A APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA RASTREABILIDADE DA CADEIA PRODUTIVA AGROALIMENTAR

Maria Beatriz Macedo Simon Sola – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – 24040140005@uepg.br
Wesley Vinicius Fernandes – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – 240401400010@uepg.br
Maria Salete Marcon Gomes Vaz – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – salete@uepg.br
Alaine Margarete Guimarães – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – alainemg@uepg.br

Resumo: A produção e distribuição de alimentos agrícolas exigem controle para evitar perdas de qualidade e garantir a segurança alimentar. Este artigo apresenta uma revisão acerca da aplicação de inteligência artificial na rastreabilidade da cadeia produtiva agroalimentar, no período de 2019 a 2024. A revisão mostrou que a rastreabilidade 4.0 surgiu para otimizar processos, integrando tecnologias como Inteligência Artificial, *Big Data*, Internet das Coisas e *blockchain*. A Inteligência Artificial permite a análise e interpretação dos dados, fornecendo informações para melhoria da eficiência operacional, previsão de demandas e otimização de processos de rastreabilidade, além de apresentar aplicações para melhorar o monitoramento, a qualidade e a segurança dos produtos, minimizando riscos de contaminação e adulteração. Estudos destacam o uso de redes neurais, algoritmos genéticos e embalagens inteligentes para otimizar as cadeias produtivas agroalimentares. A combinação dessas tecnologias permite rastreabilidade, prevenção proativa de problemas e maior transparência ao longo da cadeia produtiva. Apesar dos avanços, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios, como a complexidade da integração de sistemas heterogêneos, investimentos substanciais em infraestrutura, e questões de segurança de dados e privacidade.

Palavras-chave: Rastreabilidade 4.0. Inteligência Artificial. Cadeia Produtiva. Eficiência Operacional.

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO TRACEABILITY IN THE AGRI-FOOD PRODUCTION CHAIN

Abstract: *The production and distribution of agricultural food products require control to avoid quality losses and ensure food safety. This article presents a review of the application of artificial intelligence in the traceability of the agri-food supply chain from 2019 to 2024. The review showed that Traceability 4.0 has emerged to optimize processes by integrating technologies such as Artificial Intelligence, Big Data, the Internet of Things, and blockchain. Artificial Intelligence enables the analysis and interpretation of data, providing insights to improve operational efficiency, demand forecasting, and process optimization for traceability. Additionally, it presents applications to enhance monitoring, product quality, and safety, minimizing risks of contamination and adulteration. Studies highlight the use of neural networks, genetic algorithms, and smart packaging to optimize agri-food supply chains. The combination of these technologies allows for traceability, proactive problem prevention, and greater transparency throughout the supply chain. Despite the advances, the implementation of these technologies faces challenges, such as the complexity of integrating heterogeneous systems, substantial investments in infrastructure, and data security and privacy issues.*

Key-words: *Traceability 4.0. Artificial Intelligence. Production Chain. Operational efficiency.*

1. Introdução

A produção e distribuição de alimentos agrícolas engloba uma cadeia logística extensa até chegar ao consumidor final. Sem um controle minucioso acerca das etapas envolvidas na cadeia produtiva, pode resultar na perda de qualidade e até mesmo na contaminação dos alimentos.

A rastreabilidade agrícola permite registrar e monitorar as etapas de produção, processamento, armazenamento e distribuição de um determinado produto ao longo da cadeia produtiva (Kamiloglu, 2019).

É possível tornar a rastreabilidade mais eficiente e com maior precisão através do uso da Inteligência Artificial, como um instrumento para simplificar a complexidade crescente da agricultura (Javaid *et al.*, 2023), permitindo criar modelos flexíveis com o uso de redes neurais artificiais e algoritmos genéticos.

O uso dessas tecnologias reduz custos e aprimora a precisão da rastreabilidade e, combinados com *blockchain*, garante processos confiáveis ao registrar de forma segura e transparente as relações entre

fornecedores, produtores e distribuidores de alimentos agrícolas (QIAN *et al.*, 2020).

Este artigo traça um panorama de aplicação de inteligência artificial na rastreabilidade da cadeia produtiva agroalimentar, identificando e descrevendo as principais tecnologias utilizadas na rastreabilidade; e analisando os benefícios e impactos da sua aplicação.

Com isso, conhecer o modo como a inteligência artificial é aplicada na rastreabilidade da cadeia produtiva agroalimentar possibilita compreender seus avanços, os desafios enfrentados e as oportunidades futuras, dando subsídios para a garantia da qualidade agrícola e da segurança alimentar.

2. Material e Métodos

Este artigo foi realizado a partir de uma revisão da literatura acerca do uso da inteligência artificial na rastreabilidade da cadeia produtiva agroalimentar, envolvendo gestão e aplicação prática.

A seleção dos estudos foi conduzida através das plataformas Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e da *ScienceDirect*, utilizando as palavras-chave "*traceability*", "*agri-food*", "*agriculture*". Visando refinar as buscas, utilizou-se os operadores booleanos "*and*" e "*or*", gerando a seguinte estrutura para busca: ("*artificial intelligence*" *AND* "*traceability*" *AND* "*agri-food*") *OR* ("*artificial intelligence*" *AND* "*traceability*" *AND* "*agriculture*").

Dos 77 estudos identificados, 13 foram excluídos por não se enquadrarem nas especificidades do estudo em questão. Por fim, foi realizada uma triagem com o intuito de descartar os estudos que não fossem recentes, dentro do período de 2019 a 2024, e que não foram publicados em periódicos com classificação Qualis A1, A2, A3, A4, B1 e B2, de acordo com o quadriênio 2017-2020. Quando se trata de estudos publicados em periódicos internacionais, selecionou-se aqueles que possuem fator de impacto, segundo o *Journal Citation Reports*, o JCR. Dos 64 estudos selecionados, 11 foram excluídos por não atenderem aos critérios e os outros 53 foram lidos na íntegra, resultando em 40 estudos incluídos na revisão final.

Em seguida, agrupou-se os dados extraídos nos seguintes temas: A Inteligência Artificial na Gestão da Rastreabilidade Agrícola; e Aplicações Práticas de Inteligência Artificial na Rastreabilidade.

3. Gestão da Rastreabilidade Agrícola

A cadeia de fornecimento de alimentos agrícolas abrange diversos setores, desde produtores até varejistas e consumidores finais, gerando um sistema complexo.

A complexidade dos processos pode dificultar o acompanhamento dos produtos, aumentando o risco de adulteração. A rastreabilidade, por sua vez, é fundamental para assegurar a segurança e a qualidade dos produtos, pois permite monitorar todo o trajeto na cadeia de suprimentos, desde a origem até o consumidor final. Além disso, ela facilita o cumprimento dos requisitos regulatórios e dos padrões da indústria (YANG et al., 2024).

Visciano e Schirone (2021) apontam que ter um rigoroso controle da origem e do trajeto realizado pelos produtos, contribui para evitar a ocorrência de fraudes, com rotulagem incorreta e adulteração, além de possibilitar a identificação e controle da origem de doenças e quaisquer outros problemas.

Anwar *et al.* (2023) ressaltam o viés sustentável da rastreabilidade ao otimizar recursos e reduzir desperdícios, a partir do monitoramento de impactos ambientais e sociais. Enfatizam, ainda, que sistemas transparentes capacitam os consumidores a fazer boas escolhas, construindo confiança nas marcas e produtos.

Qian *et al.* (2020) abordam que a cadeia de produtiva agroalimentar utiliza técnicas de rastreamento como: separação física em diferentes lotes, evitando contaminação cruzada; sistemas baseados em Identificação por Radiofrequência, que rastreiam e registram automaticamente a movimentação dos itens durante cada estágio de produção, fazendo uso de sinais de rádio a partir de etiquetas anexadas aos produtos e que leitores recebem os sinais emitidos por elas; e análise de isótopos estáveis e perfis de DNA, que permitem a verificação da origem e o controle de autenticidade dos produtos.

Xu *et al.* (2020) citam que há inúmeros desafios, desde as complexas transformações que os recursos sofrem durante o processamento até a diversidade de matérias-primas, os processos de mistura de lotes, imprecisão na documentação, a interseção de informações de segurança, juntamente com a complexidade operacional, que ampliam os desafios e criam a necessidade de sistemas e ferramentas que melhorem o desempenho da rastreabilidade.

A união da rastreabilidade com novas tecnologias advindas da Inteligência Artificial tem o potencial de aprimorar o desempenho dos sistemas de rastreabilidade.

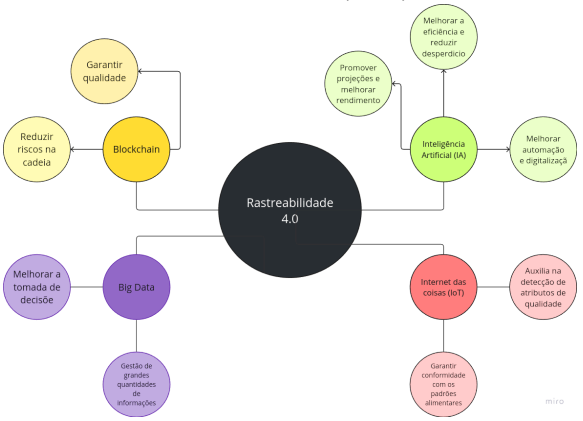
Ao incorporar algoritmos de Inteligência Artificial, resulta em sistemas de rastreabilidade mais eficientes, aumentando a precisão documental e a integração de dados de segurança. Além disso, simplificam a complexidade operacional, contribuindo para o aprimoramento da segurança e da autenticidade dos produtos ao longo da cadeia produtiva (ABIRI et al., 2023).

A evolução tecnológica tem impulsionado mudanças em diversos setores e demandas por eficiência, sustentabilidade e inovação tem contribuído para o desenvolvimento de novas tecnologias para otimizar processos e aumentar a competitividade das empresas.

Nesse contexto, Hassoun e Kamiloglu *et al.* (2022) mostram que a Indústria 4.0 surgiu como resposta a essas demandas, proporcionando integração de tecnologias como Inteligência Artificial, *Big Data*, Internet das Coisas, sensores inteligentes, *blockchain*, robótica, entre outras. Este campo combina diversas tecnologias para transformar processos industriais, incluindo a cadeia de produção, processamento e distribuição de produtos e animais.

Hassoun e Abdullah *et al.* (2023) propuseram a Rastreabilidade 4.0, a implementação de sistemas de rastreabilidade inteligentes que utilizam tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e *Big Data*, conforme Figura 1

Figura 1 – Rastreabilidade 4.0 proposta por Hassoun, Abdullah, et al. (2023)



Fonte: os autores, 2024

A aplicação das tecnologias permite controle eficiente e transparente, assegurando o monitoramento e registro das etapas de maneira segura e precisa. Além disso, a integração entre as etapas facilita a rápida identificação e resposta aos problemas de segurança alimentar, reduzindo o tempo de retorno em caso de contaminação ou falhas.

Hassoun e Abdullah *et al.* (2023) apontam o uso de *blockchain* para assegurar a imutabilidade dos dados, garantindo que as informações registradas não possam ser alteradas de forma fraudulenta, aumentando a confiança dos consumidores na qualidade e origem dos produtos alimentares.

A combinação de *Big Data* e Inteligência Artificial permite a análise de grandes volumes de dados em tempo real, proporcionando informações valiosas para a otimização da cadeia de suprimentos e a previsão de tendências de consumo.

As inovações promovem uma cadeia de suprimentos resiliente e sustentável, contribuindo para a redução de desperdícios e a melhoria da eficiência operacional.

4. Aplicações Práticas

A rastreabilidade 4.0 combina diversas tecnologias com a Inteligência Artificial para tornar a cadeia produtiva mais eficiente, segura e com controle de qualidade. Desse modo, foi possível identificar algumas aplicações na cadeia produtiva agroalimentar.

Khanna *et al.* (2022) apresentaram um sistema de rastreabilidade na cadeia de suprimentos de laticínios na Índia,

combinando tecnologias como *blockchain*, Internet das Coisas, *QR code*, Aprendizado de Máquina e Computação em Nuvem, onde cada componente desempenha coleta de dados, armazenamento e previsão.

O *blockchain* forma a rede de dados, a Internet das Coisas apoia a coleta desses dados, já *QR code* é utilizado para gerar códigos que contêm informações detalhadas sobre os produtos lácteos específicos, lotes e pedidos, atuando como entrada para acessar as informações. Os algoritmos de aprendizado de máquina são empregados para prever vendas, demanda de produtos, entre outros fatores na plataforma da cadeia de suprimentos.

Khan *et al.* (2020) buscaram otimizar a cadeia de suprimentos alimentícia usando um modelo híbrido, combinando redes neurais recorrentes, algoritmos genéticos, *blockchain* e embalagens inteligentes. Os resultados mostraram melhorias na eficiência da cadeia de suprimentos, redução de fraudes, rastreabilidade aprimorada e maior transparência e autenticação dos dados.

As embalagens inteligentes, equipadas com *QR Code* e sensores, coletam e permitem a comunicação de dados em tempo real, sobre temperatura, umidade e localização dos produtos. Ao serem integradas com *blockchain*, garantem a segurança dos dados transacionais, proporcionando rastreabilidade e autenticidade à prova de violação. O monitoramento em tempo real e a análise de dados por Inteligência Artificial permitem detectar anomalias e implementar medidas preventivas, resultando em uma cadeia de suprimentos mais eficiente, transparente e confiável.

Violino *et al.* (2020) propuseram um sistema de rastreabilidade, combinando Inteligência Artificial e Internet das Coisas para o controle de azeite extra virgem. A metodologia utiliza técnicas de espectroscopia e aprendizado de máquina para garantir a rastreabilidade e autenticação do azeite, oferecendo uma alternativa confiável e eficiente aos métodos tradicionais.

Os autores utilizaram um espectrofotômetro visível e infravermelho próximo (VIS-NIR) de código aberto, aliado a um aplicativo específico, para analisar dados espectrais de amostras de azeite extra virgem.

Os espectros são exibidos graficamente dentro da interface do aplicativo, proporcionando uma representação clara dos dados.

Após a aquisição dos dados, os dados são submetidos a análises estatísticas, incluindo análise de variância multivariada e algoritmos de Inteligência Artificial como redes neurais artificiais para classificação e determinação da origem, conseguindo classificar 94,6% das amostras entre azeite extra virgem italiano e estrangeiro.

Seguindo os passos, ressaltam, ainda, que o aplicativo facilita a aquisição, armazenamento e análise de dados espectrais de amostras, permitindo a avaliação da origem geográfica e autenticidade dos produtos. O sistema, ao integrar Inteligência Artificial e Internet das Coisas, representa um avanço no controle de qualidade e autenticação do azeite extra virgem, oferecendo uma ferramenta poderosa para produtores e consumidores.

5. Conclusões

A análise realizada destaca o potencial da Inteligência Artificial e tecnologias para aprimorar a rastreabilidade na cadeia de suprimentos agroalimentar. As tecnologias podem proporcionar maior transparência, eficiência e segurança dos dados, permitindo o monitoramento em tempo real e a identificação rápida de problemas, auxiliando na garantia da qualidade e sustentabilidade, e aumentando a confiança do consumidor e reduzindo riscos de fraude e desperdícios.

Apesar dos benefícios claros, a implementação dessas tecnologias enfrenta inúmeros desafios. Um dos principais obstáculos é a integração de sistemas heterogêneos existentes na cadeia de suprimentos, podendo ser uma tarefa complexa e demorada. Além disso, a necessidade de estabelecer padrões uniformes para a coleta e a troca de dados é uma questão a ser abordada para garantir a compatibilidade entre diferentes sistemas e tecnologias.

A segurança dos dados e a privacidade são preocupações, considerando o volume e a sensibilidade das informações manipuladas.

Desse modo, a aplicação da Inteligência Artificial na Rastreabilidade ainda

está em estágio inicial dado o recente surgimento da Rastreabilidade 4.0, além de todos os desafios enfrentados para a sua aplicação.

Referências

ABIRI, R. *et al.* Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. **Heliyon**, v. 9, n. 12, p. e22601, 21 nov. 2023.

ANWAR, S.; PERDANA, T.; RACHMADI, M.; NOOR, T. I. Product Traceability and Supply Chain Sustainability of Black Soybeans as Raw Materials for Soy Sauce in Maintaining Quality and Safety. **Sustainability**, 2023, 15, 13453.

HASSOUN, A. *et al.* Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution. **Food Control**, v. 145, p. 109507, mar. 2023a.

JAVAID, M.; HALEEM, A.; KHAN, I. H.; SUMAN, R. Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. **Advanced Agrochem,** 2, 15–30, 2023.

KAMILOGLU, S. Authenticity and traceability in beverages. **Food Chemistry**, v. 277, p. 12–24, mar. 2019.

KHAN, P. W.; BYUN, Y.-C.; PARK, N. IoT-Blockchain Enabled Optimized Provenance System for Food Industry 4.0 Using Advanced Deep Learning**. Sensors**, v. 20, n. 10, p. 2990, 25 maio 2020.

KHANNA, A. *et al*. Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry: Safety and Traceability**. Foods**, v. 11, n. 17, p. 2716, 5 set. 2022.

QIAN, J. *et al*. Traceability in food processing: problems, methods, and performance evaluations—a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 1–14, 4 out. 2020b.

VIOLINO, S. *et al.* An Artificial Intelligence Approach for Italian EVOO Origin Traceability through an Open Source IoT Spectrometer. **Foods:** MDPI, v. 9, n. 6, p. 834–834, 25 jun. 2020

VISCIANO, P.; SCHIRONE, M. Food frauds: Global incidents and misleading situations. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 424–442, ago. 2021.

XU, J. *et al.* Blockchain: A new safeguard for agri-foods. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 4, p. 153–161, 2020.

YANG, Y. *et al.* Exploring blockchain and artificial intelligence in intelligent packaging to combat food fraud: A comprehensive review. **Food packaging and shelf life**, v. 43, p. 101287–101287, 1 jun. 2024.