamental para outras tecnologias. A tecnologia *blockchain* ainda é pouco explorada no agronegócio. O uso de *big data* é fundamental para outras tecnologias, como IoT, IA e computação em nuvem, fornecendo informações valiosas para sensores e dispositivos conectados. Há também a aplicação do *data warehouse* em conjunto com a IA, permitindo a análise e o armazenamento de dados de produção e gestão, gerando informações estratégicas e ferramentas de inteligência de negócios para o agronegócio.

Na América do Norte, as empresas estão desenvolvendo soluções que combinam IoT e IA para melhorar o controle e a previsão de manutenção de equipamentos, previsão do tempo, qualidade das colheitas e produtos de origem animal, além de detecção de pragas e parasitas. A computação em nuvem é amplamente adotada, proporcionando redução de custos e melhoria da eficiência. O uso de *drones* também é destacado, tanto para a geração de imagens quanto para a aspersão de produtos químicos. Além disso, a integração com tecnologias como *blockchain*, IoT e computação em nuvem é explorada para aprimorar a confiabilidade e disponibilidade dos dados.

Na Ásia, as empresas estão focadas no desenvolvimento e oferecimento de soluções baseadas nas tecnologias da indústria 4.0 para o agronegócio. Isso inclui o uso de computação em nuvem, IoT, *drones*, IA, *blockchain* e tecnologia 5G. Essas soluções permitem o armazenamento, processamento e visualização de dados relacionados às operações agrícolas, automação da coleta de dados por meio de dispositivos IoT e sensores, aquisição de imagens e dados por meio de *drones* – bem como aspersão de produtos químicos pelos mesmos –, análise de imagens usando algoritmos de IA, rastreabilidade na cadeia de suprimentos agrícolas e transmissão de dados por meio da tecnologia 5G. No campo do *blockchain*, as empresas asiáticas estão concentradas em soluções de rastreabilidade e transparência na cadeia de suprimentos agrícolas. Isso aumenta a confiabilidade e

transparência em toda a cadeia, além de prevenir fraudes e agilizar transações financeiras por meio de *smart contracts*.

Na Europa, as tecnologias da Indústria 4.0 também estão sendo adotadas no agronegócio. A IoT desempenha um papel importante no monitoramento e controle de processos agrícolas, como irrigação automatizada, monitoramento de gado e rastreamento de produtos. A IA é utilizada para análise de dados e previsão de safras, auxiliando os agricultores a tomar decisões informadas. Além disso, a computação em nuvem e o uso de *big data* permitem o armazenamento e processamento eficiente de grandes volumes de dados agrícolas. A tecnologia *blockchain* é aplicada para aumentar a transparência e a confiabilidade nas transações agrícolas. As empresas europeias também oferecem produtos baseados em *drones* com diversas funcionalidades, como irrigação, monitoramento, aspersão de produtos químicos, análise do solo, controle de pragas, monitoramento da saúde das plantas, gerenciamento de animais e vigilância aérea.

Na África, embora o acesso e a adoção das tecnologias da indústria 4.0 ainda sejam limitados em comparação com outras regiões, estão surgindo iniciativas promissoras. Os *drones* estão sendo utilizados para monitorar plantações, mapear terrenos e fornecer serviços de pulverização. A IoT está sendo explorada para monitorar a umidade do solo, a temperatura e a qualidade do ar, auxiliando na tomada de decisões agrícolas. Além disso, a tecnologia móvel está sendo aproveitada para fornecer informações e serviços aos agricultores, como previsões meteorológicas e orientações agrícolas.

Na Oceania, as tecnologias da Indústria 4.0 também estão sendo adotadas no setor agrícola. O uso de *drones* é comum para monitorar as condições das colheitas, o manejo do gado e a detecção de pragas. A IoT é aplicada no monitoramento remoto de variáveis agrícolas, como umidade do solo e clima. A IA é usada para análise de dados e tomada de decisões inteligentes. A tecnologia *blockchain* é utilizada para rastrear a proveniência dos produtos agrícolas e garantir a autenticidade e qualidade.

A pesquisa também revelou que a colaboração entre empresas, governos, instituições de pesquisa e organizações internacionais é fundamental para impulsionar a adoção e o desenvolvimento dessas tecnologias no setor agrícola. A troca de conhecimentos, o compartilhamento de boas práticas e a criação de parcerias estratégicas podem acelerar a transformação digital do agronegócio e

trazer benefícios significativos em termos de eficiência, sustentabilidade e segurança alimentar.

Para atingir o objetivo específico de comparar o estado-da-arte e o da prática, identificando oportunidades práticas, acadêmicas e de negócio a serem exploradas, foram realizadas análises comparativas dos dados e observações obtidas nas etapas anteriores da pesquisa. Além disso, foram transcritos os resultados das análises e elaborados gráficos para melhor interpretar os dados obtidos.

Pode-se verificar que a indústria 4.0 está, de fato, revolucionando o agronegócio, trazendo consigo um conjunto diversificado de tecnologias com potencial para impulsionar a eficiência e a produtividade no setor.

Observa-se que há uma lacuna entre os estudos e as aplicações empresariais no que diz respeito ao uso de sistemas cyber-físicos no contexto do agronegócio. Embora não tenham sido citados diretamente por muitas empresas ou estudos, identificamos que as tecnologias IoT, *drones* e computação em nuvem podem ser consideradas aplicações de sistemas cyber-físicos. Essas tecnologias combinam elementos físicos com elementos computacionais e de comunicação para realizar tarefas específicas, e estão presentes em diversas aplicações e estudos relacionados à tecnologia 4.0 no contexto do agronegócio.

Na África, nota-se uma presença mais expressiva de estudos que citaram a IoT, indicando um maior interesse acadêmico em explorar as possibilidades dessa tecnologia para impulsionar a agroindústria na região. Além disso, tanto empresas quanto estudos mencionaram a IA em igual medida, destacando o reconhecimento do potencial dessa tecnologia para otimizar processos e melhorar a tomada de decisão. Por outro lado, as empresas se mostraram mais atentas ao uso de *Big Data* e *blockchain*, enquanto os estudos enfocaram mais os *drones* como uma ferramenta inovadora.

Na América do Norte, observa-se uma predominância de citações por parte das empresas em relação à IoT, computação em nuvem, *Big Data* e IA. Isso pode refletir uma maior adoção prática dessas tecnologias pelas empresas agroindustriais da região, impulsionadas pela busca por eficiência e competitividade. Além disso, as empresas foram as únicas a citar *blockchain* e *drones*, sugerindo uma percepção das oportunidades oferecidas por essas tecnologias específicas.

Já na América do Sul, houve um maior número de estudos que mencionaram a IoT em comparação com as empresas. Por outro lado, mais empresas do que estudos citaram a IA, a computação em nuvem e o *Big Data*. A conectividade 5G foi mencionada exclusivamente nos estudos, indicando uma atenção acadêmica para explorar seu potencial na agroindústria. Os *drones*, por sua vez, foram mais citados pelas empresas, sugerindo uma percepção de sua utilidade prática nesse setor.

Na Ásia, a IoT foi a tecnologia mais estudada, com mais menções em estudos do que por parte das empresas. No entanto, os *drones* foram mais citados pelas empresas, indicando um reconhecimento da sua aplicabilidade na agroindústria. Além disso, tanto empresas quanto estudos mencionaram a conectividade 5G e *blockchain* em igual medida, ressaltando o interesse em explorar essas tecnologias emergentes. É importante destacar que os estudos foram os únicos a mencionar os sistemas cyber-físicos, indicando um foco acadêmico na interação entre o mundo físico e o mundo digital na agroindústria.

Na Europa, a IoT foi a tecnologia mais citada tanto por estudos quanto por empresas, demonstrando seu amplo reconhecimento e adoção no setor agroindustrial. As empresas também se mostraram mais atentas à IA e ao *Big Data* em comparação com os estudos. Além disso, as empresas foram as únicas a mencionar a conectividade 5G, *blockchain* e *drones*, enquanto os estudos foram os únicos a mencionar o *data warehouse*. Vale ressaltar que a computação em nuvem foi citada em igual medida por empresas e estudos, demonstrando seu papel fundamental na implementação das tecnologias 4.0.

Por fim, na Oceania, as tecnologias mais citadas pelas empresas foram a IoT e a computação em nuvem. No entanto, a IA foi mencionada apenas nos estudos, indicando uma necessidade de maior adoção prática dessa tecnologia na região. Além disso, as empresas foram as únicas a citar *drones*, ressaltando seu potencial na agroindústria.

Com base nas constatações do presente estudo, sugerem-se algumas direções para trabalhos futuros. Primeiramente, há uma necessidade de mais estudos focando na África, investigando as possíveis razões pelas quais pesquisadores africanos ou de outros países não estão explorando amplamente esse campo nesse continente. Além disso, uma variação da localização geográfica

das pesquisas também pode ser interessante para obter uma visão mais abrangente das aplicações de tecnologias 4.0 na agroindústria ao redor do mundo.

Um dos principais desafios enfrentados pelo agronegócio é a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender à crescente demanda global, ao mesmo tempo em que se lida com a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas. A indústria 4.0 oferece soluções inovadoras para enfrentar esses desafios, permitindo o monitoramento e a gestão inteligente de todas as etapas da cadeia produtiva.

A utilização de sensores e dispositivos conectados, aliada à análise de dados em tempo real, possibilita o monitoramento preciso das condições ambientais, como temperatura, umidade e qualidade do solo. Isso permite ajustes precisos na irrigação, na aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, garantindo o uso eficiente dos recursos e evitando desperdícios. Além disso, a automação de tarefas, como o plantio e a colheita, aumenta a produtividade e reduz a dependência da mão de obra humana.

Aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, reduzir perdas, melhorar a eficiência e garantir a segurança dos produtos são resultados tangíveis alcançados com a aplicação dessas tecnologias. Portanto, investir na adoção da indústria 4.0 no agronegócio é um passo crucial para promover a segurança alimentar global e atender às demandas crescentes da população.

Assim, ressalta-se a importância contínua da pesquisa e do desenvolvimento de aplicações de tecnologias 4.0 na agroindústria. Essas tecnologias têm o potencial de impulsionar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade do setor, proporcionando benefícios significativos tanto para as empresas quanto para a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS

- ABBAN, R.; ABEBE, G. K. **Exploring digitalization and sustainable practices in African agribusinesses and food supply chains: A literature review.** International Journal on Food System Dynamics, v. 13, n. 4, p. 470-474, 2022. DOI: 10.18461/ijfsd.v13i4.D7.
- AGGARWAL, M.; KHULLAR, V.; GOYAL, N. **Contemporary and Futuristic Intelligent Technologies for Rice Leaf Disease Detection.** 2022 10th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), ICRITO 2022, p. 14-19, 2022. DOI: 10.1109/ICRITO56286.2022.9965113.
- ALEKSANDROV, I.; DAROSHKA, V.; ISAKOV, A. et al. **Agriculture sphere in the era of Industry 4.0: The world experience and Russian practice of the digital business model building in the agroindustry.** E3S Web of Conferences, v. 258, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125806058.
- ALTARTURI, H. H. M.; NOR, A. R. M.; JAAFAR, N. I. et al. **A bibliometric and content analysis of technological advancement applications in agricultural e-commerce.** Electronic Commerce Research, n. 0123456789, 2023. DOI: 10.1007/s10660-023-09670-z.
- ALVIN, A.; KURNIAWAN, B. Electronic Commerce **Use of Agriculture for Creating a New Business Opportunity.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 662, n. 3, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/662/3/032004.
- AMUDHA, S.; NANDWANI, J.; AGARWAL, A. et al. **Eauction web & app synced smart agriculture using IoT.** International Journal of Recent Technology and Engineering, v. 8, n. 2 Special Issue 4, p. 209-212, 2019. DOI: 10.35940/ijrte.B1039.0782S419.
- ANITHA, G.; NANTHA, L.; PRASATH, R. **Plant Leaf Disease Detection Using Rocker Boggie Mechanism.** Journal of Physics: Conference Series, v. 1916, n. 1, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1916/1/012112.
- ARAÚJO, S. O.; PERES, R. S.; BARATA, J. et al. **Characterising the Agriculture 4.0 Landscape — Emerging Trends, Challenges and Opportunities.** Agronomy, v. 11, n. 4, 1 abr. 2021.
- BAGEANT, E. R.; BARRETT, C. B.; LENTZ, E. C. **Food Aid and Agricultural Cargo Preference.** Applied Economic Perspectives and Policy, v. 32, n. 4, p. 624–641, dez. 2010.
- BALAKRISHNA, G.; NAGESHWARA, M. R. **Study Report on Using IoT Agriculture Farm Monitoring.** Lecture Notes in Networks and Systems, v. 74, p. 483-491, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-7082-3_55.

BARAPATRE, P.; PATEL, J. **Development of Internet of Things (IoT) based smart irrigation system for sugarcane crop.** International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, v. 8, n. 9 Special Issue, p. 650-654, 2019. DOI: 10.35940/ijitee.I1104.0789S19.

BARRETT, C. B. Chapter 40 Food security and food assistance programs. **Handbook of Agricultural Economics**, p. 2103–2190, 2002.

BECONA, J. P.; ARNAUD, A. **An Empirical Energy Consumption Analysis in a Cattle Geolocation Device.** 2021 IEEE Urucon, Urucon 2021, p. 209-212, 2021. DOI: 10.1109/URUCON53396.2021.9647404.

BELLINI, B.; BECOÑA, P.B.; PEREIRA, A. S. et al. **IoT in the agribusiness, a power consumption view.** Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems, v. 2019-May, 2019. DOI: 10.1109/ISCAS.2019.8702576.

BOUNGOU, W.; YATIÉ, A. **The impact of the Ukraine–Russia war on world stock market returns.** Economics Letters, v. 215, p. 110516, 2022. DOI: 10.1016/j.econlet.2022.110516.

BUTSENKO, E.; KURDYUMOV, A.; SEMIN, A. **Intelligent automation system on a single-board computer platform for the agro-industrial sector.** Mathematics, v. 8, n. 9, 2020. DOI: 10.3390/math8091480.

CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C. E. **Towards an IoT-based architecture for wine traceability.** Proceedings - IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2015, p. 212-213, 2015. DOI: 10.1109/DCOSS.2015.31.

CAPELLO, F.; TOJA, M.; TRAPANI, N. **A real-Time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics.** ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, p. 1-9, 2016.

CARRILLO, D.; SEKI, J. **Rural area deployment of internet of things connectivity: LTE and LoRaWAN case study.** Proceedings of the 2017 IEEE 24th International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2017, 2017. DOI: 10.1109/INTERCON.2017.8079711.

CAVALCANTE, A. M. ; GOMES, P. H.; MARQUEZINI, M. V. et al. **Applicability of IoT technologies for 5G use cases in Brazil.** IEEE 5G World Forum, 5GWF 2019 - Conference Proceedings, p. 53-57, 2019. DOI: 10.1109/5GWF.2019.8911682.

CHUANG, J. H.; WANG, J. H.; LIANG, C. **Implementation of internet of things depends on intention: Young farmers' willingness to accept innovative technology.** International Food and Agribusiness Management Review, v. 23, n. 2, p. 253-266, 2020. DOI: 10.22434/IFAMR2019.0121.

DANSANA, D.; SAHOO, S.; MISHRA, B. K. **Efficiency and Reliability of IoT in Smart Agriculture.** Studies in Big Data, v. 99, p. 301-327, 2021. DOI: 10.1007/978-981-16-6210-2_15.

DAS, A. K.; ROUT, S. K.; DASH, S. K. et al. **Internet of Things and Cloud Computing for Smart Vermicomposting by Using Eisenia Fetida and Its Optimization by ANN.** Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 905, p. 375-387, 2022. DOI: 10.1007/978-981-19-2177-3_37.

DE MACEDO, R. A. ; MARQUES, W. D.; BELAN, P. A. et al. **Automatic Visual Inspection of Grains Quality In Agroindustry 4.0.** International Journal of Innovation, v. 6, n. 3, p. 2017-216, 2018. DOI: 10.5585/iji.v6i3.339.

DEEPIKA, V.; KALAISELVI, A.; DHIVYAARTHI, G. **Monitoring of Hydroponics Plant and Prediction of Leaf Disease using IOT.** 2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation, ICAECA 2021, 2021. DOI: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675651.

DEY, K.; SHEKHAWAT, U. **Blockchain for sustainable e-agriculture:** Literature review, architecture for data management, and implications. Journal of Cleaner Production, v. 316, n. July, p. 128254, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128254.

DIAS, K. C.; LOURENÇO, A. M.; SILVA, G. V. et al. **Internet of Things (IoT) in agriculture:** An exploratory study on the production of growth tomato (industrial) in the south of Goiás, Brazil. International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2022, n. November, p. 16-18, 2022. DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988362.

DINESH, E.; RAMESH, L. **E-farming platform for agriculture parameter monitoring through cloud computing.** International Journal of Recent Technology and Engineering, v. 7, n. 6, p. 616-619, 2019.

DIVYAPRIYA, S.; VIJAYAKUMAR, R.; RAMKUMAR, M. S. et al. **IoT enabled drip irrigation system with weather forecasting.** Proceedings of the 4th International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, ISMAC 2020, p. 86-89, 2020. DOI: 10.1109/I-SMAC49090.2020.9243349.

DU, X.; WANG, X.; HATZENBUEHLER, P. **Digital technology in agriculture:** a review of issues, applications and methodologies. China Agricultural Economic Review, v. 15, n. 1, p. 95-108, 2023. DOI: 10.1108/CAER-01-2022-0009.

ESWARAN, M.; DEVI, C. J.; RENUKADEVI, B. et al. **The Essential Technique for Farm Controlling Using Cloud-Based Wireless Communication IoT System.** Proceedings of the 2021 4th International Conference on Computing and Communications Technologies, ICCCT 2021, p. 230-235, 2021. DOI: 10.1109/ICCCT53315.2021.9711856.

FALGUERA, V.; ALIGUER, N.; FALGUERA, M. **An integrated approach to current trends in food consumption:** Moving toward functional and organic products? Food Control, v. 26, n. 2, p. 274–281, 1 ago. 2012.

FRANCO, J. D.; RAMIREZ-DELREAL, T. A.; VILLANUEVA, D. et al. **Monitoring of Ocimum basilicum seeds growth with image processing and fuzzy logic techniques based on Cloudino-IoT and FIWARE platforms.** Computers and

Electronics in Agriculture, v. 173, n. April, p. 105389, 2020. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105389.

FU, N.; ZHANG, X.; JIA, Z. **Game Analysis on Government Subsidy for Agricultural Enterprise' IoT Investment.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 688, n. 5, p. 0-9, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/688/5/055040.

FU, H.; ZHAO, C.; CHENG, C. et al. **Blockchain-based agri-food supply chain management: case study in China.** International Food and Agribusiness Management Review, v. 23, n. 5, p. 667-679, 2020. DOI: 10.22434/ifamr2019.0152.

GALLARDO, R. K.; SAUER, J. **Adoption of Labor-Saving Technologies in Agriculture.** Annual Review of Resource Economics, v. 10, n. 1, p. 185–206, 5 out. 2018.

GARAY, J. R. B. **CyberSens: Uma Plataforma Para Redes de Sensores em Sistemas Ciber-Físicos.** Tese (Doutorado)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-09112016-145959/publico/JorgeRodolfoBeingoleaGaray12.pdf> . Acesso em: 20 Março. 2023

GEETHA, S.; DEEPALAKSHMI, P.; PANDE, S. **Managing Crop for Indian Farming Using IOT.** 2019 International Conference on Clean Energy and Energy Efficient Electronics Circuit for Sustainable Development, INCCES 2019, p. 4-8, 2019.

GHANDAR, A.; AHMED, A.; ZULFIQAR, S. et al. **A decision support system for urban agriculture using digital twin: A case study with aquaponics.** IEEE Access, v. 9, p. 35691-35708, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3061722.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** [s.l.] São Paulo Atlas, 2002.

GITHUB. **Introducing GitHub Copilot X.** Disponível em: <<https://github.com/features/preview/copilot-x>>. Acesso em: 30 maio. 2023.

GOMEZ-TORRES, E. R.; TAMAYO, B. R. T. **Analysis of Approaches of IoT Solutions for Smart Livestock Management.** Proceedings - 2020 International Conference of Digital Transformation and Innovation Technology, INCODTRIN 2020, p. 1-5, 2020. DOI: 10.1109/Incodtrin51881.2020.00012.

GORLOV, I. F.; USENKO, L. N.; KHOLODOV, O. A. et al. **Conceptual approaches to planning and forecasting agricultural production transformed by digitalization.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 677, n. 3, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032022.

GRACIANO-NETO, V. V.; KASSAB, M.; LOPES, V. et al. **The State of IoT for Agribusiness in Brazil.** Computer, IEEE COMPUTER SOCIETY, v. 55, n. 12, p. 140-144, 2022. DOI: 10.1109/MC.2022.3205934.

GRIMBLATT, V. **IoT for Agribusiness: An overview.** 2020 IEEE 11th Latin American Symposium on Circuits and Systems, LASCAS 2020, p. 1-4, 2020. DOI: 10.1109/LASCAS45839.2020.9068986.

GUO, X. **Application of agricultural IoT technology based on 5 G network and FPGA.** Microprocessors and Microsystems, v. 80, n. December 2020, p. 103597, 2021. DOI: 10.1016/j.micpro.2020.103597.

GUPTA, A.; JHA, R. K. **A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies.** IEEE Access, v. 3, p. 1206-1232, 2015. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2461602.

ISLAM, N.; UDDIN, M. N.; ARFI, A. M. et al. **Design and Implementation of IoT Based Perspicacious Egg Incubator System.** 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON), pp. 251-255. IEEE, 2019.

KAILAKU, S. I.; DJATNA, T.; HAKIM, M. et al. **Real-Time Quality Monitoring and Prediction System for Logistics 4.0 of Mango Agroindustry.** Proceedings - ICACISIS 2022: 14th International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, p. 87-94, 2022. DOI: 10.1109/ICACISIS56558.2022.9923476.

KAMYSHOVA, G.; SOLOVYEV, D.; TEREKHOVA, N. et al. **Development of Approaches to the Intellectualization of Irrigation Control Systems.** Smart Innovation, Systems and Technologies, v. 245, p. 359-369, 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-3349-2_30.

KARDASZ, P.; DOSKOCZ, J. **Drones and Possibilities of Their Using.** Journal of Civil & Environmental Engineering, v. 6, n. 3, 2016. DOI: 10.4172/2165-784x.1000233.

KASIMIN, S.; ZAKIAH; MUJIBURRAHMAD, et al. **Horticulture constraints in Aceh toward agricultural era 4.0.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 644, n. 1, p. 0-8, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/644/1/012083.

KEERTHANA, K. T. E.; KARPAGAVALLI, S.; POSONIA, M. A. **Smart system monitoring agricultural land using IoT.** 2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research, ICETIETR 2018, p. 1-7, 2018. DOI: 10.1109/ICETIETR.2018.8529037.

KHAN, N.; RAY, R. M.; SARGANI, G. R. et al. **Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture.** Sustainability (Switzerland), v. 13, n. 9, p. 1-31, 2021. DOI: 10.3390/su13094883.

KITTICHOTSATSAWAT, Y.; JANGKRAJARNG, V.; TIPPAYAWONG, K. Y. **Enhancing coffee supply chain towards sustainable growth with big data and modern agricultural technologies.** Sustainability (Switzerland), v. 13, n. 8, p. 1-20, 2021. DOI: 10.3390/su13084593.

KOLVEKAR, K.; LOTLIKAR, S.; NAIK, M. et al. **Cayenne based plant monitoring control system**. 2020 IEEE Bombay Section Signature Conference, IBSSC 2020, p. 237-242, 2020. DOI: 10.1109/IBSSC51096.2020.9332186.

KUMAR, D. M.; SHARMA, V.; GOVINDARAJU, N. S. et al. **Agriculture 4.0 and smart farming: Imperatives of scaling up innovation and farmer capabilities for sustainable business**. Indian Journal of Ecology, Indian Ecological Society, v. 48, p. 1-8, Agosto de 2021, 2021.

KURNIA, E.; DJATNA, T.; UDIN, F. **Analysis and design of transparent smart contract based on blockchain technology for supply chain in "gasol flour" industry**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 443, n. 1, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/443/1/012027.

LANGER, G. V.; SCHAPER, C; SONNTAG, W. **A conceptual contribution to the investigation of the acceptance of German dairy farmers towards digitalization in milk production**. Berichte über Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag GmbH, v. 100 n. 1, Abril 2022, 2022. DOI: 10.12767/buel.v100i1.403

LAVANYA, L.; MAYIL, M.M. **IoT-based wireless sensors for agriculture monitoring**. International Journal of Recent Technology and Engineering, v. 8, n. 2 Special Issue 4, p. 177-181, 2019. DOI: 10.35940/ijrte.B1033.0782S419.

LIMA, G. C.; FIGUEIREDO, F. L.; BARBIERI, A. E. et al. **Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT**. Revista Ciencia Agronomica, v. 51, n. 5, p. 1-20, 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200100.

LIN, F; LI, X.; JIA, N. et al. **The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security**. Global Food Security, v. 36, mar. 2023.

LOBO, L. C. **Inteligência Artificial e Medicina**. Revista Brasileira de Educação Médica, v. 41, n. 2, p. 185-193, Junho. 2017. DOI: 10.1590/1981-52712015v41n2esp.

LVOVICH, I. Y.; LVOVICH, Y. E.; PREOBRAZHENSKIY, A. P. et al. **Optimization processes in the Internet of Things system at agricultural enterprises**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 548, n. 2, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022086.

MAHDIRAJI, A. H.; YAFTIYAN, F. ABBASI-KAMARDI, A. et al. **Investigating Potential Interventions on disruptive impacts of Industry 4.0 technologies in Circular Supply chains: Evidence from SMEs of an Emerging Economy**. Computers & Industrial Engineering, out. 2022. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108753

MALINA, A. B.; GALENKO, N. N.; AFANASEVA, E. P. **The Role of Digitalization in the Development of Russian Agribusiness Industry**. Lecture Notes in Networks and Systems, v. 304, p. 285-290, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-83175-2_37.

MARINCHENKO, T. E. **Digital Transformations in Agriculture**. Studies in Systems, Decision and Control, v. 283, p. 409-418, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-58823-6_45.

MENDES, J. A. J.; CARVALHO, N. G. P.; MOURARIAS, M. N. et al. **Dimensions of digital transformation in the context of modern agriculture**. Sustainable Production and Consumption, v. 34, p. 613-637, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.09.027.

MENDES, J. A. J.; CARETA, C. B.; ZUIN, V. G. et al. **In search of maturity models in agritechs**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 839, n. 2, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/839/2/022083.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio De Janeiro: Elsevier, 2012.

MILES, B.; BOURENNANE, E. B.; BOUCHERKHA, S. et al. **A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture**. Computer Communications, v. 164, n. February, p. 148-157, 2020. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.10.009.

MOHAPATRA, S.; SRICHANDAN, P.; MOHANTY, S. et al. **Smart Agriculture: An Approach for Agriculture Management using Recent ICT**. Proceedings - 2018 International Conference on Information Technology, ICIT 2018, p. 187-192, 2018. DOI: 10.1109/ICIT.2018.00047.

MOTLAGH, N. H.; MOHAMMADREZAEI, M.; HUNT, J. et al. **Internet of things (IoT) and the energy sector**. Energies, v. 13, n. 2, p. 1-27, 2020. DOI: 10.3390/en13020494.

MURDYANTORO, B.; ATMAJA, D. S. E. ; RACHMAT, H. **Application design of farmbot based on Internet of Things (IoT)**. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, v. 9, n. 4, p. 1163-1170, 2019. DOI: 10.18517/ijaseit.9.4.9483.

MÜHL, D. D.; DE OLIVEIRA, L. **A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0**. Heliyon, v. 8, n. 5, p. e09369, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09369.

NATH, S.; DEY, A.; DAS, P. et al. **Application of Soil Sensors for Maximizing Productivity Using IoT Framework**. Proceedings of IEEE VLSI DCS 2022: 3rd IEEE Conference on VLSI Device, Circuit and System, v. 2022, n. February, p. 220-224, 2022. DOI: 10.1109/VLSIDCS53788.2022.9811456.

NAVEEN, B.; NAYAKA, B.; GOUTHAM, V. et al. **Simplified Agrirobot for Modern Agricultural Techniques Using IoT**. 2021 IEEE International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications, ICMNWC 2021, p. 2021-2024, 2021. DOI: 10.1109/ICMNWC52512.2021.9688543.

NEGARA, G. C.; DACHYAR, M. **Improvement Banana Warehouse Operation using Business Process Reengineering**. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, p. 2132-2142, 2021.

NGO, V. M.; KECHADI, M. T. **Crop knowledge discovery based on agricultural big data integration**. ACM International Conference Proceeding Series, p. 46-50, 2020. DOI: 10.1145/3380688.3380705.

NGO, V. M.; LE-KHAC, N. A.; KECHADI, M. T. **Designing and implementing data warehouse for agricultural big data**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v. 11514 LNCS, p. 1-17, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-23551-2_1.

NOFER, M.; GOMBER, P.; HINZ, O. et al. **Blockchain**. Business & Information Systems Engineering, v. 59, n. 3, p. 183–187, 20 mar. 2017.

NURHASANAH, N.; MACHFUD, ; MANGUNWIDJAJA, D. et al. **A literature review on the design of intelligent supply chain for natural fibre agroindustry**. International Journal of Supply Chain Management, v. 9, n. 2, p. 182-197, 2020.

OPEN AI. **ChatGPT**. Disponível em: <<https://openai.com/product/chatgpt>>. Acesso em: 30 maio. 2023.

PARASURAMAN, K.; ANANDAN, U.; ANBARASAN, A. **IoT based smart agriculture automation in artificial intelligence**. Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, ICICV 2021, n. Icicv, p. 420-427, 2021. DOI: 10.1109/ICICV50876.2021.9388578.

PARVEZ, B.; HAIDRI, R. A.; VERMA, J. K. **IoT in Agriculture**. 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation, ComPE 2020, p. 844-847, 2020. DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200035.

PEREIRA, W. F.; FONSECA, L. S.; PUTTI, F. F. et al. **Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 170, n. February, p. 105257, 2020. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105257.

PEROV, I. **Robotic Dairy Systems — Change in Management Paradigm**. Agriculture Digitalization and Organic Production - Proceedings of the First International Conference, ADOP 2021, St. Petersburg, Russia, June 7-9, 2021, n. 1, p. 15-25, 2021.

PIVOTO, D.; BARHAM, B.; WAQUIL, P. D. et al. **Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers**. International Food and Agribusiness Management Review, v. 22, n. 4, p. 571-588, 2019. DOI: 10.22434/IFAMR2018.0086.

POOVENDRAN, P.; KUMAR, B. A.; BHUVANESHWARI, V. et al. **Multi-Purpose Intelligent Drudgery Reducing Ecobot**. 2020 International Conference on System,

Computation, Automation and Networking, ICSCAN 2020, p. 0-5, 2020. DOI: 10.1109/ICSCAN49426.2020.9262372.

PRIYA, P. L. V.; HARSHITH, S. N.; RAMESH, N. V. K. **Smart agriculture monitoring system using IoT**. International Journal of Engineering and Technology(UAE), v. 7, n. August 2020, p. 308-311, 2018. DOI: 10.35940/ijeat.d7916.049420.

PROFIROIU, C. M.; BODISLAV, D. A.; BURLACU, S. et al. **Challenges of sustainable urban development in the context of population growth**. European Journal of Sustainable Development, v. 9, n. 3, p. 51-57, 2020. DOI: 10.14207/ejsd.2020.v9n3p51.

PÉREZ-PONS, M. E.P.; PLAZA-HERNÁNDEZ, M.; ALONSO, R. S. et al. **Increasing profitability and monitoring environmental performance: a case study in the agri-food industry through an edge-iot platform**. Sustainability (Switzerland), v. 13, n. 1, p. 1-16, 2021. DOI: 10.3390/su13010283.

QIAN, L.; LUO, Z.; DU, Y. et al. **Cloud Computing: An Overview**. IEEE International Conference on Cloud Computing, p. 626-631, 2009.

QUADRAS, D. L. DE O. **Otimização Adaptativa Baseada em Simulação para a programação da produção em sistemas flow shop: um estudo comparativo**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Santa Catarina: [s.l.: s.n.], 2021.

RAMESH, V.; SANKARAMAHALINGAM, M.; S., D. B. V. et al. **Remote Temperature Monitoring and Control Using IoT**. 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2018.

RANI, D.; KUMAR, N. **A review of IoT techniques and devices: Smart agriculture perspective**. Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 597, p. 113-123, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-29407-6_10.

RANJITHKUMAR, M.; ROBERT, L. **Machine learning techniques and cloud computing to estimate river water quality—survey**. Lecture Notes in Networks and Systems, v. 145, p. 387-396, 2021. DOI: 10.1007/978-981-15-7345-3_32.

REDDY, G. S.; SRINIVASU, R.; POORNA, M. et al. **Data Warehousing, Data Mining, Olap and Oltp Technologies Are Essential Elements To Support Decision-Making Process in Industries**. International Journal on Computer Science and Engineering, v. 02, n. 09, p. 2865-2873, 2010.

RIBEIRO, F. M.; PRATI, R.; BIANCHI, R. et al. **A Nearest Neighbors based Data Filter for Fog Computing in IoT Smart Agriculture**. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2020 - Proceedings, p. 63-67, 2020. DOI: 10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277661.

ROBERTSON, G. P.; SWINTON, S. M. **Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture.** *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 3, n. 1, p. 38–46, fev. 2005.

ROCHA, G. d. S. R.; OLIVEIRA, L. d.; TALAMINI, E. **Blockchain applications in agribusiness: A systematic review.** *Future Internet*, v. 13, n. 4, 2021. DOI: 10.3390/fi13040095.

RUAN, J.; WANG, Y.; CHAN, F. T. S. et al. **A Life Cycle Framework of Green IoT-Based Agriculture and Its Finance, Operation, and Management Issues.** *IEEE Communications Magazine*, v. 57, n. 3, p. 90-96, 2019. DOI: 10.1109/MCOM.2019.1800332.

RUGE, I. A.; LÓPEZ, F. R. J.; AMAYA, A. T. **Programmable devices applied to agriculture: Present and opportunity in the Boyacá region - Colombia.** *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, v. 2021-July, n. c, p. 1-10, 2021. DOI: 10.18687/LACCEI2021.1.1.567.

SAGAR, S. V.; KUMAR, G. R.; XAVIER, L. X. T. et al. **SISFAT: Smart irrigation system with flood avoidance technique.** *ICONSTEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management*, v. 2018-Janua, p. 28-33, 2017. DOI: 10.1109/ICONSTEM.2017.8261252.

SAGIROGLU, S.; SINANC, D. **Big data: a Review.** *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, p. 42–47, Maio 2013. DOI:

SANGHAVI, K.; SANGHAVI, M.; RAJURKAR, A. M. **Early stage detection of Downey and Powdery Mildew grape disease using atmospheric parameters through sensor nodes.** *Artificial Intelligence in Agriculture*, v. 5, p. 223-232, 2021. DOI: 10.1016/j.aiia.2021.10.001.

SATAPATHY, S.; MISHRA, M.; REALYVÁSQUEZ, R. **Food Safety and IoT-Based Solution.** 2022. *In: Innovation, Technology and Knowledge Management.* Springer, 2022. p. 79-98.

SATHIYAPRIYA, K.; THAIYALNAYAKI, S.; SAMBANDAM, R. K. et al. **Smart Precision Irrigation Techniques Using Wireless Underground Sensors in Wireless Sensors.** *8th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2022*, p. 2072-2077, 2022. DOI: 10.1109/ICACCS54159.2022.9785190.

SCUDERI, A.; VIA, G. L.; TIMPANARO, G. et al. **The Digital Applications of “Agriculture 4.0”:** Strategic Opportunity for the Development of the Italian Citrus Chain. *Agriculture (Switzerland)*, v. 12, n. 3, p. 1-13, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12030400.

SHALI, A.; DEVI, A. S.; KAVITHA, D. **Agricultural Farming Survey Using Iot.** *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1724, n. 1, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1724/1/012047.

SHALINI, H.; ARAVINDA, C. V. **An IoT-Based Predictive Analytics for Estimation of Rainfall for Irrigation.** *Advances in Intelligent Systems and Computing*, v. 1133, p. 1399-1413, 2021. DOI: 10.1007/978-981-15-3514-7_105.

SHARMA, B. B.; KUMAR, N. **Internet of things-based hardware and software for smart agriculture: A review.** *Lecture Notes in Electrical Engineering*, v. 597, p. 151-157, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-29407-6_13.

SHARMA, R. K.; SHARMA, R.; AHLAWAT, N. **Examining the Internet of Things-Based Elegant Cultivation Technique in Digital Bharat.** *Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues*, p. 147-159, 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-818576-6.00008-3.

SHARMA, M.; AGGARWAL, N. **Internet of Things Platform for Smart Farming.** *Internet of Things and Machine Learning in Agriculture*, p. 19-41, 2021. DOI: 10.1515/9783110691276-009.

SHARMA, R.; KUMAR, N.; SHARMA, B. B. **Applications of Artificial Intelligence in Smart Agriculture: A Review.** *Lecture Notes in Electrical Engineering*, v. 832, p. 135-142, 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-8248-3_11.

SHARMIN, Z.; NOOR, R. M.; SOON, T. K. et al. **IoT Based Multidimensional Mushroom Waste Management System in Urban Area.** *2021 3rd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0, STI 2021*, v. 0, p. 18-19, 2021. DOI: 10.1109/STI53101.2021.9732609.

SINGH, R. L. R.; THAMIZHARASAN, R.; MOHANDASS, M. P. et al. **Smart Agriculture using IoT for Plant Pathology and Task Automation.** *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2021*, p. 1298-1303, 2021. DOI: 10.1109/ICACCS51430.2021.9442047.

SITTÓN-CANDANEDO, I.; ALONSO, R. S.; CORCHADO, J. M. et al. **A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal.** *Future Generation Computer Systems*, v. 99, n. 2019, p. 278-294, 2019. DOI: 10.1016/j.future.2019.04.016.

SKYDAN, O.; BRODSKY, Y.; TOPOLNYTSKY, P. et al. **Space technologies in the production system of agricultural producers.** *Scientific Horizons*, v. 77, n. 4, p. 3-12, 2019. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-77-4-3-12.

SMIRNOV, A.; TESLYA, N. **Robot Coalition Coordination in Precision Agriculture by Smart Contracts in Blockchain.** *Smart Innovation, Systems and Technologies*, v. 245, p. 271-283, 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-3349-2_23.

SOMMERVILLE, M.; ESSEX, J.; LE BILLON, P. **The “Global Food Crisis” and the Geopolitics of Food Security.** *Geopolitics*, v. 19, n. 2, p. 239–265, 3 abr. 2014.

SOPHIYA, D. F.; SAMEERA, K.; SIDDHARTH, et al. **An Improved Approach for Effective Precision Farming for Auto Irrigation Using IOT.** *Journal of*

Computational and Theoretical Nanoscience, v. 15, n. 8, p. 2671-2675, Agosto. 2018. DOI: 10.1166/jctn.2018.7520.

SUANPANG, P.; POTHIPASSA, P.; JERMSITTIPARSERT, K. et al. **Integration of Kouprey-Inspired Optimization Algorithms with Smart Energy Nodes for Sustainable Energy Management of Agricultural Orchards.** Energies, v. 15, n. 8, 2022. DOI: 10.3390/en15082890.

SUJAN, P. S.; ASHOK, R.; MANA, S. C. et al. **An Efficient Implementation of a Proposed Food Quality Ensuring Architecture Using Blockchain Technologies.** Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 691, p. 715-723, 2021. DOI: 10.1007/978-981-15-7511-2_73.

SWATHI ; MOTHE, R. **An overview of iot towards irrigation system.** Indian Journal of Public Health Research & Development, v. 9, n. 11, p. 1184, 2018. DOI: 10.5958/0976-5506.2018.01619.4.

TALAVERA, J. M.; TOBÓN, L. E.; GÓMEZ, J. A. et al. **Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 142, n. 118, p. 283-297, 2017. DOI: 10.1016/j.compag.2017.09.015.

TITOVSKAIA, N. V.; TITOVSKAYA, T. S.; TITOVSKII, S. N. **Application of the IoT technology in agriculture.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 548, n. 3, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/548/3/032021.

TREIBER, M.; OERGELE, J.; BELL, D. et al. **The NEVONEX ecosystem – impact assessment of a smart, neutral, open, and quality controlled framework for end-to-end infrastructure in agriculture.** 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 13-15, 2020, p. 1-5, 2020. DOI: 10.13031/aim.202000711.

TUREČEK, T.; VAŘACHA, P.; TUREČKOVÁ, A. et al. **Scouting of Whiteflies in Tomato Greenhouse Environment Using Deep Learning.** Smart Innovation, Systems and Technologies, v. 245, p. 323-335, 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-3349-2_27.

UHLMANN, I. R.; FRAZZON, E. M. **Production rescheduling review: Opportunities for industrial integration and practical applications.** Journal of Manufacturing Systems, v. 49, n. September, p. 186–193, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.004>

URLAGUNTA, N.; BUDATI, S.; SANJANA, K. et al. **Automated bot to optimize the use of resources in agriculture by introducing internet of things.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 263, n. 4, p. 0-13, 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/263/4/042054.

VERDOUW, C. N.; ROBBEMOND, R. M.; VERWAART, T. et al. **A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains.** Enterprise Information Systems, v. 12, n. 7, p. 755-779, 2018. DOI: 10.1080/17517575.2015.1072643.

VIRUPAXAPPA, G.; THANGAM, S. **Smart agriculture and role of IOT**. Proceedings of the 3rd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2021, n. 1, p. 651-658, 2021. DOI: 10.1109/ICIRCA51532.2021.9545042.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **UN Report**: Global hunger numbers rose to as many as 828 million in 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/news/item/06-07-2022-un-report--global-hunger-numbers-rose-to-as-many-as-828-million-in-2021>>. XIN, J; ZAZUETA, Z. **Technology trends in ICT** - towards data-driven, farmer-centered and knowledge-based hybrid cloud architectures for smart farming. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, v. 18, n. 4, p. 275-279, 2016.

YADAV, V. S.; SINGH, A. R. R.; RAUT, R. D. et al. **Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review**. Computers and Industrial Engineering, v. 169, n. June, p. 108304, 2022. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108304.

YEGIN, A.; KRAMP, T.; DUFOUR, P. et al. **LoRaWAN protocol: specifications, security, and capabilities**. LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications, p. 37-63, 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-818880-4.00003-X.

YUZHAKOV, M. S.; FILCHENKO, D. I.; BERZIN, A. K. et al. **Hardware and Software Complex for Monitoring Soil and Climatic Parameters**. Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021, p. 483-488, 2021. DOI: 10.1109/APEIE52976.2021.9647556.

ZANELLA, R. M. **Manufatura Social: Da Teoria à Prática**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Santa Catarina: [s.l: s.n.], 2019.

ZANUZZI, C. M. S.; SELIG, P. M.; PACHECO, R. S. P. et al. **Digital Transformation and Brazilian Agribusiness: An Analysis of Knowledge Management in the Sector**. Contributions to Management Science, p. 85-101, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-40390-4_7.

ZEESHAN, G. A.; SUNDARAGURU, R.; RAMYA, P. **Agriculture field monitor and auto control over wireless network IoT**. International Journal of Recent Technology and Engineering, v. 8, n. 3, p. 4656-4660, 2019. DOI: 10.35940/ijrte.C6842.098319.

ZHENG, Z.; XIE, S.; DAI, H. N. et al. **An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms**. Future Generation Computer Systems, v. 105, p. 475-491, 2020. DOI: 10.1016/j.future.2019.12.019.

APÊNDICE A – ARTIGOS E TECNOLOGIAS ABORDADAS

Tabela 2 – Artigos analisados nos estudos e suas tecnologias
(continua)

Ref	Autores	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
[1]	Guo	x		x						
[2]	Miles et al.	x								
[3]	Franco et al.	x	x		x					
[4]	Pereira et al.	x								
[5]	Sanghavi et al.	x			x					
[6]	Ngo et al.					x				
[7]	Mohapatra et al.	x								
[8]	Islam et al.	x								
[9]	Geetha et al.	x	x		x					
[10]	Grimblatt	x								
[11]	Keerthana et al.	x								
[12]	Lima et al.	x	x	x	x			x		
[13]	Macedo, R et al.		x							
[14]	Ngo et al.						x			
[15]	Ghandar et al.	x	x						x	
[16]	Shali et al.	x	x				x			
[17]	Perov		x							
[18]	Smirnov & Teslya							x		
[19]	Tureček et al.		x							
[20]	Kamyshova et al.		x							
[21]	Ahmed Zeeshan et al.	x								
[22]	Ruan et al.	x								
[23]	Gomez-Torres & Tamayo	x								
[24]	Murdyantoro et al.	x								
[25]	Verdouw et al.	x			x					
[26]	Urlagunta et al.	x								
[27]	Bellini et al.	x								
[28]	Rocha et al.							x		
[29]	Campos & Cugnasca	x								
[30]	Carrillo & Seki	x								
[31]	Cavalcante et al.	x		x						
[32]	Gorlov et al.	x	x				x			
[33]	Khan et al.	x								x
[34]	Barapatre & Patel	x								
[35]	Divyapriya et al.	x								
[36]	Djatna, 2020									
[37]	Kittichotsatsawat et al.	x	x		x				x	

Tabela 2 – Artigos analisados nos estudos e suas tecnologias
(conclusão)

Ref	Autores	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
[120]	Sophiya et al.	x								
[121]	Priya et al.	x								
[122]	Parvez et al.	x								
[123]	Xin; Zazueta	x					x			
[124]	Capello et al.	x								
[125]	Annapoorani, Pandimeena	x								

Fonte: Autor

Legenda: [1] IoT; [2] Inteligência Artificial; [3] Conectividade 5G; [4] Nuvem; [5] Data Warehouse; [6] Big Data; [7] Blockchain; [8] Sistemas Cyber-Físicos; [9] Drones

APÊNDICE B – ARTIGOS E TÍTULOS

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(continua)

Ref	Autores	Ano	Título
[1]	Guo	2021	Application of agricultural IoT technology based on 5 G network and FPGA
[2]	Miles et al.	2020	A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture
[3]	Franco et al.	2020	Monitoring of <i>Ocimum basilicum</i> seeds growth with image processing and fuzzy logic techniques based on Cloudino-IoT and FIWARE platforms
[4]	Pereira et al.	2020	Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept
[5]	Sanghavi et al.	2021	Early stage detection of Downey and Powdery Mildew grape disease using atmospheric parameters through sensor nodes
[6]	Ngo et al.	2019	Designing and Implementing Data Warehouse for Agricultural Big Data
[7]	Mohapatra et al.	2018	Smart Agriculture: An approach for Agriculture Management using Recent ICT
[8]	Islam et al.	2019	Design and Implementation of IoT Based Perspicacious Egg Incubator System
[9]	Geetha et al.	2019	Managing Crop for Indian Farming Using IOT
[10]	Grimblatt	2020	IoT for Agribusiness: An overview
[11]	Keerthana et al.	2018	Smart System Monitoring Agricultural Land Using IoT
[12]	Lima et al.	2020	Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT
[13]	Macedo, R et al.	2018	Automatic Visual Inspection of Grain Quality In Agroindustry 4.0
[14]	Ngo et al.	2020	Crop Knowledge Discovery Based on Agricultural Big Data Integration
[15]	Ghandar et al.	2021	A Decision Support System for Urban Agriculture Using Digital Twin: A Case Study With Aquaponics
[16]	Shali et al.	2021	Agricultural Farming Survey Using IoT
[17]	Perov	2022	Robotic Dairy Systems – Change in Management Paradigm
[18]	Smirnov & Teslya	2022	Robot Coalition Coordination in Precision Agriculture by Smart Contracts in Blockchain
[19]	Tureček et al.	2022	Scouting of Whiteflies in Tomato Greenhouse Environment Using Deep Learning
[20]	Kamyshova et al.	2022	Development of Approaches to the Intellectualization of Irrigation Control Systems
[21]	Ahmed Zeeshan et al.	2019	Agriculture Field Monitor and Auto Control Over Wireless Network IOT
[22]	Ruan et al.	2019	A Life Cycle Framework of Green IoT-Based Agriculture and Its Finance, Operation, and Management Issues

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(continuação)

Ref	Autores	Ano	Título
[23]	Gomez-Torres & Tamayo	2020	Analysis of Approaches of IoT Solutions for Smart Livestock Management
[24]	Murdyantoro et al.	2019	Application Design of Farmbot bases on Internet of Things (IoT)
[25]	Verdouw et al.	2018	A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains
[26]	Urlagunta et al.	2017	Automated bot to optimize the use of resources in agriculture by introducing internet of things
[27]	Bellini et al.	2019	IoT in the Agribusiness, a Power Consumption View
[28]	Rocha et al.	2021	Blockchain Applications in Agribusiness: A Systematic Review
[29]	Campos & Cugnasca	2015	Towards an IoT-based Architecture for Wine Traceability
[30]	Carrillo & Seki	2017	Rural Area Deployment of Internet of Things Connectivity: LTE and LoRaWAN Case Study
[31]	Cavalcante et al.	2019	Applicability of IoT Technologies for 5G Use Cases in Brazil
[32]	Gorlov et al.	2021	Conceptual approaches to planning and forecasting agricultural production transformed by digitalization
[33]	Khan et al.	2021	Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture
[34]	Barapatre & Patel	2019	Development of Internet of Things (IoT) Based Smart Irrigation System for Sugarcane Crop
[35]	Dlvyapriya et al.	2020	IoT Enabled Drip Irrigation System with Weather Forecasting
[36]	Djatna, 2020	2020	Linking agro-industrial engineering body of knowledge with industry 4.0: A case study of agro- industrial engineering study program at IPB University
[37]	Kittichotsatsawat et al.	2021	Enhancing Coffee Supply Chain towards Sustainable Growth with Big Data and Modern Agricultural Technologies
[38]	Ruge et al.	2021	Programmable devices applied to agriculture: Present and opportunity in the Boyacá region – Colombia Ilber
[39]	Fu et al.	2019	Game Analysis on Government Subsidy for Agricultural Enterprise' IoT Investment
[40]	Pivoto et al.	2019	Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers
[41]	Pérez-Pons et al.	2021	Increasing Profitability and Monitoring Environmental Performance: A Case Study in the Agri-Food Industry through an Edge-IoT Platform
[42]	Mendes et al.	2021	In search of maturity models in agritechs
[43]	Chuang et al.	2020	Implementation of Internet of Things depends on intention: young farmers' willingness to accept innovative technology
[44]	H. Fu et al.	2020	Blockchain-based agri-food supply chain management: a case study in China
[45]	Butsenko et al.	2020	Intelligent Automation System on a Single-Board Computer Platform for the Agro-Industrial Sector
[46]	Lavanya & Muthu Mayil	2019	IoT - Based Wireless Sensors for Agriculture Monitoring

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(continuação)

Ref	Autores	Ano	Título
[47]	Kasimin et al.	2021	Horticulture constraints in Aceh toward agricultural era 4.0
[48]	Kolvekar et al.	2020	Cayenne based Plant Monitoring Control System
[49]	Kurnia et al.	2020	Analysis and design of transparent smart contract based on blockchain technology for supply chain in "Gasol flour" industry
[50]	Lvovich et al.	2020	Optimization processes in the Internet of Things system at agricultural enterprises
[51]	Mentsiev et al.	2020	IoT and mechanization in agriculture: problems, solutions, and prospects
[52]	Poovendran et al.	2020	Multi-purpose Intelligent Drudgery Reducing Ecobot
[53]	Parasuraman et al.	2021	IoT Based Smart Agriculture Automation in Artificial Intelligence
[54]	Ramesh et al.	2017	Remote Temperature Monitoring and Control Using IoT
[55]	Anitha et al.	2021	Plant Leaf Disease Detection Using Rocker Boggie Mechanism
[56]	Titovskaia et al.	2020	Application of the IoT technology in agriculture
[57]	Talavera et al.	2017	Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields
[58]	Sagar et al.	2017	SISFAT: Smart Irrigation System with Flood Avoidance Technique
[59]	Shalini & Aravinda	2021	An IoT-Based Predictive Analytics for Estimation of Rainfall for Irrigation
[60]	Ribeiro et al.	2020	A Nearest Neighbors based Data Filter for Fog Computing in IoT Smart Agriculture
[61]	Singh et al.	2021	Smart Agriculture using IoT for Plant Pathology and Task Automation
[62]	Yadav et al.	2022	Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review
[63]	Sharmin et al.	2021	IoT Based Multidimensional Mushroom Waste Management System in Urban Area
[64]	Mendes et al.	2022	Dimensions of digital transformation in the context of modern agriculture
[65]	Sharma; Kumar	2020	Internet of things-based hardware and software for smart agriculture: A review
[66]	Becona, J.P.; Arnaud, A.	2021	An Empirical Energy Consumption Analysis in a Cattle Geolocation Device
[67]	Naveen et al.	2021	Simplified Agrirobot for Modern Agricultural Techniques Using IoT
[68]	Nath et al.	2022	Application of Soil Sensors for Maximizing Productivity Using IoT Framework
[69]	Dey; Shekhawat	2021	Blockchain for sustainable e-agriculture: Literature review, architecture for data management, and implications
[70]	Du et al.	2023	Digital technology in agriculture: a review of issues, applications and methodologies

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(continuação)

Ref	Autores	Ano	Título
[71]	Suanpang et al.	2022	Integration of Kouprey-Inspired Optimization Algorithms with Smart Energy Nodes for Sustainable Energy Management of Agricultural Orchards
[72]	Langer; Schaper	2022	A conceptual contribution to the investigation of the acceptance of German dairy farmers towards digitalization in milk production.
[73]	Altarturi et al.	2023	A bibliometric and content analysis of technological advancement applications in agricultural e-commerce
[74]	Bobovnikova	2023	Advances in the Internet of Things for Sustainable Food Chain Operations and Food Security
[75]	Graciano-Neto et al.	2022	The State of IoT for Agribusiness in Brazil
[76]	Mühl; de Oliveira	2022	A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0
[77]	Parmar; Kumar	2022	Overview of IoT in the Agroecosystem
[78]	Dias et al.	2022	Internet of Things (IoT) in agriculture: An exploratory study on the production of growth tomato (industrial) in the south of Goiás, Brazil
[79]	Aggarwal et al.	2022	Contemporary and Futuristic Intelligent Technologies for Rice Leaf Disease Detection
[80]	Kailaku et al.	2022	Real- Time Quality Monitoring and Prediction System for Logistics 4.0 of Mango Agroindustry
[81]	Abban; Abebe	2022	Exploring digitalization and sustainable practices in African agribusinesses and food supply chains: A literature review
[82]	Das et al.	2022	Internet of Things and Cloud Computing for Smart Vermicomposting by Using Eisenia Fetida and Its Optimization by ANN
[83]	Sathiyapriya et al.	2022	Smart Precision Irrigation Techniques Using Wireless Underground Sensors in Wireless Sensors
[84]	Yalawar et al.	2021	Smart Farming Using Internet of Things (IoT) Technologies
[85]	Mehta et al.	2022	Enhancement of Smart Agriculture Using Internet of Things
[86]	Mostaço	2022	Development of a Framework for Implementing IoT-A on the Beef Cattle Value Chain
[87]	Sharma et al.	2022	Applications of Artificial Intelligence in Smart Agriculture: A Review
[88]	Satapathy et al.	2022	Food Safety and IoT-based Solution
[89]	Malina et al.	2022	The Role of Digitalization in the Development of Russian Agribusiness Industry
[90]	Verna et al.	2022	Internet of Things and Smart Farming
[91]	Virupaxappa; Thangam	2021	Smart agriculture and role of IOT
[92]	Kumar et al.	2021	Agriculture 4.0 and smart farming: Imperatives of scaling up innovation and farmer capabilities for sustainable business
[93]	Furquim; Araújo	2021	Brazilian agribusiness: Analysis of the consequences of digital transformation on environmental sustainability
[94]	Acharya et al.	2022	Internet of things (IoT) and data analytics in smart agriculture: Benefits and challenges

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(continuação)

Ref	Autores	Ano	Título
[95]	Anandan et al.	2021	Internet of things platform for smart farming
[96]	Selvaraj et al.	2022	Wireless nanosensor network for irrigation control
[97]	Dansana et al.	2021	Efficiency and Reliability of IoT in Smart Agriculture
[98]	Eswaran et al.	2021	The Essential Technique for Farm Controlling Using Cloud-Based Wireless Communication IoT System
[99]	Negara; Dachyar	2021	Improvement Banana Warehouse Operation using Business Process Reengineering
[100]	Scuderi et al.	2022	The Digital Applications of “Agriculture 4.0”: Strategic Opportunity for the Development of the Italian Citrus Chain
[101]	Deepika et al.	2021	Monitoring of Hydroponics Plant and Prediction of Leaf Disease using IOT
[102]	Yuzhakov et al.	2021	Hardware and Software Complex for Monitoring Soil and Climatic Parameters
[103]	Yaqot; Menezes	2021	Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Precision Agriculture: Business Information Technology Towards Farming as a Service
[104]	Marinchenko et al.	2021	Digital Transformations in Agriculture
[105]	Sujan et al.	2021	An Efficient Implementation of a Proposed Food Quality Ensuring Architecture Using Blockchain Technologies
[106]	Ranjithkumar; Robert	2021	Machine learning techniques and cloud computing to estimate river water quality—survey
[107]	Balram; Kiran	2020	A quick and accurate tomato leaf disease discovery at earlier stage of harvesting by utilizing threshold segmentation and rfo classifier
[108]	Nurhasanah et al.	2020	A literature review on the design of intelligent supply chain for natural fibre agroindustry
[109]	Sharma et al.	2020	Examining the Internet of Things-Based Elegant Cultivation Technique in Digital Bharat
[110]	Treiber et al.	2020	The NEVONEX ecosystem – impact assessment of a smart, neutral, open, and quality controlled framework for end-to-end infrastructure in agriculture
[111]	Zanuzzi et al.	2020	Digital Transformation and Brazilian Agribusiness: An Analysis of Knowledge Management in the Sector
[112]	Rani; Kumar	2020	A review of IoT techniques and devices: Smart agriculture perspective
[113]	Amudha et al.	2019	E-auction web & app synced smart agriculture using IoT
[114]	Dinesh; Ramesh	2019	E-farming platform for agriculture parameter monitoring through cloud computing
[115]	Skydan et al.	2019	Space technologies in the production system of agricultural producers
[116]	Sharma et al.	2019	IOT based smart agriculture in digital India
[117]	Balakrishna; Nageshwara	2019	Study Report on Using IoT Agriculture Farm Monitoring
[118]	Sushanth, Sujatha	2018	IOT Based Smart Agriculture System
[119]	Swathi; Mothe	2018	An overview of iot towards irrigation system

Tabela 3 – Autores e títulos dos artigos avaliados na pesquisa bibliográfica
(conclusão)

Ref	Autores	Ano	Título
[120]	Sophiya et al.	2018	An Improvised Approach for Effective Precision Farming for Auto Irrigation Using IOT
[121]	Priya et al.	2018	Smart agriculture monitoring system using IoT
[122]	Parvez et al.	2020	IoT in Agriculture
[123]	Xin; Zazueta	2016	Technology trends in ICT - towards data-driven, farmer-centered and knowledge-based hybrid cloud architectures for smart farming.
[124]	Capello et al.	2016	A real-Time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics
[125]	Annapoorani, Pandimeena	2020	Reduction of water consumption in agriculture smart farms based on internet of things (IoT)

Fonte: Autor

APÊNDICE C – EMPRESAS E TECNOLOGIAS ABORDADAS

Tabela 4 – Empresas e tecnologias divulgadas em seus produtos
(continua)

Empresas	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Vivo	x					x		
DataRain				x				
DataEx	x	x		x		x		
Syngenta digital	x	x						
Macnica DHW	x							x
LiggaVC	x			x				
Hen Sistemas	x							
Nuvem.net		x		x		x		
Senior				x				
MyFarm				x				
SkyOne				x				
SevenIT				x				
Saphir				x				
Sercompe				x				
Agrotools				x		x		
SGA		x		x				
Agro8				x				
Ecotrace							x	
Agro Atlas								x
Nuvem UAV								x
DJI								x
XAG Drones	x	x						x
Arpac Drones								x
Sky Drones								x
Maverick								x
Grupo AGTech								x
XFly Tecnologia								x
Grupo DR1								x
Arys								x
BDA Solutions						x		
Sci Crop		x			x	x		
Tech Agr	x	x						
Agrus Data	x						x	
Aimirim	x	x						
Cromai		x						x
Elio		x				x		
Geomap						x		

Tabela 4 – Empresas e tecnologias divulgadas em seus produtos
(continuação)

Empresas	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Solinftec		x						
Taranis		x						x
Hexagon	x					x		
Brain.ag		x				x		
Telit	x							x
Tektelic	x							
Micro Technic	x							
Rayven	x							
Biz4Intellia	x	x						x
Tago	x							
Kaa IoT	x			x				
Cropin				x				
Nyl	x							
Simon IoT	x							
S5 System	x							
Geotraq	x							
Kerlink	x							
Melita.io	x							
Hardwario	x							
Flexity	x							
Soracom	x							
Quectel	x		x					
Hello Space	x							
Agenso	x							
HQSoftware	x							
Vodafone	x							
Things on Net	x							
Softengi	x							
Huawei	x							
Orange Leaf	x							
Saconect	x							
Sigfox	x							
Choovio	x							
Powertec	x							
Nokia	x		x					
Aerodyne								x
SoftTek	x	x						
Aarav Unmanned Systems								x
Aquaconnect		x						
Fasal	X	x						

Tabela 4 – Empresas e tecnologias divulgadas em seus produtos
(conclusão)

Empresas	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
FT Sistemas								x
G Drones								x
Nong								x
Verde Drone								x
DraganFly								x
Iris Automation								x
Aerial Vantage								x
Agrivi	x							
Garuda								x
Hong Fei								x
Rees Aerials								x
Grain Data Solutions		x						
Act Digital	x					x		
SciCrop		x				x		
SAS	x	x		x		x		
VSNI		x						
InetSoft						x		
Agmatix		x				x		
Kheti Buddy		x						
Ascend Analytics		x				x		
IT Logica				x		x		
Webee	x	x						
Data Science UA		x						
Agronetics	x	x			x			

Fonte: Autor

Legenda: [1] IoT; [2] Inteligência Artificial; [3] Conectividade 5G; [4] Nuvem; [5] Data Warehouse; [6] Big Data; [7] Blockchain; [8] Sistemas Cyber-Físicos

ANEXO A – TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS

Tabela 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 segundo MAHDIRAJI et al., 2022
(continua)

Categoria	Código	IDT	Descrição
Estratégia e Planejamento	PT1	Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA)	Sistemas de software e hardware permitem que empresas controlem processos localmente/remotamente, colem dados em tempo real, registrem fenômenos em arquivos de registro e trabalhem diretamente junto a outros dispositivos, como sensores, motores, etc.
	PT2	Planejamento de Recursos Empresariais (ERP)	Tecnologias e sistemas das empresas que gerenciam e integram processos de negócio (ou seja, planejamento, fornecimento, marketing, finanças, recursos humanos, etc.) com o planejamento de recursos.
	PT3	Sistema de Integração Horizontal/Vertical (H/VSI)	Integração de diversos sistemas de computação e pacotes de software para construir um sistema mais abrangente. É adequado para monitorar e gerenciar riscos de sistemas. É útil para aprimorar o valor do sistema ao formular novas funcionalidades por meio da combinação de sub-sistemas e aplicativos de software.
	PT4	Sistema de Execução da Manufatura (MES)	Um sistema de software abrangente e dinâmico para monitorar, rastrear, documentar e controlar o processo de preparação de produtos finais a partir de matérias-primas.
	PT5	Inteligência Artificial (IA)	Princípios da ciência da computação que fundamentam a criação de dispositivos inteligentes que trabalham e reagem de forma análoga aos humanos.
	PT6	Inteligência de Negócios (BI)	Uma plataforma tecnológica é utilizada para coletar, analisar, armazenar e fornecer dados de negócios de várias bases. Ela facilita o processo de tomada de decisão, transformando dados brutos em informações úteis.
Suprimento e Manufatura	MT1	Manufatura Aditiva (Impressão 3D)	Inicia objetos sólidos tridimensionais (3D) aplicando um complexo de processos de desenvolvimento aditivo, cujo objetivo é desvincular alternativas de design e alcançar uma possibilidade significativa de personalização em massa.

Tabela 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 segundo MAHDIRAJI et al., 2022
(continuação)

Categoria	Código	IDT	Descrição
Suprimento e Manufatura	MT2	Sistemas Autônomos e Colaborativos (Robótica)	Uma área interdisciplinar da ciência da computação e engenharia que tem como objetivo reproduzir ações humanas na manufatura por meio da robótica colaborativa, na qual os funcionários e as máquinas atuam em um ambiente de aprendizado compartilhado.
	MT3	Nanotecnologia (nanotecnologia molecular)	A obtenção de materiais em escala quase atômica para gerar novos produtos.
	MT4	Sensores e Atuadores	Um dispositivo que reage a estímulos físicos, como som, luz, calor, etc., e transmite impulsos para medir ou controlar operações.
	MT5	Comunicação Máquina a Máquina (M2M)	Um sistema de comunicação com fio/sem fio interoperável, que permite que dispositivos interajam entre si e facilitem seu ajuste em linhas de produção.
	MT6	Sistemas Cyber-Físicos	Um sistema inteligente no qual a mão de obra é controlada por princípios baseados em computador, como redes inteligentes, sistemas autônomos de veículos, monitoramento médico, sistemas de controle industrial, sistemas robóticos, etc.
	MT7	Linhas Flexíveis e Autônomas	Um conjunto de máquinas tecnológicas que podem reconhecer produtos por meio de sensores inseridos nelas e realizar as atividades necessárias para produzir.
	MT8	Sistemas de Gerenciamento de Energia	Monitoramento e melhoria da eficiência energética via sistemas inteligentes.
Entrega e Retorno	DT1	Tecnologia de Visualização (realidade virtual e aumentada)	Trata-se de uma simulação computacional que utiliza gráficos 3D e dispositivos para proporcionar uma experiência interativa baseada na realidade. Realidade Aumentada é um conjunto de técnicas inovadoras de Interação Humano-Computador (IHC) que conecta objetos virtuais e interage no ambiente real. Realidade Virtual é a criação de um mundo interativo que permite ao usuário monitorar objetos irreais e todo o ambiente irreais em tempo real.
	DT2	Veículos Aéreos Não Tripulados (Drones/VANTs)	Uma aeronave sem um piloto humano a bordo, ou seja, um drone usado para entregar materiais, produtos finais, etc.

Tabela 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 segundo MAHDIRAJI et al., 2022
(continuação)

Categoria	Código	IDT	Descrição
Entrega e Retorno	DT3	Identificação Automática e Coleta de Dados	Um conjunto de tecnologias envolvidas no reconhecimento, determinação, arquivamento, transmissão e armazenamento de informações sobre opções discretas e embaladas. Identificação por Radiofrequência (RFID) é a mais popular. Os usos comuns incluem identificação e retirada, escolha de inventário, conclusão de pedidos, especificação de peso e volume, bem como rastreamento de cadeias de suprimentos
	DT4	Sistema de Posicionamento Global (GPS)	Um sistema de rádio-navegação baseado em satélite que inclui uma constelação de satélites transmitindo sinais de navegação, além de uma rede de estações terrestres e estações de monitoramento de satélite para calcular e exibir informações exatas de posição, velocidade e tempo ao usuário.
Fundamentos e Suporte	ST1	Cybersegurança	Práticas de dar suporte a sistemas cruciais e delicados de ameaças digitais
	ST2	Blockchain	Um banco de dados circulado que mantém uma lista em constante aprimoramento de registros perfeitos, divididos e inabaláveis, utilizando tecnologia moderna de criptografia e verificação, bem como harmonia abrangente em toda a rede.
	ST3	Tecnologia Móvel	A tecnologia de conexão sem fio fundamentada nos conjuntos sem fio.
	ST4	Plataformas Digitais	Usa para conectar empresas a ações externas. Os dispositivos de processamento conectam membros da cadeia de suprimentos e fornecem acesso sob demanda a informações armazenadas na nuvem.
	ST5	Simulação	Utiliza modelagem computacional para emular um processo concreto e melhorar a situação atual.
	ST6	Análise de Big Data (Big Data Analytics)	O processo de analisar grandes volumes de dados para compensar a falta de técnicas padrão de mineração de dados que não conseguem descobrir dados fundamentais tão sensíveis.
	ST7	Tecnologias de Nuvem	Uma tecnologia de computação com capacidade suficiente para armazenar e lidar com uma grande quantidade de dados que podem ser acessados remotamente.

Tabela 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 segundo MAHDIRAJI et al., 2022
(conclusão)

Categoria	Código	IDT	Descrição
Fundamentos e Suporte	ST8	Internet das Coisas (IoT)	Reflete a integração de sensores e computação em um ambiente de internet por meio de transmissão sem fio. Ele pode detectar qualquer objeto e sua conexão com uma rede mais ampla.

Fonte: MAHDIRAJI et al., 2022