



Active and intelligent packaging - Principles of operation, characteristics and applications

Nuno Rato - nuno.rato19@gmail.com
Universidade da Beira Interior, Covilhã

Pedro D. Gaspar - dinis@ubi.pt

Universidade da Beira Interior, Covilhã; Centre for Mechanical and Aerospace Science and Technologies (C-MAST), Covilhã

Abstract

Food preservation is a topic increasingly being discussed due to market needs, where food from all over the world is required under the best chemical and physical conditions, with minimal waste. Active packaging is defined as the deliberate addition of some components to enhance the properties of the packaging. The various types of active packaging are oxygen scavengers, carbon dioxide emitters and absorbers, ethylene absorbers, ethanol emitters, moisture absorbers, and antimicrobial agents. Smart packaging includes indicators that provide information on product quality and safety over time, such as packaging history, inside and outside atmosphere, oxygen levels, among others. Given the demands on food safety and quality as well as product traceability, there is an exponential increase in the development, production and use of active and intelligent packaging.

Keywords

Active packaging, Intelligent packaging, Compound absorbers, Compound emitters

Embalagens ativas e inteligentes - Princípios de funcionamento, características e aplicações

1. Introdução

As embalagens tradicionais cumprem as necessidades básicas de contenção. Contudo, os avanços nas embalagens são cada vez mais antecipados e esperados, por causa da grande procura global de alimentos de todos os tipos. O principal objetivo das embalagens é proteger os alimentos contra contaminação microbiana e química, oxigénio, vapor de água e luz. Portanto, o tipo de embalagem usado tem um papel muito importante na determinação do prazo de validade de um alimento [1].

2. Embalagens ativas

O termo “embalagens ativas” refere-se a uma série de tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para melhorar as características sensoriais, evitar as deteriorações químicas e microbiológicas e garantir a segurança dos alimentos, inibindo o crescimento de microrganismos patogénicos. As embalagens ativas são divididas em duas categorias. A primeira refere-se aos absorventes ou captadores. Nesse caso, são removidos do produto agentes indesejáveis, como oxigénio, dióxido de carbono, etileno e água em excesso. A segunda categoria está relacionada com sistemas de libertação, que adicionam ativamente ou emitem compostos para os alimentos embalados [2]. Na Tabela 1, encontram-se expostos vários sistemas de embalagens ativas [3].

Tabela 1-Vários sistemas de embalagens ativas

Sistema de embalagem ativa	Alguns métodos	Alimentos
Absorvente de oxigénio	Oxidação de sais de ferro e ferro Oxidação de ácido ascórbico	Pão, bolos, biscoitos, massa, queijo
Absorvente/emissor de CO ₂	óxido de cálcio dióxido de carbono	Café, carne e peixe fresco, bolos
Absorvente/emissor de etileno	Permanganato de potássio Etileno em cápsulas	Fruta, vegetais, bolos, pão, biscoitos, peixe
Antimicrobianos	Dióxido de carbono Etanol Nanopartículas de prata	Cereais, carne, peixe, pão, queijo, fruta e vegetais
Absorvente de humidade	argilas e minerais ativados Gel de sílica	Peixe, carnes, aves, cereais, alimentos secos, sanduíches, frutas e legumes
Auto-aquecimento/auto-arrefecimento	Óxido de cálcio Nitrato de amónio	Comida pronta e bebidas

2.1. Absorvente de oxigénio

Níveis elevados de oxigénio reduzem o valor nutricional dos alimentos e também reduzem o seu tempo de vida. Oxigénio que esteja retido, vai acelerar a deterioração dos produtos alimentares (carne, leite, especiarias), e incentivar ao crescimento microbiano [4].

Os eliminadores de oxigénio reduzem e ativamente controlam os níveis residuais de oxigénio dentro da embalagem. Em alguns casos é <0.01%, o que é impossível com outros sistemas de empacotamento. Os absorventes de O₂ tem as seguintes vantagens [5]:

- Previnem a oxidação, isto é, a rancificação de gorduras, aparecimento de odores desagradáveis, perda ou alteração da cor e perda de nutrientes sensíveis ao oxigénio;
- Previnem o crescimento microrganismos aeróbicos;
- Redução da quantidade de conservantes e antioxidantes nos alimentos;
- Alternativa eficiente e económica para o uso de atmosfera modificada e embalagem a vácuo;

- Abrace o metabolismo da comida.

O mecanismo de eliminação pode passar pela oxidação de sais ferrosos e ferro. Trata-se do método mais usado e mais eficiente. A reação é explicada pela Equação 1:



O sistema baseia-se na oxidação de ferro e sais ferrosos (que estarão colocados na embalagem) que vão reagir com a humidade (presente nos alimentos) e por fim reagirá com os vestígios de oxigénio, dando origem a hidróxido de ferro (III).

Outro método reside na oxidação de ácido ascórbico, cuja reação é explicada pela Figura 1:

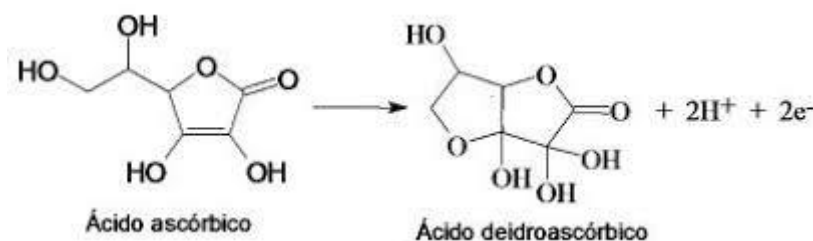


Fig.1 - Expressão química da reação oxidativa entre o ácido ascórbico e oxigénio Retirado de [15].

Este método baseia-se na interação de oxidação entre o ácido ascórbico com o oxigénio, que vai dar origem a ácido deidroascórbico presente em pequenos sacos.

2.2. Absorvente e emissor de dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂) suprime a atividade microbiana, assim sendo, níveis relativamente altos de CO₂ (60 a 80%) inibem o crescimento microbiano. Portanto, uma abordagem complementar à eliminação de O₂ é a impregnação de uma estrutura de embalagem com um sistema de geração de CO₂ ou a adição da última na forma de uma saqueta. Como a permeabilidade do CO₂ é 3 a 5 vezes maior que a do O₂ na maioria dos filmes plásticos, ele deve ser continuamente produzido para manter a concentração desejada dentro da embalagem. Altos níveis de CO₂ causam mudanças no sabor dos produtos, por isso, alguns sistemas de embalagem de preservação de alimentos são projetados para remover dióxido de carbono [1].

Por um lado, usando o óxido de cálcio como absorvente do dióxido de carbono, decorre da reação química dada pela Equação 2:



O dióxido de carbono reage com o óxido de cálcio (cal) e vai formar carbonato de cálcio, por outras palavras, calcário.

Por outro lado, a emissão de dióxido de carbono é uma das técnicas utilizadas para a extensão da vida útil de produtos frescos, nomeadamente, carne e peixe. Nesta reação, a adição de dióxido de carbono forma o ácido carbónico, conforme exposto na Equação 3:



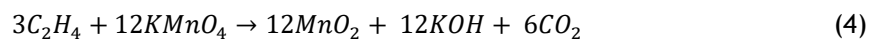
O dióxido de carbono ao entrar em contato com a humidade do produto, convertendo-se em ácido carbónico. Este composto vai acidificar o meio, reduzindo a taxa de crescimento bacteriano e impedindo que ocorra o colapso da embalagem.

2.3. Absorvente e emissor de etileno

O etileno (C₂H₄) é uma hormona vegetal que vai provocar o amadurecimento, amolecimento, degradação das clorofilas e degradação de frutas e legumes, pós colheita. Apesar de todos os aspetos positivos, em muitos casos, é importante a remoção do C₂H₄, a fim de ter um mais período de vida pós colheita [6].

A utilização de sacos que contenham mecanismos de emissão de etileno é um método que permite estender o prazo de validade de produtos de panificação e confeitaria. Altos níveis de água propiciam o crescimento de fungos, leveduras e bactérias. A difusão de etanol, no interior da embalagem, inibe o crescimento microbiano [1].

Um dos principais mecanismos de remoção C₂H₄ baseia-se na utilização do permanganato de potássio (KMnO₄), dada pela reação exposta na Equação 4:



O KMnO₄ vai oxidar com o C₂H₄ em CO₂ e H₂O [1]. Aquando a oxidação, o permanganato muda de cor púrpura para castanho, e assim, indica a sua capacidade residual de absorção de etileno. Devido à sua toxicidade, o permanganato de potássio não pode ser usado em contato direto com alimentos, por isso são usadas saquetas, tecidos colocados sob o produto ou impregnado no filme [1].

Aquando do contato do etileno com a humidade presente nos alimentos, é libertado etanol ou álcool etílico, como demonstra a Equação 5 [1]:



2.4 Antimicrobianos

As embalagens antimicrobianas incluem sistemas com a inclusão de um saco na embalagem destinado à dispersão de agentes bioativos. Agentes com propriedades antimicrobianas (etanol, dióxido de carbono, nanopartículas de prata, dióxido de enxofre/SO₂) estão a ser utilizados com a finalidade de inibir o crescimento de microrganismos [7].

As nanopartículas de prata tem uma estabilidade muito grande a altas temperaturas e baixa volatilidade. À nano escala são um eficaz antifúngico e antimicrobiano.

Outra solução pode ser constituída por um emissor de dióxido de enxofre. A humidade originada pela respiração da fruta é absorvida pelo sistema ativo (Controlled Release Packaging - CRP). De seguida ocorrerá a libertação do dióxido de enxofre, que pode ser por: Fase rápida: em que o dióxido de enxofre é libertado todo de uma vez, com o fim de obter um controlo imediato sobre a qualidade da fruta; ou por fase lenta, em que o dióxido de enxofre é libertado faseadamente, de modo a que seja possível o controlo de doenças durante o tempo em que o produto está embalado.

2.5. Eliminação de humidade

O excesso de humidade é uma das principais causas de deterioração de alimentos. Assim, absorver a humidade usando vários tipos absorvedores é muito importante na manutenção da qualidade dos alimentos e no prolongamento da sua vida útil, inibindo o crescimento microbiano e a degradação da textura e do sabor [1]. Um dos métodos mais utilizados para a eliminação de humidade consiste na utilização de argila, peneira molecular e formas de sílica gel, que absorvem a humidade que entra ou permanece numa embalagem. Provavelmente, os absorventes internos de humidade mais conhecidos são os de gel de sílica, que podem absorver até 35% de seu próprio peso em água.

2.6. Auto-aquecimento/auto-arrefecimento

As embalagens com aquecimento e arrefecimento vem proporcionar a acessibilidade em aquecer e arrefecer os produtos alimentares, que estão impregnados na embalagem. Os métodos de auto-aquecimento podem ser baseados na utilização de óxido de cálcio. Através de uma reação exotérmica, ou seja, libertação de calor por parte da reação do óxido de cálcio com água, vai ocorrer a formação de hidróxido de cálcio, como dado pela Equação (6).



Assim, o calor produzido durante a reação exotérmica vai provocar o aquecimento do meio dentro da embalagem, sem qualquer recurso a dispositivos eletrónicos.

Os métodos de auto-arrefecimento podem ser baseados na utilização de nitrato de amónio. Através de uma reação endotérmica, ou seja, absorção de calor do meio dentro da embalagem por parte da reação do nitrato de amoníaco com água, vai originar nitrato de amoníaco aquoso, como exposto na Figura 2.

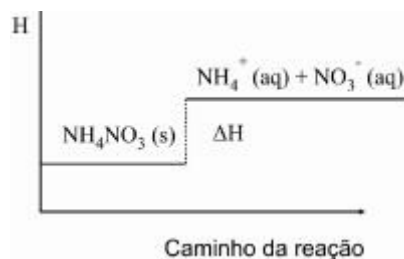


Fig.2 - Ilustração da absorção do calor para obter o resultado final da reação química. Retirado de [16].

Assim, com a absorção de energia, em forma de calor, para ocorrer a reação, vai tornar o meio dentro da embalagem mais frio. Porém, toda a reação deve ser realizada fora do ambiente de conservação do produto, pois apresenta uma variedade de riscos. Por ser oxidante, pode interagir com outros produtos, pelo que deve ser evitado ser confinado e aquecido. Quando exposto a altas temperaturas (apesar de se pretender ter os produtos a baixa temperatura), devido à decomposição, pode liberar amoníaco e gases nitrosos tóxicos. Ao ser muito solúvel em água, torna os produtos impróprios para consumo. Assim sendo, cuidado extremo deve ser tomado, assumindo estanquicidade total da região da embalagem.

3. Embalagens inteligentes

As embalagens inteligentes estão em contato direto com o produto e contém sensor(es), que monitoriza(m) diversos fatores, como alterações químicas, oscilações de temperatura, e indicadores que informam sobre a qualidade do produto e também sobre mudanças no produto ou no meio que o rodeia, por exemplo, uma mudança de temperatura.

Na prática, um sistema de embalagem inteligente é fabricado incorporando um componente externo e discreto na embalagem final, por ex. filmes bidimensionais ou objetos tridimensionais [10]. O sistema de embalagem inteligente utiliza funções de comunicação ou indicadores para facilitar a tomada de decisões, de modo a melhorar a segurança alimentar. É capaz de realizar funções inteligentes como detetar, gravar e comunicar certos tipos de informação. Por conseguinte, os sistemas de embalagem inteligentes consistem em componentes de hardware, tais como indicadores de temperatura, detetores de gás, indicadores de frescura e / ou de amadurecimento e sistemas de identificação por radiofrequência (RFID). As funções necessárias podem ser implementadas e realizadas através de indicadores e dispositivos sensores para comunicar as informações pertinentes [8].

Sistema de embalagem inteligente é constituído por:



- Indicadores
- Base de dados/ portador de dados
- Sensor

3.1. Indicador

O indicador pode ser definido como o objeto que indica a presença ou ausência de outra substância (por exemplo: oxigénio), ou o grau de reação entre duas ou mais substâncias por meio de mudanças das suas características, especialmente a cor. Nos indicadores engloba-se indicador de temperatura, de frescura e de gás.

3.1.1. Indicador de temperatura

Os alimentos degradam-se mais rapidamente a temperatura mais elevada do que a recomendada. Por isso, é importante o conhecimento da temperatura ao longo do tempo, de modo a saber se o produto alimentar foi comprometido [9].

Um indicador de tempo-temperatura (TTI - *Time-Temperature Indicator*) pode ser definido como um dispositivo simples, que reflete mudanças de temperatura e o seu histórico ao longo do tempo. Quanto maior for a alteração da temperatura, maior será alteração indicada pelo dispositivo, geralmente por alterações de cor. Esta alteração de cor vai refletir o histórico tempo-temperatura do produto [9].

O princípio de funcionamento dos TTI pode ser físico, químico ou biológico. Os princípios físico-químicos podem ser usados como indicadores, baseando-se no ponto de fusão, reação enzimática, polimerização e corrosão. O princípio biológico tem como fundamento a reação enzimática.

Um dos exemplos de indicadores de tempo-temperatura disponíveis comercialmente é o Tag MonitorMark (3M Packaging Systems Division, EUA), fundamentado no ponto de fusão de compostos e na modificação de sua coloração. Consiste numa embalagem de papel absorvente e uma faixa separada por uma camada de filme de poliéster. Incorporados na almofada de papel absorvente estão produtos químicos, geralmente éster de ácido graxo, de ponto de fusão muito específico e um corante azul. O indicador é de abuso, isto significa, não produz resposta a menos que a temperatura predeterminada seja excedida. Assim sendo, cor azul apenas será visível se a temperatura ultrapassar o ponto de fusão do produto químico, que está em sintonia com a temperatura indicada para o produto alimentar. Com o aumento da temperatura acima do limiar do TTI específico, um éster de ácido graxo corado de azul difunde-se através de um pavio poroso (feito de papel absorvente de alta qualidade), dando uma resposta de fácil leitura e entendimento, como demonstra a Figura 3 [10].



Figura 3 - 3M Monitormark. Retirado de [17].

3.1.2 Indicador de frescura

O indicador de frescura difere do indicador de tempo-temperatura, já que o sinal de frescura depende diretamente da qualidade do produto e não do histórico da temperatura. Estes indicadores incluem os rótulos, que ficam em contato com o espaço livre da embalagem. Geralmente, o indicador de frescura tem como função detetar a presença de compostos que

propiciam a atividade microbiológica como o dióxido de carbono, dióxido de enxofre, amoníaco, amina, ácidos orgânicos, etanol, toxinas ou enzimas [9].

O indicador FreshTag® (Cox Recorders, EUA) baseia-se na reação enzimática de amina com aminas oxidase. As aminas são parte integrante dos aminoácidos. As aminas oxidase são enzimas, que por reação de oxidação/redução vão reagir com as aminas retirando-lhes elétrons e conseqüentemente acidificando o meio dentro da embalagem [9]. Assim, com o passar do tempo, o produto alimentar ao degradar-se vai libertar aminas que vão reagir com a oxidase, que vai alterar o pH do meio, tornando o mais ácido, e assim vai provocar a alteração da cor no sistema de amostragem, como ilustra a Figura 4 [11].



Figura 4 - FresTag. Retirado de [18].

3.1.3. Indicador de gás

Os indicadores de concentração de gás, na forma de rótulos, são colocados dentro da embalagem para monitorizar mudanças na atmosfera interna, devido a fenômenos de permeabilização no material de embalagem, metabolismo de microrganismos e reações enzimáticas ou químicas na matriz alimentar. Os indicadores de gás também são usados para avaliar a eficácia de componentes de embalagem ativos (por exemplo, absorvedores de O_2) ou para detetar a ocorrência de fugas. Os indicadores de gás mais conhecidos são usados para verificar as concentrações de oxigénio [8].

O indicador Ageless Eye é fundamentado pela oxidação, de modo a que ocorra uma alteração visível. É utilizado um corante sensível à oxidação-redução, geralmente o Acid Red 52, que é guardado numa embalagem transparente, plástica, e permeável a oxigénio. É adicionado para fornecer uma cor de rosa de fundo ao indicador, indicação que não tem O_2 . Quando existe o contato de O_2 com o corante, este começa a passar de cor de rosa para azul, como demonstra a Figura 5 [12].

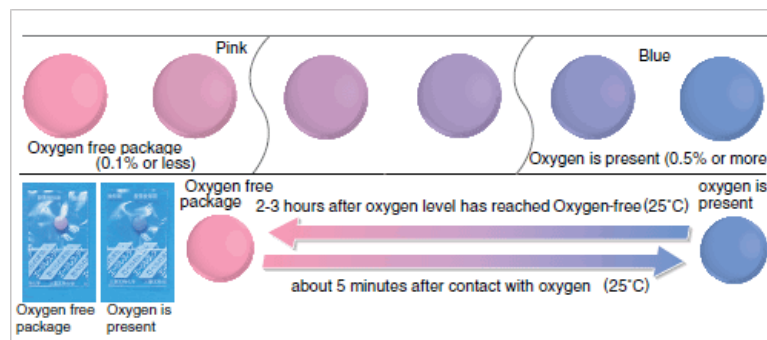


Figura 5 - Indicador Ageless Eye. Retirado de [19].



3.2. Base de Dados

Os dispositivos que armazenam os dados, também conhecidos como dispositivos de identificação automática, tornam o fluxo de informações dentro da cadeia de abastecimento de alimentos mais eficiente, em benefício da qualidade e segurança dos alimentos. Mais especificamente, os dispositivos que armazenam os dados não fornecem qualquer tipo de informação sobre o estado de qualidade dos alimentos, mas sim de localização, previnem possíveis roubos ou protegem contra falsificações. Para garantir isso, os portadores de dados armazenam e transmitem informações sobre armazenamento, distribuição e outros parâmetros. Portanto, são frequentemente colocados em embalagens terciárias [8]. Os dispositivos de identificação automática mais importantes na indústria de embalagens de alimentos são as etiquetas de código de barras e as etiquetas de identificação por radio frequência (RFID), que pertencem à categoria principal de sistemas inteligentes que aumentam a conveniência [12].

3.2.1 Código de barras

Os códigos de barras são baratos, fáceis de usar e são amplamente utilizados para facilitar o controlo da quantidade de produtos existente, o registo de entrada e saída dos produtos das lojas. A informação codificada é lida por um digitalizador de código de barras que envia a informação para um sistema onde é armazenado e processado. Em geral, os códigos de barras podem ser divididos em unidimensionais e bidimensionais, sendo que os diferentes tipos têm capacidades distintas de armazenamento [12].

O código de barras unidimensional (1D), ilustrado na Figura 6a, é um padrão de espaços paralelos e barras dispostos para representar 12 ou 13 dígitos de dados. O arranjo diferente das barras e lacunas resulta na codificação dos dados. Um scanner de código de barras e um sistema associado podem traduzir as informações codificadas [12].

Os códigos de barras bidimensionais (2D), vulgarmente denominado código QR, permitem que uma quantidade maior de informações seja armazenada, em comparação com códigos de barras (1D), combinando pontos e espaços dispostos numa matriz. Isso permite um aumento da densidade de dados num espaço reduzido. Um exemplo de códigos de barras 2D é exposto na Figura 6b [13]. Apesar da sua aplicabilidade à grande maioria de situações, não permitem realizar qualquer rastreabilidade em tempo real do produto.



a)-Código de barras unidimensional. Retirado de [20].



b) Código QR. Retirado de [21].

Figura 6 - Código de barras.

3.2.2. Identificação por rádio frequência

A etiqueta de identificação por rádio frequência (RFID) é um exemplo mais avançado de um dispositivo de transporte de dados do que o código de barras. Duas características distintas da tecnologia RFID, em relação aos códigos de barra, são a grande quantidade de informação que podem ser armazenados na etiqueta e a possibilidade de transferir e comunicar informações melhorando assim a identificação automática do produto e as operações de localização [13].

Num nível simples, os sistemas RFID são compostos por quatro componentes, uma etiqueta RFID ou etiqueta inteligente, um leitor RFID, uma antena e um computador. As etiquetas RFID contêm um circuito integrado e uma antena, que são lidos ou usados para transmitir dados ao

leitor RFID. O leitor então converte as ondas rádio transferindo-as, através de uma interface (middleware) de comunicação, para um computador, onde os dados podem ser armazenados numa base de dados e analisados, posteriormente. Atualmente, a tecnologia RFID inclui dois tipos de etiquetas: etiquetas ativas e passivas. A principal diferença é que as etiquetas ativas dependem de uma bateria, podendo partilhar informação a tempo inteiro, enquanto as etiquetas passivas precisam, que sejam ativadas pelo leitor [13]. Novamente, dada a evolução tecnológica de hoje em dias, existem já soluções baseadas na Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) que possibilitam a rastreabilidade dos produtos por via da comunicação em tempo real e não somente quando requisitada por um leitor.

3.3. Sensor

Um sensor é definido como um dispositivo usado para detetar, localizar ou quantificar a energia ou a matéria, fornecendo um sinal para o dispositivo responde. Existem diferentes tipos de sensores que investigam diferentes parâmetros, por exemplo, os sensores de gás e o biossensores [14].

3.3.1. Biossensor

Um biossensor é um dispositivo analítico utilizado para detetar uma substância, neste caso um agente patogénico e, em seguida, transmitir estes dados numa espécie de sinal que é quantificado. Um sistema inteligente tem como objetivo anexar anticorpos a uma superfície de embalagem de plástico para detetar agentes patogénicos ou toxinas. Se os anticorpos entrarem em contacto com o agente patogénico alvo, o material da embalagem apresenta uma indicação visual para alertar o consumidor.

4. Conclusão

Os produtos alimentares podem ser alojados em diferentes tipos de embalagens, ativas e/ou inteligentes, com o intuito de prolongar, ao máximo, o seu tempo de vida. Por exemplo, em casos de alimentos com muita humidade, como é o exemplo da carne, é necessário inserir absorventes de humidade, dentro da embalagem. Deste modo, as embalagens ativas e inteligentes desempenham funções essenciais na preservação dos produtos alimentares, reduzindo o desperdício de alimentos impedindo a proliferação de agentes patogénicos e detetando se houve qualquer tipo de falha na vedação da embalagem. A partilha de informação sobre o estado dos produtos aos consumidores pode ser fornecida de modo visual ou quantitativo. Estas soluções tecnológicas perspetivam-se ser o próximo avanço na rastreabilidade de produtos e como método de extensão da vida ou de manutenção com reduzidas flutuações dos parâmetros de conservação. Qualquer que seja a função, irá com certeza melhorar a segurança e qualidade alimentar.

Agradecimentos

Este trabalho encontra-se inseridos nas tarefas do projeto Pack2Life - High Performance Packaging, projeto IDT em consórcio n.º 33792, Aviso n.º 03/SI/2017, Ref. POCI-01-0247-FEDER-033792, promovido pelo COMPETE 2020 e co-financiado pelo FEDER e União Europeia no âmbito do Programa Portugal 2020.

Referências

- [1] K. A. Mane, "A Review on Active Packaging: An Innovation in Food Packaging," *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.*, vol. 1, no. 3, pp. 544-549, 2016.

- [2] L. R. Braga and F. M. Silva, "Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias," *Brazilian J. Food Res.*, vol. 8, no. 4, p. 170, 2017.
- [3] A. Mckinnon, "LogForum," *Electron. Sci. J. Logist.*, vol. 6, no. 2, pp. 1-9, 2010.
- [4] M. . Paridah, A. Moradbak, A. . Mohamed, F. abdulwahab taiwo Owolabi, M. Asniza, and S. H. . Abdul Khalid, "We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %," *Intech*, vol. i, no. tourism, p. 13, 2016.
- [5] S. Kaur, D. Puri, B. T. Food, and T. Student, "Active and intelligent packaging : A boon to food packaging," *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 2, no. 4, pp. 15-18, 2017.
- [6] C. Sarantópoulos and L. S. Cofcewicz, "Embalagens Ativas para Produtos Perecíveis," *Cetea*, vol. 28, no. Figura 1, pp. 1-12, 2016.
- [7] K. W. McMillin, "Advancements in meat packaging," *Meat Sci.*, vol. 132, no. April, pp. 153-162, 2017.
- [8] E. Inteligente, "Embalamento ativo e inteligente : Inovações para o futuro," *PACMan-Promot. attractiveness Compet. Int. Agro-fodd Clust. Med Area*, pp. 1-14, 2013.
- [9] L. R. Braga and L. Peres, "Novas tendências em embalagens para alimentos: Revisão," *Bol. Cent. Pesqui. Process. Aliment.*, vol. 28, no. 1, pp. 69-84, 2010.
- [10] A. Pavelková, "Time temperature indicators as devices intelligent packaging," *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.*, vol. 61, no. 1, pp. 245-251, 2013.
- [11] A. Note, "Determination of Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) in fish and shrimps," *BUCHI Labortechnik*, pp. 1-8, 2006.
- [12] A. Mills, "Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 34, no. 12, pp. 1003-1011, 2005.
- [13] P. Müller and M. Schmid, "Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview," *Foods*, vol. 8, no. 1, p. 16, 2019.
- [14] M. Ghaani, C. A. Cozzolino, G. Castelli, and S. Farris, "An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 51, pp. 1-11, 2016.
- [15] G. Motors and W. Europe, "Efeitos da luz pulsada sobre o metabolismo de vitamina C e compostos fenólicos em acerola," no. June, 2016.
- [16] U. Sc *et al.*, "Específica MedQuímica."
- [17] TEMperature Products, Monitor Mark. Disponível em: tiptemp.com/Products/Rising-Time-Temperature-Indicating-Labels/THGSEN006-Temperature-Label-Monitor-Mark-Model-9860C-50F-10C-48Hrs.html. Acesso em 4 de maio de 2019.
- [18] PACKAGING EUROPE, Insignia Wins Award for Innovative Food Labelling Technology. Disponível em: <https://packagingeurope.com/insignia-wins-award-for-innovative-food-labelling-technology/>. Acesso em 5 de maio de 2019.
- [19] Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc., AGELESS EYE, Oxygen Indicator. Disponível em: <https://www.mgc.co.jp/eng/products/sc/ageless-eye.html>. Acesso em 4 de maio de 2019.
- [20] techtudo, Como funciona o código de barras?. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/05/como-funciona-o-codigo-de-barras.html>. Acesso em 4 de maio de 2019.
- [21] techtudo, QR CODE: entenda o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2011/03/um-pequeno-guia-sobre-o-qr-code-uso-e-funcionamento.html>. Acesso em 4 de maio de 2019.