



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND BIODEGRADABLE PACKAGING

Orientador: Poliana Rangel Costa: Bióloga, Dra. em Produção Vegetal. UNIVC.
polianacosta@ivc.br

Bruna dos Santos Cuquetto: Graduando em Engenharia Agrônômica. UNIVC.
brunacuquetto@outlook.com.

Isabelle Nunes Cardoso: Graduando em Engenharia Agrônômica. UNIVC.
cardosoisabelle841@gmail.com.

Luan Thomaz Justo da Silva: Graduando em Engenharia Agrônômica. UNIVC. luan-thomaz2013@hotmail.com

Mabilly Moreira Thomazini: Graduando em Engenharia Agrônômica. UNIVC.
thomazini1@gmail.com.

Natália Lima Oss: Graduando em Engenharia Agrônômica. UNIVC. nataliaoss.nlo@gmail.com.

Resumo: A sustentabilidade é um tema importante na sociedade contemporânea, dada sua relação com a preservação ambiental e a utilização responsável dos recursos naturais. A busca por embalagens mais sustentáveis tem impulsionado a pesquisa e desenvolvimento de materiais biodegradáveis como substitutos dos plásticos. Neste cenário, a inteligência artificial desempenha um papel crucial na seleção de materiais, além de promover a inovação, a eficiência e a redução do desperdício, oferecendo soluções sustentáveis para diminuir o impacto ambiental das embalagens tradicionais. Este artigo tem como objetivo caracterizar o papel da Inteligência Artificial no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis para alimentos, abordando também sua influência nos processos de marketing, design e demais processos operacionais. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica coletando dados de diversas fontes, tais como artigos acadêmicos, teses e dissertações, visando caracterizar a importância do tema. Os trabalhos avaliados demonstram resultados promissores da aplicação da inteligência artificial na fabricação de embalagens biodegradáveis, agilizando a descoberta de soluções sustentáveis e o desenvolvimento de embalagens inteligentes adaptadas às necessidades específicas de cada produto, garantindo a segurança alimentar e criando designs que atendam às preferências dos consumidores. Desta forma, a combinação da inovação tecnológica com práticas sustentáveis mostra-se fundamental para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e promover um futuro mais equilibrado e resiliente para as próximas gerações.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Desenvolvimento. Inovação.

Abstract: Sustainability is an important topic in contemporary society, given its relation to environmental preservation and the responsible use of natural resources. The search for more sustainable packaging has driven research and development of biodegradable materials as substitutes for plastics. In this context, artificial intelligence plays a crucial role in the selection of materials, as well as promoting innovation, efficiency, and waste reduction, offering sustainable solutions to reduce the environmental impact of traditional packaging. This article aims to characterize the role of Artificial Intelligence in the development of biodegradable food packaging, also addressing its influence on marketing, design, and other operational processes. To this end, a literature review was conducted, collecting data from various sources such as academic articles, theses, and dissertations, to characterize the importance of the topic. The evaluated works show promising results in the application of artificial intelligence in the manufacturing of biodegradable packaging, speeding up the discovery of sustainable solutions and the development of intelligent packaging adapted to the specific needs of each product, ensuring food safety and creating designs that meet consumer preferences. Thus, the combination of technological innovation with sustainable practices proves to be fundamental in facing contemporary environmental challenges and promoting a more balanced and resilient future for the next generations.

Keywords: Sustainability. Development. Innovation.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade das embalagens torna-se a cada dia mais necessária em virtude do aumento significativo dos resíduos sólidos, que geram problemas ambientais, econômicos e sociais cada vez maiores. Uma variedade de materiais pode ser empregada em embalagens de alimentos, como metais, vidro, celulose e plásticos. Contudo, os plásticos predominam neste contexto devido às suas propriedades de flexibilidade, leveza, custo reduzido e ampla gama de opções, entre outros fatores (FONTOURA; CALIL; CALIL, 2016; LANDIM *et al.*, 2016).

Dados estatísticos indicam que, somente no Brasil, são gerados diariamente entre 240 milhões e 300 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo a maior parte deles enviada para aterros ou descartada no meio ambiente. Desse total, cerca de 30% a 40% são constituídos por materiais plásticos utilizados como embalagens, impactando significativamente o meio ambiente e a saúde humana (SOTERO, 2000; DAS & TIWARI, 2018).

Os plásticos são conhecidos pela sua resistência à manipulação e pelo longo período para se decompor, 250 a 450 anos, resultando na poluição (NEUZA, 2013). No entanto, à medida que as embalagens plásticas se

degradam, liberam microplásticos no ambiente, que podem contaminar o solo, a água e até os alimentos que são consumidos, representando uma ameaça para a saúde humana. Desta forma, o emprego de materiais naturais na criação de plásticos sustentáveis e biodegradáveis, seria uma solução promissora para evitar esta problemática (CHEN *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) pode desempenhar um papel crucial na melhoria e desenvolvimento de novos materiais para resolver esta questão. Ferramentas baseadas em IA podem avaliar o impacto ambiental de diversas embalagens, considerando os processos de produção, a origem dos materiais e o descarte no final da vida útil (HASSAN; WAHAB; NOR, 2023).

Por meio da IA é possível selecionar materiais biodegradáveis de forma mais ágil e assertiva, criar embalagens ativas, reduzir o tempo e custos de operação, criar embalagens interativas e informativas que promovem a sustentabilidade na gestão de resíduos, selecionar o local e público para determinado produto, entre outros (CHEN *et al.*, 2024; HASSAN; WAHAB; NOR, 2023; SAHNI; SRIVASTAVA; KHAN, 2021; SILVA *et al.*, 2020). O objetivo deste artigo é fornecer uma análise da aplicação da IA no processo de desenvolvimento de embalagens biodegradáveis para alimentos. O artigo pretende ainda abordar pontos importantes sobre como essa tecnologia pode otimizar todo o ciclo de vida das embalagens ecológicas, desde a seleção da matéria-prima até o descarte do produto.

2 MÉTODOS

A metodologia deste estudo constituiu-se em uma revisão bibliográfica, envolvendo a identificação, seleção e análise crítica de variadas fontes de informação disponíveis sobre embalagens biodegradáveis e inteligência artificial. Para tanto, foram consultados bancos de dados bibliográficos como: Google Acadêmico, SciELO - Scientific Electronic Library Online, Portal Periódicos CAPES e ScienceDirect. Além disso, foram consultados bases de dados acadêmicos, livros e outras fontes pertinentes.

A seleção dos artigos foi realizada com base em critérios pré-definidos utilizando-se os seguintes descritores em português e inglês: Inteligência

Artificial, embalagens biodegradáveis, embalagens inteligentes, seleção e designer das embalagens utilizando a inteligência artificial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A CRIAÇÃO DE EMBALAGENS BIOGEDRADÁVEIS

A IA é um campo da ciência e/ou engenharia da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de resolver uma variedade de problemas por meio de diferentes técnicas e modelos. Seu objetivo é criar sistemas que executem tarefas atualmente mais bem realizadas por seres humanos do que por máquinas, ou que não possuam solução algorítmica viável através da computação convencional. A IA abrange uma diversidade de modelos, técnicas e tecnologias que lidam com problemas complexos, utilizando paradigmas como simbólico, conexionista, evolutivo e probabilístico (SICHMAN, 2021).

Aplicações da IA abrangem diversas áreas, permitindo a execução eficiente de tarefas programadas, embora sua inteligência seja limitada em comparação com seres humanos. A IA genérica, capaz de assimilar dados independentemente de sua forma, reflete uma abordagem mais próxima da definição de inteligência, enquanto suas subáreas, como aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural e visão computacional, se combinam para criar ferramentas inteligentes que desempenham tarefas complexas (PINHEIRO e OLIVEIRA, 2022).

Esta tecnologia está sendo usada para melhorar as embalagens de alimentos de várias maneiras, como a seleção de materiais, a definição do design, no processo produtivo e na distribuição dos produtos. Em relação as embalagens biodegradáveis a aplicação da IA tem trazido benefícios significativos, pois acelera e otimiza a identificação de materiais mais eficientes e permite que haja uma previsão do comportamento ambiental dessas embalagens ao longo do tempo. Por meio da IA é possível avaliar ou prever a biodegradação de determinado produto e o destino final de seus compostos no

ambiente, fator essencial para determinar seu impacto tanto a curto quanto a longo prazo nos sistemas vivos e, em última instância, na saúde humana (VADLAMUDI, 2018; *BAKER et al.*, 2004).

A IA promove ainda a otimização do design das embalagens, pois possibilita antecipar as tendências de mercado e comportamentos dos consumidores (SAHNI; SRIVASTAVA; KHAN, 2021). Além disso, esta tecnologia desempenha um papel fundamental nos processos de produção contribuindo para redução de custos, visto que, a programação da produção pode ser otimizada utilizando modelos e algoritmos avançados com dados coletados dos sensores em máquinas. Esta capacidade de cálculo, modelagem e simulação de cenários permite uma melhor utilização dos recursos, contribuindo assim, com a sustentabilidade da produção ao reduzir os custos diretos e indiretos (RODRIGUES, 2023; KUMAR *et al.*, 2021; TELLES *et al.*, 2020; VADLAMUDI, 2018).

No setor alimentício a IA ainda pode ser aplicada na seleção e classificação de alimentos, no cumprimento das leis de segurança alimentar, na redução dos custos de reparo e manutenção de equipamentos, na otimização do gerenciamento da cadeia de suprimentos, no atendimento personalizado ao cliente, entre outros (HASSOUN *et al.*, 2023; SAHNI; SRIVASTAVA; KHAN, 2021).

3.2 EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

O conceito de embalagem varia conforme a perspectiva em que é analisada. Para o consumidor, a embalagem é uma forma de satisfazer o desejo de adquirir o produto; para o marketing, a embalagem é o meio mais direto de atrair o consumidor para a compra; para o setor de design, ela representa a proteção do produto até que chegue ao consumidor; para a engenharia industrial, a embalagem é crucial para a proteção do produto durante o transporte e armazenamento (LANDIM *et al.*, 2016). Em relação as embalagens de alimentos podem ser citadas como principais funções: proteção, conservação, informação e conveniência ou serviço (Figura 1) (NEUZA, 2013).

Figura 1: Funções das embalagens de alimentos.



Fonte: adaptado de Neuza (2013).

A importância da embalagem na indústria alimentícia é inquestionável; contudo, as mudanças no padrão de consumo da sociedade, especialmente após a pandemia de Covid-19, com o aumento do uso do serviço de delivery de alimentos, elevaram o consumo de embalagens, principalmente as de plástico e isopor (TEIXEIRA e MOURÃO, 2021). Este acúmulo de resíduos sólidos tem um impacto ambiental desastroso e potenciais efeitos adversos à saúde humana. Portanto, sua substituição por embalagens sustentáveis e multifuncionais, se faz necessário (HASSOUN *et al.*, 2023).

Neste contexto, as embalagens biodegradáveis desempenham um papel crucial, pois, embora apresentem propriedades físicas e químicas semelhantes às do plástico convencional, sua degradação ocorre em 12 a 18 meses, enquanto o plástico comum leva centenas de anos para se decompor (RAMALHO, 2009).

As embalagens biodegradáveis são caracterizadas por se degradarem naturalmente no ambiente, especialmente pela ação de microrganismos e suas enzimas. Durante o processo de biodegradação, os compostos orgânicos são convertidos em substâncias simples, como CO₂, água, metano e hidrogênio, através de mecanismos bioquímicos, sendo posteriormente redistribuídos no

meio ambiente (LANDIM, 2016; MARTINS, 2010; SHIMAZU & GROSSMANN, 2007).

No entanto, Fontoura, Calil e Calil (2016) alertam sobre a importância do tratamento destes produtos após seu descarte, por meio de processos como a compostagem ou reaproveitamento, por exemplo. Este fator é importante, para evitar que haja mais acúmulo de resíduos sólidos e liberação de gases que estão relacionados a desequilíbrios climáticos. Outro fator a ser considerado é o custo do material biodegradável que pode custar em média três vezes maior comprado ao plástico convencional (FONTOURA; CALIL; CALIL, 2016; LANDIM, 2016).

Apesar disso, as embalagens biodegradáveis oferecem várias vantagens em comparação com as não biodegradáveis. Destacam-se o uso de substâncias atóxicas no processo de fabricação, a matéria-prima proveniente de fontes renováveis e o alto índice de biodegradação, que resulta em biomassa que pode ser utilizada como fertilizante. No entanto, as embalagens produzidas com plástico biodegradável podem ter propriedades de conservação inferiores às feitas com plásticos derivados do petróleo. Esse problema pode ser resolvido, desde que a embalagem seja compatível com o tipo de alimento a ser embalado e o ambiente em que será utilizada. Considerando a origem dos polímeros biodegradáveis, as embalagens podem ser classificadas como renováveis, quando derivados de biomassa, e não renováveis, quando oriundos do petróleo, por exemplo (FERREIRA; SILVA, 2024).

Existe uma variedade de produtos podem ser utilizados na fabricação de embalagens biodegradáveis, incluindo: amidos como o milho, a batata e a mandioca; celulose derivada de fontes renováveis como a madeira e o bagaço de cana-de-açúcar; poliésteres alifáticos como o ácido polilático (PLA), obtido de fontes vegetais; polihidroxialcanoatos (PHA), polímeros produzidos naturalmente por bactérias durante a fermentação de fontes de carbono como óleos vegetais ou açúcares; polibutilenosuccinato (PBS), um polímero biodegradável sintético produzido a partir de matérias-primas renováveis, como ácido succínico e butanodiol; ou até mesmo serem derivados de fonte animal, como a quitina, a quitosana ou proteínas. Dentre os polímeros não renováveis os mais conhecidos são as policaprolactonas (PCL), as poliesteramidas, os copoliésteres alifáticos e os copoliésteres aromático. (LANDIM, 2016; ONOFRE,

2016; SOMBRIO, 2017; SILVA, 2018; GONZÁLEZ GARCÍA, 2013; DE OLIVEIRA, 2020)

Os polímeros melhor adaptados à biodegradação completa são os naturais, aqueles hidrolisáveis a CO_2 e H_2O , ou a CH_4 e os polímeros sintéticos que possuem estruturas próximas aos naturais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SELEÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS UTILIZANDO IA

A abordagem integrada de robótica e IA permite uma descoberta mais rápida e eficiente de alternativas ecológicas aos plásticos convencionais. Esta associação possibilita analisar as propriedades físico-químicas dos nanocompósitos naturais, automatizar o design inverso de substitutos plásticos biodegradáveis e sugerir alternativas adequadas com características específicas, sem a necessidade de realizar experimentos de otimização interativos. (CHEN et al, 2024)

Silva et al (2021) empregaram o algoritmo k-Nearest Neighbor (KNN) para a classificação e seleção de embalagens biodegradáveis produzidas a partir de gelatina de peixe incorporada com óleo de palma e óleos essenciais de cravo e orégano, com base na descrição da literatura e em uma lista de prioridades. Essa abordagem permitiu a identificação das propriedades mais adequadas das embalagens, reduzindo a necessidade de extensas análises laboratoriais e os custos associados à seleção do material de embalagem ideal, pois com a aplicação deste algoritmo é possível determinar os valores ideais das variáveis analisadas. Como resultado foi possível selecionar a embalagem contendo óleo essencial de cravo como a mais promissora, por apresentar elevada atividade antioxidante, além de resistência à tração e alongação. Sendo a aplicação do algoritmo permitiu ainda selecionar o óleo de palma como uma alternativa ao cravo, devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, bem como, à sua abundância e baixo custo.

O algoritmo de mapa auto-organizáveis (SOM) é uma técnica de inteligência artificial que transforma padrões de sinal de entrada em um mapa bidimensional organizado de forma topológica. Os SOMs proporcionam

comparações que inicialmente eram complicados devido ao grande volume de dados. Este algoritmo tem sido empregado na avaliação do papel de diferentes aditivos em filmes biodegradáveis, permitindo comparações entre formulações e fornecendo uma visão abrangente das contribuições dos componentes para as propriedades dos filmes. Sua aplicação é importante pois agiliza o desenvolvimento de filmes com características melhores. A aplicação do SOM mostrou-se eficaz na análise de diferentes tipos de filmes biodegradáveis e de dados referentes as suas propriedades mecânicas e de barreira, possibilitou correlacionar as propriedades desejadas com a concentração dos componentes presentes nas formulações, bem como, comparar entre diversas formulações, proporcionando uma visão abrangente das características dos componentes incorporados e suas contribuições para os resultados (NOBREGA et al, 2023).

Outro estudo apresenta resultados promissores no uso de materiais renováveis na impressão 3D para criar embalagens biodegradáveis adaptadas. A utilização da inteligência artificial foi fundamental para o desenvolvimento de um software que cria designs de embalagens com base na geometria da peça individual, permitindo a sua produção sob demanda. Além disso, a IA desempenhou um papel na seleção e modificação de materiais, na avaliação de propriedades mecânicas e na aplicação prática das embalagens adaptadas. Os resultados indicam que a combinação de materiais renováveis, impressão 3D e inteligência artificial possibilita a produção de embalagens sustentáveis, biodegradáveis e adaptadas para componentes complexos, atendendo às demandas de embalagem para produtos frágeis e podendo ser produzidas just-in-time. (ZEIDLER, 2018)

A vasta quantidade de monômeros disponíveis a partir de transformações biológicas e químicas de matérias-primas de base biológica, assim como as inúmeras combinações possíveis para obter polímeros com características desejadas, pode tornar esse processo longo e custoso. Para enfrentar essa problemática, foi desenvolvida uma ferramenta baseada em aprendizado de máquina denominada PolyID, que visa reduzir o espaço de design de matérias-primas renováveis, permitindo a descoberta eficiente de polímeros de base biológica com alto desempenho. PolyID é uma rede neural gráfica de múltiplas saídas, projetada especificamente para aumentar a precisão e possibilitar a análise quantitativa da relação estrutura-propriedade (Quantitative structure

property relationships - QSPR) para polímeros. Principalmente utilizada na indústria de embalagens e reciclagem, ela aplica técnicas avançadas de análise, como espectroscopia e algoritmos de inteligência artificial, para determinar com precisão a composição de materiais plásticos. Isso facilita a triagem, reciclagem e desenvolvimento de novos materiais sustentáveis, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade dos processos industriais (WILSON et al., 2023).

A abordagem integrada de robótica e IA permite uma descoberta mais rápida e eficiente de alternativas ecológicas aos plásticos convencionais. Esta associação possibilita analisar as propriedades físico-químicas dos nanocompósitos naturais, automatizar o design inverso de substitutos plásticos biodegradáveis e sugerir alternativas adequadas com características específicas, sem a necessidade de realizar experimentos de otimização interativos (CHEN et al, 2024)

4.2 DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS INTELIGENTES

As embalagens biodegradáveis de alimentos podem ser associadas a embalagens inteligentes que possuem em sua estrutura indicadores, sensores ou portadores de dados que interagem com os componentes internos e externos dos alimentos e do ambiente em que estão condicionados a fornecer uma resposta imediata (mudança de cor, por exemplo) correlacionada as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alimentos (POYATOS-RACIONERO et al., 2018). A integração de embalagens inteligentes e biodegradáveis representa um avanço significativo na indústria, combinando a necessidade de reduzir o impacto ambiental com a demanda por soluções avançadas que melhorem a qualidade e a segurança dos produtos.

A integração da inteligência artificial em sistemas de embalagem permite monitorar a condição dos alimentos, rastrear informações sobre a qualidade e o estado do produto ao longo da cadeia alimentar, e até mesmo comunicar em tempo real informações sobre o produto. Isso contribui para a redução de desperdício, melhor gerenciamento de estoque e melhoria da eficiência e qualidade dos alimentos. Além disso, a inteligência artificial pode ser utilizada para aprimorar a segurança alimentar, reduzir reclamações de varejistas e consumidores, e favorecer a diferenciação de marcas. A implementação bem-

sucedida da inteligência artificial em embalagens pode resultar em benefícios econômicos significativos, incluindo redução de custos operacionais, aumento da eficiência da cadeia de suprimentos e melhoria da satisfação do cliente (REALINI e MARCOS, 2014).

A utilização de biossensores se demonstrou como uma importante ferramenta para fornecer informações em tempo real sobre a rastreabilidade, qualidade e frescor de produtos como carne e seus derivados, promovendo a interação com o consumidor. Esses dispositivos atuam como etiquetas ou tags, sendo pequenos, baratos e fáceis de adquirir. Eles detectam alterações biológicas, químicas e físicas nos alimentos, podendo prolongar a vida útil dos produtos, garantindo sua qualidade e segurança e reduzindo o desperdício. No entanto, ainda há necessidade de investigações adicionais para determinar a interação entre esporos incorporados e os produtos alimentares, bem como a importância da rastreabilidade e segurança dos alimentos ao longo da cadeia de produção (ONGARATTO et al., 2022).

Um exemplo prático de embalagem sustentável e inteligente foi apresentado por BRAZOLIN et al. (2022), formularam um filme inteligente de quitosana mais antocianina, que atuou como um indicador colorimétrico para alterações de pH (potencial hidrogeniônico) dos alimentos. Esta análise é importante pois a alteração de pH está relacionada a qualidade dos produtos alimentares embalados, indicando deterioração, crescimento microbiano e adulteração. O treinamento de uma rede neural artificial (RNA) foi aplicado para interpretar as respostas colorimétricas dos filmes, apresentando uma assertividade de 79% na classificação, evidenciando seu potencial e aplicabilidade na avaliação da segurança alimentar.

Li et al. (2023) também caracterizaram a aplicação da IA para monitoramento do frescor de alimentos, por meio da avaliação de diversos trabalhos referentes a este assunto. No entanto, concluíram que embora tenham ocorrido alguns progressos em materiais de embalagem inteligentes, algoritmos de inteligência artificial, sensores e aquisição de sinais, ainda existem algumas deficiências nas aplicações práticas, tais como: a reduzida variedade de sensores para monitorar o frescor dos alimentos e seu desempenho é instável; o tempo elevado que os algoritmos de inteligência artificial requerem para computar e processar grandes quantidades de dados, visto que, os algoritmos

contemporâneos de IA frequentemente utilizam GPUs (unidades de processamento gráfico) para agilizar o processamento e análise de dados e estes não são adequados para processar dados 3D e multidimensionais necessários em aplicações práticas; o fato de a maioria dos algoritmos de detecção de frescor de alimentos utiliza redes neurais artificiais, máquinas de vetores de suporte e outras técnicas avançadas que podem ser influenciados pelo tamanho da amostra e gerar uma análise preditiva insatisfatória. Portanto, há necessidade de novas pesquisas neste campo.

4.3 DESIGNER DE EMBALAGENS UTILIZANDO IA

A IA pode ser utilizada para projetar embalagens conforme as preferências e necessidades do consumidor, aprimorando sua sensação de envolvimento e experiência geral. Por meio desta tecnologia, é possível adicionar elementos de design interativo às embalagens, como telas sensíveis ao toque e avisos sonoros. Além disso, a IA aprimora a segurança e rastreabilidade dos produtos, e melhora a imagem da marca e a competitividade no mercado. (WANG; ZHANG, 2024). Ao otimizar o design de embalagens de produtos, é possível melhorar a eficiência da produção e atender às demandas dos consumidores, podendo assim, impulsionar a economia. Além disso, a IA vem sendo utilizada para promover a inserção de práticas ecologicamente corretas nos designs de modo a contribuir para a tomada de decisões que considerem as questões ambientais durante seu processo de produção, promovendo assim a redução do impacto ambiental, a promoção de práticas de embalagem mais sustentáveis e contribuindo para conscientização dos consumidores em relação a estas questões (ZHU, 2024; DAI, 2023; ZHANG, 2022).

5 CONCLUSÃO

A análise dos materiais bibliográficos demonstra que a IA desempenha um papel fundamental na seleção de materiais biodegradáveis adequados para embalagens de alimentos, permitindo uma abordagem mais rápida e eficaz na

descoberta de soluções sustentáveis. Além disso, essa tecnologia é uma importante ferramenta no desenvolvimento de embalagens inteligentes, atendendo às necessidades específicas de cada produto, garantindo a segurança alimentar, criando designs que atendam à preferência dos consumidores e promovendo a sustentabilidade. No entanto, algumas áreas necessitam de mais estudos para o aperfeiçoamento das embalagens alimentares inteligentes

Por fim, pode-se ressaltar a importância de continuar avançando na pesquisa e no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis alimentícias com o apoio da inteligência artificial, visando o aprimoramento da automação e a otimização dos processos de criação, produção e descarte dessas embalagens. A integração da IA no setor de embalagens não apenas impulsiona a inovação e a redução de custos, mas também abre caminho para um futuro mais consciente e responsável em relação ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BARÃO, Mariana Zanon. **Embalagens para produtos alimentícios**. Instituto de Tecnologia do Paraná. TECPAR. 2011

BRAZOLIN, Isadora Fernandes. **Desenvolvimento de embalagens inteligentes com indicadores visuais de variação de pH utilizando inteligência artificial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de São Paulo. Diadema, 2022.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. **Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes**. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revistaremap/index.php/REMAP/article/download/222/204>

CHEN, Tianle, *et al.* Machine intelligence-accelerated discovery of all-natural plastic substitutes. **Nature Nanotechnology**, 2024.

CRIPPA, Agnaldo; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMICO, S. C. **Desempenho de Filmes Multicamadas em Embalagens Termoformadas**. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, nº 3, p. 188-193, 2007

DAI, Yanyan. Research on the design of green and low-carbon food packaging based on artificial intelligence technology. **Global NEST Journal**, v. 25, n. 5, p. 90-97, 2023.

DAS, P.; TIWARI, P. **Valorization of packaging plastic waste by slow pyrolysis. Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 69-77, 2018.

FERREIRA, Mariana Caroline; SILVA, Jucelia Salete Giacomini da. Embalagens biodegradáveis: um estudo sobre as vantagens e desvantagens no setor de alimentos. In: **Blucher Design Proceedings**. São Paulo: Editora Blucher, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5151/7dsd-2.2.040>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

FONTOURA, Denize Rocha Santos; CALIL, Ricardo Moreira; CALIL, Ercilia Maria Borgheresi. A importância das embalagens para alimentos-aspectos socioeconômicos e ambientais. **Atas de Saúde Ambiental-ASA (ISSN 2357-7614)**, v. 4, n. 1, p. 138-160, 2016.

HASSAN, Mohammad; WAHAB, Nor Aida Binti Abdul; NOR, Rahman Bin Mohd. The role of artificial intelligence in waste reduction in the beverage industry: a comprehensive strategy for enhanced sustainability and efficiency. **AI, IoT and the Fourth Industrial Revolution Review**, v. 13, n. 11, p. 1-8, 2023.

HASSOUN, Abdo; BOUKID, Fatma; OZOGUL, Fatih; *et al.* Creating new opportunities for sustainable food packaging through dimensions of industry 4.0: New insights into the food waste perspective. **Trends in Food Science & Technology**, v. 142, p. 104238, 2023.

KUBASKI, Luana Aparecida; ITO, Paula Bauto. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja**. 2017. 44p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017

KUMAR, Indrajeet; RAWAT, Jyoti; MOHD, Noor; *et al.* **Opportunities of artificial intelligence and machine learning in the food industry**. Journal of Food Quality, v. 2021, p. 1–10, 2021.

LANDIM, Ana Paula Miguel *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82-92, 2016.

LI, Xiaouxuan *et al.* **Recent Advance of Intelligent Packaging Aided by Artificial Intelligence for Monitoring Food Freshness Foods**. 12(2976), 1-20. 2023

MILAZZO M, LIBONATI F. **O papel sinérgico da fabricação aditiva e da inteligência artificial para o projeto de novos sistemas inteligentes avançados**. 100278. DOI: <https://doi.org/10.1002/aisy.202100278>. 2022

NEUZA, Jorge. **Embalagens para alimentos**. Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação. 194p. São Paulo. 2013

NOBREGA, Marcelo Medre; BONA, Evandro; YAMASHITA, Fabio. An artificial neural network model for the prediction of mechanical and barrier properties of

biodegradable films. **Materials Science and Engineering: C**, v. 33, n. 7, p. 4331–4336, 2013.

ONGARATTO, Gabriela Cavalca *et al.* **Embalagens ativas e inteligentes para proteção da carne e seus derivados**: Revisão. PubVet. v.16, n.04, a1091, p.1-11, Abr, Maringá. 2022

PAWAR, P.A.; PURWAR, A.H. **Bioderadable Polymers in Food Packaging**. In: American Journal of Engineering Research (AJER). e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN: 2320-0936 Volume-02, Issue-05, pp-151-164. 2013

PINHEIRO, Mayara; OLIVEIRA, Hamilton. **Inteligência artificial: estudos e usos na Ciência da Informação no Brasil**. RIC: R. Ibero-amer. Ci. Inf., ISSN 1983-5213, Brasília, v15 n3, p. 950-968, set.-dez. 2022

POYATOS-RACIONERO, Elisa; ROS-LIS, Jose Vicente; VIVANCOS, José-Luis; *et al.* Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3398–3409, 2018.

RAMALHO, M. **Plásticos biodegradáveis proveniente da cana-de-açúcar**. Centro Paula Souza, São Paulo, 2009.

REALINI, Carolina E.; MARCOS, Begonya. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 404–419, 2014.

RODRIGUES, Rui Emanuel da Cruz Silva. **Uso da inteligência artificial e algoritmos no marketing digital: o caso da Amazon**. 2023. Tese de Doutorado.

SAHNI, Varsha; SRIVASTAVA, Sandeep; KHAN, Rijwan. Modelling Techniques to Improve the Quality of Food Using Artificial Intelligence. **Journal of Food Quality**, v. 2021, p. 1–10, 2021.

SALGADO PR; Di Giorgio L.; Musso YS and Mauri NA. **Recent Developments in Smart Food Packaging Focused on Biobased and Biodegradable Polymers**. Front. Sustain. Food Syst. 5:630393. 2021

SILVA, Magno de Lima *et al.* Aproveitamento de resíduos vegetais como alternativa na fabricação de embalagens biodegradáveis/ Use of vegetable waste as an alternative in the manufacture of biodegradable packaging. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 86238–86250, 2020.

SILVA, Natácia da Silva e, *et al.* **Artificial intelligence application for classification and selection of fish gelatin packaging film produced with incorporation of palm oil and plant essential oils**. Food Packaging and Shelf Life, 27, 100611. 2021

SICHMAN, Jaime Simão. **Inteligência Artificial e sociedade**: Avanços e riscos. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de

Computação e Sistemas Digitais, São Paulo, Brasil. 2021 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35101.004>. Acesso em: 03 mar. 2024

SOMBRIÓ, Bruna Regina *et al.* **Produção de poli (3-hidroxibutirato) por *Cupriavidus necator* em batelada alimentada usando glicerol**. *Polímeros*, v. 27, p. 110-115, 2017

SOTERO, A.P. **Plásticos biodegradáveis trazem melhoria ambiental**. *Jornal de Plásticos*, 1017/1018. 2000.

TEIXEIRA, Kassia Lopes; MOURÃO, Francianne Vieira. O descarte de embalagens de delivery em tempos de pandemia. **Interação**, v. 21, n. 1, p. 1–13, 2021.

TELLES, Eduardo Santos; BARONE, Dante Augusto Couto; DA SILVA, Alexandre Moraes. Inteligência Artificial no Contexto da Indústria 4.0. In: **Anais do I Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade**. SBC, 2020. p. 130-136.

VADLAMUDI, Siddhartha **Agri-Food System and Artificial Intelligence: Reconsidering Imperishability**. *Asian Journal of Applied Science and Engineering*, Volume 7, ISSN 2305-915X(p); 2307-9584(e). 2018

VEZZOLI, Carlo; MANZINI, Ezio. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: USP, 2011. 336 p

WANG, Chaowei *et al.* **Development and Application of Intelligent Packaging Design under the Background of Artificial Intelligence**. Atlantis Highlights in Intelligent Systems Department of Industrial Design, Wuhan University of Technology, Wuhan, China. 2024

WANG, Yipeng; ZHANG, Shilin. Optimization of Emotional Experience in Interactive Packaging Design using Artificial Intelligence. 2024.

WILSON, A. Nolan *et al.* PolyID: Inteligência Artificial para Descobrir Polímeros Sustentáveis e com Vantagem de Desempenho. **Macromoléculas**, v. 56, n. 21, pág. 8547-8557, 2023.

ZEIDLER, Henning; KLEMM, Diana; BÖTTGER-HILLER, Falko; *et al.* 3D printing of biodegradable parts using renewable biobased materials. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 117–124, 2018.

ZHANG, Sheng. Research on energy-saving packaging design based on artificial intelligence. **Energy Reports**, v. 8, p. 480–489, 2022.

ZHU, Aili. Design and research of green concept product packaging based on artificial intelligence technology. **Applied Mathematics and Nonlinear Sciences**, v. 9, n. 1, 2023.

COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.