

REVIEW ARTICLE

Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica

Development of colorimetric altered intelligent packaging incorporated with anthocyanins: a critical review

Samiris Côcco Teixeira^{1*} , Nilda de Fátima Ferreira Soares¹, Paulo César Stringheta¹

¹Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Tecnologia de Alimentos, Viçosa/MG - Brasil

*Corresponding Author: Samiris Côcco Teixeira, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Tecnologia de Alimentos, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, CEP: 36570-900, Viçosa/MG - Brasil, e-mail: samiristeixeira@gmail.com

Cite as: Teixeira, S. C., Soares, N. F. F., & Stringheta, P. C. (2021). Development of colorimetric altered intelligent packaging incorporated with anthocyanins: a critical review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, e2021033. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03321>

Resumo

Embalagens inteligentes são aquelas que possuem maior aprimoramento em relação à comunicação e ao consumidor, uma vez que fornecem uma informação dinâmica sobre a qualidade real do produto. A presente revisão tem como objetivo analisar o conceito de embalagens inteligentes que utilizam como base polímeros incorporados com antocianinas para alteração colorimétrica, discutindo aspectos do desenvolvimento científico. Foi realizada uma análise crítica da produção científica que trata dos processos utilizados para o desenvolvimento dessas embalagens. O processo de produção está estruturado e controlado com base na demanda atual dos consumidores, uma vez que eles estão cada vez mais alertas em relação à segurança e à qualidade dos alimentos disponibilizados para consumo. Nesse sentido, o desenvolvimento de novas embalagens inteligentes com indicadores ou sensores colorimétricos está diretamente relacionado com a forma de produção, requerendo uma padronização de sua produção e parâmetros, fornecendo uma visão de diversos profissionais, que acabam por desenvolver novas tecnologias promissoras.

Palavras-chave: Alimentos; Detecção; Deterioração, Indicadores colorimétricos; pH; Sensores.

Abstract

Intelligent packages are those that have significant improvement with respect to communication and to the consumer, since they provide dynamic feedback about the actual quality of the product. The present review aimed to analyze the concept of intelligent packaging that uses polymers incorporated with anthocyanins as a base for colorimetric alteration, as well as discussing aspects of scientific development. A critical analysis of the scientific production that deals with the processes used for the development of such packaging was performed. The production process is structured and controlled based on the current consumer demand, as they are increasingly alert to the safety and quality of the food available for consumption. In this sense, the development of new intelligent



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

packaging with colorimetric indicators or sensors is directly related to the form of production, requiring a standardization of its production and parameters, thus providing insight from various professionals, who end up developing promising new technologies.

Keywords: Food; Detection; Deterioration; Colorimetric indicators; pH; Sensors.

1 Introdução

A sociedade está cada vez mais preocupada com a segurança e a qualidade dos alimentos disponibilizados para consumo. Dessa maneira, algumas medidas de prevenção, associadas ao desenvolvimento de novas embalagens, podem ser tomadas para garantir a segurança do consumidor, além de proporcionarem maior tempo de vida de prateleira ao produto. Apesar de as embalagens tradicionais contribuírem fortemente para a logística de distribuição, manutenção e preservação de alimentos, elas não são suficientes para certificar a inocuidade alimentar. Assim, cada vez mais, pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento e melhoramento de embalagens para alimentos que possam proporcionar o consumo de produtos mais seguros.

A partir dos desenvolvimentos efetuados, surgiu uma nova classificação das embalagens para alimentos, denominadas embalagens inteligentes, que são capazes de monitorar a qualidade do produto em tempo real, rastrear os pontos críticos de processo e de controle, e fornecer informações mais detalhadas de toda a cadeia alimentícia. Estas informações são obtidas, registradas e informadas por meio de sensores, indicadores ou portadores de dados inseridos ou incorporados ao corpo da embalagem. Esses componentes podem ser projetados para fornecerem informações sobre as condições de armazenamento, como variações na temperatura e o tempo de vida do alimento; sobre o consumo e a liberação de oxigênio, dióxido de carbono e etileno, e as alterações do pH do meio. Essas informações estão diretamente relacionadas à qualidade dos alimentos e, portanto, são capazes de prever datas de validade mais precisas e particulares para cada produto (Castro et al., 2018).

Dentre os indicadores que podem ser incorporados às embalagens, os indicadores colorimétricos têm se destacado pela simplicidade do processo e facilidade de comunicação com o consumidor. Indicadores colorimétricos podem ser produzidos com a incorporação de corantes naturais, como as antocianinas, que são pigmentos naturais, não tóxicos, solúveis em água e bastante sensíveis a mudanças de pH. As antocianinas são encontradas abundantemente em frutas e flores. Embalagens desenvolvidas com adição de antocianinas podem fornecer informações qualitativas imediatas, por meio de mudanças colorimétricas visuais provocadas pela alteração estrutural do pigmento e, conseqüentemente, indicar o frescor ou o estágio de deterioração do alimento, apresentando-se como um método conveniente, rápido e não destrutivo (Le et al., 2019; Zhang et al., 2014; Ferreira et al., 2007)

Para produção de embalagem inteligente, o extrato de antocianina pode ser incorporado em uma base polimérica biodegradável, com o objetivo de garantir não só a segurança do consumidor, mas também a do meio ambiente. A maioria das embalagens é produzida a partir de polímeros oriundos de fontes petroquímicas. Atualmente, materiais biodegradáveis derivados de fontes naturais estão sendo considerados potenciais substitutos dos plásticos convencionais, devido a sua biodegradabilidade e viabilidade (Ma et al., 2018). Todavia, as propriedades dos filmes preparados de fontes naturais devem ser melhoradas, se estes pretendem competir com os filmes com base de petróleo, especialmente as propriedades mecânicas e as relacionadas à afinidade pela água (Luzi et al, 2019). Para superar essas limitações, os polímeros biodegradáveis podem ser misturados para combinar características e oferecer funcionalidade para aplicações, como as embalagens. Entretanto, as misturas plásticas biodegradáveis precisam de um gerenciamento pós-consumo cuidadoso e um design eficiente para permitir a biodegradação (Narancic et al., 2018).

Neste contexto, é objetivo desta revisão analisar o conceito de embalagens inteligentes, com ênfase na incorporação de antocianinas, para alteração colorimétrica de acordo com a variação de pH, além de verificar

a sua relação com o desenvolvimento de novas tecnologias e discutir aspectos atuais da sistematização científica do processo de produção dessas embalagens.

2 Embalagens inteligentes: conceito e estado da arte

O estilo de vida das pessoas tem se tornado cada vez mais complexo, devido à atuação mais expressiva das mulheres no mercado de trabalho e à correria do dia a dia da população em geral, o que tem levado os consumidores a se alimentarem de forma mais prática e rápida. Assim, por esse motivo, as indústrias de alimentos têm desenvolvido embalagens convenientes e que atendam a essa demanda, sem esquecer-se da função básica de proteção dos alimentos e da facilidade de comunicação entre as embalagens e o consumidor final (Mihindukulasuriya & Lim, 2014).

Existem dois conceitos importantes na área de desenvolvimento de embalagens: as ativas e as inteligentes. As embalagens ativas possuem agentes aditivos (compostos antioxidantes, absorvedores de oxigênio e de umidade, por exemplo) que interagem intencionalmente com o produto, tendo como propósitos proteger, prolongar a vida de prateleira, preservar as propriedades sensoriais, além de manter a qualidade e a integridade do produto, e garantir a segurança do alimento (Ghaani et al., 2016; Braga & Silva, 2017). Já as embalagens inteligentes são aquelas que possuem maior aprimoramento em relação à comunicação e ao consumidor, ou seja, fornecem um feedback dinâmico sobre a qualidade real do produto. Desse modo, para informar o consumidor sobre a situação atual do alimento, dispositivos, como indicadores, sensores ou portadores de dados, são inseridos ou incorporados ao corpo da embalagem, para que possam interagir com os componentes internos e externos dos alimentos e do ambiente em que estão condicionados, e fornecer como resultado uma resposta imediata (mudança de cor, por exemplo) que se correlaciona com as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alimentos (Poyatos-Racionero et al., 2018).

Existem vários dispositivos e equipamentos, aplicados às embalagens, desenvolvidos para informar o estado de conservação dos alimentos, como as etiquetas de identidade de radiofrequência, os indicadores de tempo-temperatura, os sensores eletroquímicos, as línguas e os narizes eletrônicos; porém, esses sistemas são complexos e dispendiosos (Hsia et al., 2015). Assim, existem dispositivos mais simples, que podem ser utilizados para esse controle, sem nenhuma dificuldade, sendo um deles a utilização de um indicador que mostre a mudança de pH, já que sua identificação prediz o tempo de prateleira do alimento em função da sua variação (Etxabide et al., 2021; Sganzerla et al., 2021).

Em suma, em vez de se imprimir uma data de validade em um produto que está sujeito às ações físicas, químicas e microbiológicas diferentes para cada produto, uma embalagem inteligente, acoplada com um indicador, por exemplo, informará a validade real do alimento e não a validade baseada em parâmetros numéricos e estatísticos, já que tal produto pode ter sido exposto a diversas condições adversas e desfavoráveis, que não se encontram na data de validade usual (Paschoa, 2016).

2.1 Os sistemas inteligentes das embalagens: sensores, indicadores e portadores de dados

2.1.1 Sensores

Tradicionalmente, os sensores são dispositivos que respondem a estímulos físicos, químicos ou biológicos, especificamente, e que são projetados para reconhecer um analito alvo, contendo também um transdutor que converte um sinal/estímulo, gerando um resultado quantitativo (Ghaani et al., 2016).

Esse tipo de tecnologia foi desenvolvido como uma via importante para aplicação em embalagens, incluindo uma variedade de métodos, que permitem detecção colorimétrica, eletroquímica e óptica e de detecção de massa, que são técnicas simples e de rápida detecção de deterioração de alimentos.

A incorporação de sensores em embalagens inteligentes está aumentando, além de serem, largamente, usados para avaliação de frescor dos alimentos, por exemplo, utilizando sensores químicos ou biossensores

(Mustafa & Andreescu, 2018). Os sensores químicos são definidos como um dispositivo que transforma uma informação química em um sinal quantificável; eles apresentam dois componentes básicos: um sistema de reconhecimento químico ou molecular, os receptores, e um transdutor físico ou químico. Portanto, os biossensores são sensores químicos cujo sistema de reconhecimento utiliza um mecanismo biológico, um transdutor e um dispositivo de registro de dados (Zhang et al., 2014). A Figura 1 apresenta os principais componentes de um biossensor.

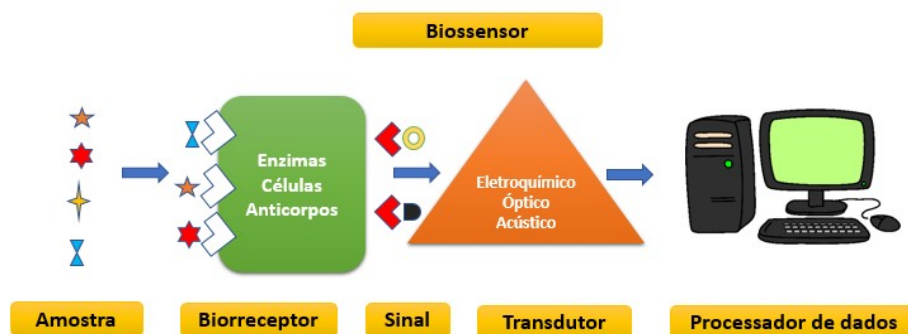


Figura 1. Constituições e princípios dos biossensores.

Segundo Poyatos-Racionero et al. (2018), os sensores surgem como uma nova aplicação para a indústria de alimentos, no que tange a segurança dos alimentos, controle de qualidade e confiança do consumidor. Desta maneira, a comercialização de sensores tende a acelerar processos de desenvolvimento de tecnologias, como a de quimiossensores. No entanto, a sua aplicação na indústria ainda precisa competir com as técnicas analíticas padrão quanto ao custo, ao desempenho e à confiabilidade. A Tabela 1 apresenta a utilização de diversos sensores utilizando antocianinas em embalagens de alimentos.

Tabela 1. Descrição de sensores de pH, elementos de detecção e seus princípios.

Matriz do sensor	Elemento para detecção	Referências
Membrana de celulose bacteriana e polivinil álcool	Antocianinas de repolho vermelho	(Kuswandí et al., 2020)
Gelatina e goma gelana	Antocianinas de rabanete vermelho	(Zhai et al., 2018)
Gelatina	Antocianinas de repolho vermelho	(Musso et al., 2019)
Metilcelulose e nanofibras de quitina	Antocianina de bayberry vermelho	(Sani et al., 2021)
Hidroxipropil metil celulose e Konjac glucomannan	Antocianinas de extrato de amora	(Zhou et al., 2021)

2.1.2 Indicadores

Os indicadores são dispositivos capazes de transmitir informações aos consumidores a respeito da qualidade dos alimentos, considerando o desenvolvimento de microrganismos. Há o monitoramento em tempo real de características específicas, como a ausência ou presença de compostos biológicos ou químicos, através, por exemplo, da alteração colorimétrica visível, com a utilização de compostos como as antocianinas (Kalpana et al., 2019). Existem categorias de indicadores bem conhecidas, dentre as quais os indicadores de tempo-temperatura, de gás e de frescor.

2.1.3 Indicadores de tempo e temperatura (*Time Temperature Indicators - TTI*)

A temperatura é um dos fatores ambientais mais substanciais e suas flutuações, por determinado período, levam à deterioração dos alimentos. Os indicadores de tempo e temperatura foram desenvolvidos para mostrar, de forma bastante simples, se um produto foi exposto a diferenças drásticas de temperatura, o tempo de duração, bem como o efeito dessa exposição, fornecendo informações sobre a qualidade e a segurança microbiana do produto (Mohebi & Marquez, 2015; Vaikousi et al., 2009).

A empresa 3M criou um indicador de tempo e temperatura intitulado como *Monitor Mark Time Temperature Indicators*, que monitora o armazenamento e as condições dos alimentos na cadeia de comercialização. O dispositivo é um registro irreversível da exposição à temperatura, além de ser preciso e fácil de interpretar.

2.1.4 Indicadores de gás

Gases produzidos durante a oxidação lipídica e a deterioração por microrganismos podem alterar a composição gasosa no interior da embalagem. Portanto, indicadores de gás, na forma de etiqueta ou códigos impressos nas embalagens, podem monitorar as alterações gasosas, como a de oxigênio, etanol, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e etileno, além de alertar sobre a segurança e a qualidade de produtos alimentícios (Han et al., 2018). Os mais comuns são os indicadores de oxigênio, uma vez que a presença deste composto na atmosfera pode causar efeitos deletérios na qualidade dos alimentos, provocando o ranço oxidativo, as alterações de cor e a deterioração microbiana (Fang et al., 2017).

Chatterjee & Sen (2015) desenvolveram um indicador utilizando moléculas de aminoálcool terciário para verificar a presença de dióxido de carbono e dióxido de enxofre através de uma mudança de cor, de vermelho para amarelo, enquanto o indicador de CO₂ de Hong & Park (2000) baseou-se na alteração de pH.

2.1.5 Indicadores de frescor

Além do Fresh-Check, mostrado anteriormente, que pode servir como um indicador de frescor, também existe o CheckPoint, que se baseia na detecção de alterações químicas ocorridas no alimento, como mudanças de pH. Esse indicador, além de ser barato e simples, permite a determinação em tempo real, é não invasivo e não destrutivo do frescor do peixe. Similarmente, o Food freshTM, desenvolvido pela *Vanprob Company*, indica se um alimento está apto para consumo dentro de um determinado período conhecido como *consume within*, sendo que esse prazo de validade pode durar dias, semanas ou meses.

Portanto, os indicadores de frescor são uma solução econômica para o problema de armazenar alimentos após a sua abertura e também para indicar, especificamente, o prazo de validade de cada alimento, influenciado pelas condições individuais às quais cada produto é submetido (Figura 2). Esse indicador de alimentos frescos pode ser aplicado em frascos, embalagens a vácuo ou caixas de papelão, usando um aplicador de etiquetas. Abaixo, seguem dois exemplos de indicadores de alteração de cor de acordo com a variação de pH dos alimentos, utilizando diferentes matrizes poliméricas.

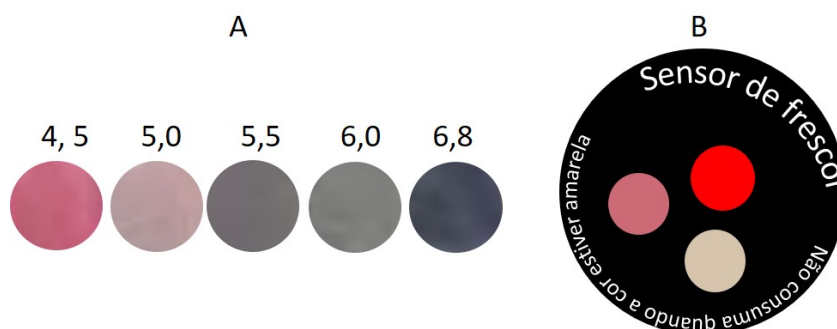


Figura 2. Indicadores de frescor, que variam a cor de acordo com a acidificação de leite (A) e com a variação do pH de frutos do mar (B).

2.1.6 Portadores de dados

Os portadores de dados utilizam a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) como uma importante ferramenta emergente, capaz de automatizar a identificação e o gerenciamento de estoque na cadeia de alimentos. A identificação de radiofrequência aparece como uma etiqueta, contendo os dados do código eletrônico do produto (EPC), incluindo vários detalhes sobre diversos produtos (Yung et al., 2016).

2.1.7 Identificação de rádio frequência

Essa tecnologia de identificação automática é utilizada em embalagens inteligentes, as quais fazem uso de sensores sem fio para coletar e identificar dados, sem a intervenção humana. O RFID é composto por leitores (receptores), etiquetas ou radares (suporte de dados), software, hardware, rede e banco de dados. Etiquetas de RFID armazenam números de identificação nos quais o leitor pode recuperar informações de um banco de dados, fazendo com que ele conheça toda a cadeia de produção, de modo a permitir a rastreabilidade e aumentar a segurança dos alimentos (Ghaani et al., 2016).

Há duas categorias expressas de etiquetas de RFID: as passivas e as ativas. As etiquetas passivas contêm antenas em forma de espiral, que formam um campo magnético e utilizam ondas de rádio possíveis de serem identificadas por um leitor. Já as etiquetas ativas são alimentadas por uma bateria interna, usada para executar o circuito dos microchips e transmitir um sinal ao leitor. Essas etiquetas podem ser usadas em várias aplicações, como em produtos hortícolas, carnes, produtos de pesca, laticínios, panificação, bebidas e outros alimentos (Drago et al., 2020).

2.1.8 Antocianinas: definição e usos atuais em embalagens

As antocianinas são pigmentos solúveis em água, podendo variar de vermelho vivo ao violeta/azul. São encontradas em frutas (morango, cereja, amora, mirtilo, repolho roxo, berinjela), vegetais e algumas bebidas (vinho tinto). A molécula da antocianina é constituída por duas ou três porções, sendo uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um grupo de ácidos orgânicos. Dentre os grupos químicos, basicamente, a antocianina é composta por dois anéis aromáticos ligados por um anel heterocíclico de três carbonos, que contém um oxigênio (Figura 3). As ligações duplas conjugadas da porção antocianidina constituem o cromóforo. Seis antocianidinas são comumente encontradas em alimentos (pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina), variando o número e o grau de metilação dos grupos hidroxila no anel B. Em geral, a hidroxilação aumenta a cor azul e reduz a estabilidade, enquanto a metilação aumenta a cor vermelha e aumenta estabilidade (Rodríguez-Amaya, 2019).

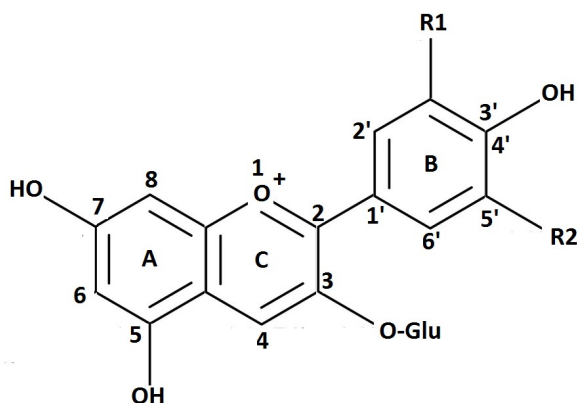


Figura 3. Exemplo de estrutura química de antocianinas.

As diferenças entre as várias antocianinas estão no número de grupos hidroxílicos na molécula, no grau de metilação destes grupos, na natureza e no número de açúcares ligados à molécula, e na posição dessas ligações, bem como na natureza e no número de ácidos alifáticos e/ou aromáticos ligados ao(s) açúcar(es) na molécula de antocianina (Stringheta, 1991). A Tabela 2 apresenta algumas variações de estruturas de antocianinas e alguns alimentos em que são encontradas.

Tabela 2. Estruturas e características químicas de seis antocianidinas comuns de ocorrência natural.

Antocianinas	R1	R2	R3	Cor	Exemplo de fontes
Cianidina	-OH	-OH	-H	Alaranjado	Maçã, sabugueiro, amora, nectarina, ameixa, pêssego e repolho roxo
Delfinidina	-OH	-OH	-OH	Roxo ou Azul	Uvas, feijões, berinjelas e laranjas
Pelargonidina	-H	-OH	-H	Laranja	Morangos, rabanetes e alguns feijões
Malvidina	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	Roxo	Uvas
Peonidina	-OCH ₃	-OH	-H	Vermelho arroxeadado	Arandos, mirtilos, ameixas, uvas, cerejas e milho roxo
Petunina	-OH	-OH	-OCH ₃	Vermelho escuro ou roxo	Uvas e bagos vermelhos

Adaptado: Mahdavi et al. (2014) com modificações.

A estabilidade das antocianinas é vinculada ao meio no qual se encontram. O tratamento térmico pode ocasionar a perda de sua estabilidade em diferentes níveis, dependendo do tempo e da temperatura de exposição, como também são dependentes, da estrutura química, do pH, da presença de luz e oxigênio, da degradação enzimática e das interações entre componentes dos alimentos (Buckow et al., 2010; Taylor et al., 1989). Além desses fatores, é preciso considerar também o efeito da copigmentação intramolecular, se tratando de antocianinas aciladas (oriundas de ligação de ácidos fenólicos com uma molécula de açúcar), pois estas podem promover – ou seus produtos de degradação podem promover – maior estabilidade frente à mudança de temperatura e/ou pH (Stanquevis, 2013).

Em solução aquosa, as antocianinas se apresentam comumente na forma de uma mistura de diferentes estruturas químicas em equilíbrio: cátion flavilium (vermelho), base anidra quinoideal (azul), pseudobase carbitol (incolor) e chalcona (incolor ou levemente amarela) (Lopes et al., 2007). Em pH ácido, as antocianinas se encontram na forma catiônica (cátio flavilium), possuindo coloração vermelha, e, na forma básica, há uma desprotonação para a forma quinoideal, mudando para a cor azul ou violeta. O cátion flavilium, ao sofrer hidratação (pseudobase incolor), leva ao equilíbrio entre a forma carbitol e chalcona, de cor amarela (Heredia et al., 1998).

2.2 Polímeros: conceitos

Os polímeros são moléculas gigantes (macromoléculas), constituídos pelo encadeamento sequencial de pequenas moléculas chamadas de monômeros, unidos entre si por ligações covalentes, conferindo ao material características, como: tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem atributos principais, como a capacidade de substituírem metais, cerâmicas, matérias de origem natural, para aplicações domésticas, comerciais e até aeroespaciais, além de isolamento elétrico (Pitt et al., 2011).

Os polímeros são divididos em três grupos: os termoplásticos (conhecidos como plásticos), os termofixos e os elastômeros. Os plásticos são aqueles que, quando expostos à pressão e ao calor, sofrem algum tipo de transformação física, porém, não sofrem transformação química (alterações na estrutura molecular). Assim, por causa dessa propriedade, podem ser processados novamente. Os termofixos são aqueles que sofrem transformações tanto físicas quanto químicas, não podendo ser utilizados novamente em outros produtos, ou seja, sofrem mudanças irreversíveis. Os elastômeros são polímeros que suportam grandes deformações antes de sua ruptura, pois possuem propriedades “elásticas”, possuindo capacidade de estiramento acentuada, podendo sofrer deformações elásticas e ser reversível (Costa, 2013).

Borschiver et al. (2008) descreve que a produção de polímeros gira em torno de 180 milhões de toneladas por ano, possuindo papel importante na sociedade moderna, sendo responsável pela produção ou coprodução de produtos em diversas áreas: medicina, agricultura, construção civil, eletroeletrônicos. Ademais, os polímeros são amplamente empregados na produção de embalagens, sensores e indicadores na indústria alimentícia.

3 Levantamento de dados recentes: análise da relevância

Momentaneamente, as embalagens que utilizam algum tipo de indicador mostram-se mais viáveis comercialmente e, assim, o interesse nesse assunto, por parte das indústrias e de pesquisadores, tem aumentado (Vanderroost et al., 2014). Por esse motivo, indicadores de pH foram desenvolvidos em diferentes bases poliméricas, incorporados com antocianinas ou seus extratos, e vêm ganhando espaço no mundo científico devido às suas propriedades colorimétricas. Alguns exemplos recentes são:

- Antocianinas de *Clitoria ternatea* foram incorporadas em base polimérica de amido com nanotubos de carbono, para monitoramento de deterioração da carne de porco (Koshy et al., 2021);
- Desenvolvimento de filmes sensíveis ao pH utilizando carboximetil celulose com antocianinas de amora (*Morus nigra* L.), para melhoramento da vida útil de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) (Sganzerla et al., 2021);
- Filmes indicadores de alteração de cores responsivos ao pH baseados em nanofibra de metilcelulose/chitosan e antocianinas de barberry, para monitoramento em tempo real do frescor da carne (Alizadeh-Sani et al., 2021);
- As antocianinas sensíveis ao pH, encontradas na batata roxa ou roselle, foram incorporadas em matrizes de quitosana e polivinil álcool com nanopartículas de óxido de zinco, para produção de filmes inteligentes (Liu et al., 2021).

Para a análise completa da relevância do tema no meio acadêmico, foi realizado um apuramento das publicações especializadas no periódico da CAPES nos últimos cinco anos, tendo sido encontradas 60 publicações, sendo que todas correspondiam a artigos científicos. Para detectar o nível de desenvolvimento e de inovação tecnológica, foi feito o monitoramento das patentes concedidas pelo *United States Patent and Trademark Office* (USPTO), que ilustra o quadro internacional, e das patentes depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), para uma referência das atividades tecnológicas no Brasil, considerando o tema da revisão, utilizando a busca avançada na base de dados, com as seguintes palavras, combinadas ou não: “embalagens inteligentes”, “alteração colorimétrica”, “polímeros biodegradáveis”, “antocianinas”, “filmes”, “indicadores” e “pH”, não foi encontrada nenhuma patente depositada.

Considerando a organização do conhecimento científico, em classificação representativa que corresponde a todo o tipo de compreensão por área, a Tabela 3 expõe o ranking de áreas do conhecimento com maior número de publicações.

Tabela 3. Ranking de áreas do conhecimento.

Artigos científicos	Total
Classificação por área do Conhecimento	
Food Science	20
Food Technology	12
Food Engineering	7
Chemistry	21

Adaptado: CAPES (2021) com modificações.

Foi observada a prevalência de artigos científicos relacionados à área de Química e Ciência de Alimentos e Tecnologia de Alimentos, e, em menor escala, os artigos publicados na área de Engenharia. Do ponto de vista tecnológico e de inovação, constata-se que nenhuma patente foi desenvolvida, indicando, portanto, tratar-se de uma tecnologia emergente, que é capaz de fomentar o estabelecimento de novos processos e proporcionar o desenvolvimento de novos ganhos na área de economia mundial.

4 Conclusão

Cada vez mais os consumidores optam por alimentos com alta qualidade, além de praticidade, visto que há mudanças no tempo, nos hábitos e nas preferências, demandando que as indústrias de alimentos e embalagens se adequem ao novo estilo de vida. Nesse sentido, processos e recursos tecnológicos vêm ganhando destaque com a premissa de oferecer qualidade, conveniência e segurança, tanto para consumidores como para empresas. Como visto, as embalagens inteligentes com indicadores colorimétricos apresentam uma grande oportunidade para desenvolver ganhos econômicos consideráveis, diferentes das embalagens tradicionais, uma vez que passam a monitorar de forma eficaz e prática, favorecendo a rápida detecção da deterioração alimentar, além de inspecionar sua vida-de-prateleira.

Não obstante, devem-se considerar as possibilidades de rejeição do seu uso por parte dos consumidores, visto que há resistência e incertezas, posicionamentos que podem ser minimizados pela busca adequada de informação. Outrossim, trata-se de uma diligência crítica frente ao dinamismo das grandes opções de tecnologias emergentes e de suas incertezas, uma diligência referente ao real uso.

Referências

- Alizadeh-Sani, M., Tavassoli, M., Mohammadian, E., Ehsani, A., Khaniki, G. J., Priyadarshi, R., & Rhim, J.-W. (2021). pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 741-750. PMID:33137387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.231>
- Borschiver, S., Almeida, L. F. M., Roitman, T., & Monitoring, M. (2008). Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(3), 256-261. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000300012>
- Braga, L. R., & Silva, F. M. (2017). Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. *Brazilian Journal of Food Research*, 8(4), 170-186. <http://dx.doi.org/10.3895/rebrapa.v8n4.4602>
- Buckow, R., Kastell, A., Terefe, N. S., & Versteeg, C. (2010). Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(18), 10076-10084. <http://dx.doi.org/10.1021/jf1015347>
- Portal de Periódicos CAPES. (2021). Retrieved in 2021, March, 01, from <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez35.periodicos.capes.gov.br/>.
- Castro, F., Andrade, M., Sanches Silva, A., Vaz, M. F., & Vilarinho, F. (2018). *Avaliação dos hábitos de consumo e grau de conhecimento sobre embalagens alimentares da população portuguesa* (pp. 31-35). Portugal: Serviço Nacional de Saúde.

- Chatterjee, C., & Sen, A. (2015). Sensitive colorimetric sensors for visual detection of carbon dioxide and sulfur dioxide. *Journal of Materials Chemistry. A, Materials for Energy and Sustainability*, 3(10), 5642-5647. <http://dx.doi.org/10.1039/C4TA06321J>
- Costa, A. C. P. (2013). *Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis – um estudo de caso* (Trabalho de curso). Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília.
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: an extensive review. *Foods*, 9(11), 1628. PMID:33171881. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9111628>
- Etxabide, A., Maté, J. I., & Kilmartin, P. A. (2021). Effect of curcumin, betanin and anthocyanin containing colourants addition on gelatin films properties for intelligent films development. *Food Hydrocolloids*, 115, 106593. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106593>
- Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., & Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 60-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002>
- Ferreira, E., Stringheta, P., & Cano, M. (2007). Stability of anthocyanin in spinach vine (*Basella rubra*) fruits. *Ciencia e Investigación Agraria*, 34(2), 85-90. <http://dx.doi.org/10.7764/rcia.v34i2.389>
- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
- Han, J.-W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J.-P., & Yang, X.-T. (2018). Food packaging: a comprehensive review and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860-877. PMID:33350114. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12343>
- Heredia, F. J., Francia-aricha, E. M., Rivas-gonzalo, J. C., Vicario, I. M., & Santos-buelga, C. (1998). Chromatic characterization of anthocyanins from red grapes—I. pH effect. *Food Chemistry*, 63(4), 491-498. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00051-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00051-X)
- Hong, S.-I., & Park, W.-S. (2000). Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 67-72. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00141-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00141-2)
- Hsia, K. J., Wu, C., & Liu, Q. (2015). Bioinspired smell and taste sensors. In P. Wang, Q. Liu, C. Wu & K. J. Hsia (Eds.), *Bioinspired smell and taste sensors* (pp. 1-328). Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7333-1>
- Kalpana, S., Priyadarshini, S. R., Maria Leena, M., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Intelligent packaging: trends and applications in food systems. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 145-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.008>
- Koshy, R. R., Koshy, J. T., Mary, S. K., Sadanandan, S., Jisha, S., & Pothan, L. A. (2021). Preparation of pH sensitive film based on starch/carbon nano dots incorporating anthocyanin for monitoring spoilage of pork. *Food Control*, 126, 108039. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108039>
- Kuswandi, B., Asih, N. P. N., Pratoko, D. K., Kristiningrum, N., & Moradi, M. (2020). Edible pH sensor based on immobilized red cabbage anthocyanins into bacterial cellulose membrane for intelligent food packaging. *Packaging Technology & Science*, 33(8), 321-332. <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2507>
- Le, X. T., Huynh, M. T., Pham, T. N., Than, V. T., Toan, T. Q., Bach, L. G., & Trung, N. (2019). Optimization of total anthocyanin content, stability and antioxidant evaluation of the anthocyanin extract from Vietnamese *Carissa Carandas* L. fruits. *Processes*, 7(468), 1-15. <https://doi.org/doi:10.3390/pr7070468>
- Liu, J., Huang, J., Ying, Y., Hu, L., & Hu, Y. (2021). pH-sensitive and antibacterial films developed by incorporating anthocyanins extracted from purple potato or roselle into chitosan/polyvinyl alcohol/nano-ZnO matrix: comparative study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 178, 104-112. PMID:33609585. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.115>
- Lopes, T. J., Xavier, M. F., Gabriela, M., Quadri, N., & Quadri, M. B. (2007). Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. *Revista Brasileira de Agrociência*, 13(3), 291-297. <https://doi.org/10.18539/cast.v13i3.1375>
- Luzi, F., Torre, L., Kenny, J., & Puglia, D. (2019). Bio- and fossil-based polymeric blends and nanocomposites for packaging: structure–property relationship. *Materials (Basel)*, 12(3), 471. PMID:30717499. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12030471>
- Ma, Q., Liang, T., Cao, L., & Wang, L. (2018). Intelligent poly (vinyl alcohol)-chitosan nanoparticles-mulberry extracts films capable of monitoring pH variations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 576-584. PMID:29229241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.049>
- Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Assadpoor, E. (2014). Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: a review. *Drying Technology*, 32(5), 509-518. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.839562>
- Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 149-167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>
- Mohebi, E., & Marquez, L. (2015). Intelligent packaging in meat industry: an overview of existing solutions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3947-3964. PMID:26139863. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1588-z>
- Musso, Y. S., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2019). Smart gelatin films prepared using red cabbage (*Brassica oleracea* L.) extracts as solvent. *Food Hydrocolloids*, 89, 674-681. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.036>
- Mustafa, F., & Andreescu, S. (2018). Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods*, 7(10), 168. PMID:30332833. <http://dx.doi.org/10.3390/foods7100168>
- Narancic, T., Verstichel, S., Reddy Chaganti, S., Morales-Gamez, L., Kenny, S. T., De Wilde, B., Babu Padamati, R., & O'Connor, K. E. (2018). Biodegradable plastic blends create new possibilities for end-of-life management of plastics but they are

- not a panacea for plastic pollution. *Environmental Science & Technology*, 52(18), 10441-10452. PMID:30156110. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.8b02963>
- Paschoa, A. S. (2016). *Sensor orgânico, tipo embalagem colorimétrica, para monitoramento de pH de alimentos* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Pitt, F. D., Boing, D., & Barros, A. A. C. (2011). Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. *Revista Unifebe*, 9, 18.
- Poyatos-Racionero, E., Ros-Lis, J. V., Vivancos, J. L., & Martínez-Máñez, R. (2018). Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3398-3409. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.075>
- Rodríguez-Amaya, D. B. (2019). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 124, 200-205. PMID:31466641. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>
- Sani, M. A., Tavassoli, M., Hamishehkar, H., & McClements, D. J. (2021). Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117488. PMID:33436248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117488>
- Sganzerla, W. G., Pereira Ribeiro, C. P., Uliana, N. R., Cassetari Rodrigues, M. B., da Rosa, C. G., Ferrareze, J. P., Veeck, A. P., & Nunes, M. R. (2021). Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101989. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101989>
- Stanquevis, R. (2013). *Otimização de obtenção de um extrato aquoso de milho roxo (Zea mays L.) rico em antocianinas e perfil de degradação*. Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Stringheta, P. C. (1991). *Identificação da estrutura e estudo da estabilidade das antocianinas extraídas da inflorescência de capim gordura (Melinis minutiflora, Pal de Beauv)* (Tese de doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Taylor, P., Francis, F. J., & Markakis, P. C. (1989). Food colorants: anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(4), 273-314. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398909527503>
- Vaikousi, H., Biliaderis, C. G., & Koutsoumanis, K. P. (2009). Applicability of a microbial Time Temperature Indicator (TTI) for monitoring spoilage of modified atmosphere packed minced meat. *International Journal of Food Microbiology*, 133(3), 272-278. PMID:19564058. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.030>
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: the next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009>
- Yung, E. K. N., Lau, P. Y., & Leung, C. W. (2016). Radio frequency identification. *Industrial Communication Systems*, 20(2), 8. <http://dx.doi.org/10.15358/0935-0381-2006-1-51>
- Zhai, X., Li, Z., Zhang, J., Shi, J., Zou, X., Huang, X., Zhang, D., Sun, Y., Yang, Z., Holmes, M., Gong, Y., & Povey, M. (2018). Natural biomaterial-based edible and pH-sensitive films combined with electrochemical writing for intelligent food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(48), 12836-12846. PMID:30450908. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04932>
- Zhang, X., Lu, S., & Chen, X. (2014). Sensors and Actuators B: chemical A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. *Sensors and Actuators. B, Chemical*, 198, 268-273. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.094>
- Zhou, N., Wang, L., You, P., Wang, L., Mu, R., & Pang, J. (2021). Preparation of pH-sensitive food packaging film based on konjac glucomannan and hydroxypropyl methyl cellulose incorporated with mulberry extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 515-523. PMID:33476614. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.047>

Funding: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Received: Feb. 19, 2021; Accepted: July 01, 2021