

INOVAÇÕES EM EMBALAGENS PARA ALIMENTOS

por Shanise Lisie Mello El Halal e Rosana Colussi

As funções clássicas das embalagens são conter, proteger e “vender” os alimentos. No entanto, a tecnologia de desenvolvimento de embalagens vem buscando, atualmente, não somente o atendimento das funções clássicas, mas também de interagir com o produto e até mesmo identificar as variações no ambiente interno ou no seu conteúdo e indicar a ocorrência destas alterações. Por meio dessa interação, essas embalagens proporcionam a extensão da vida útil, asseguram a qualidade do alimento e fornecem maiores informações quanto à condição final do produto, quando comparadas às embalagens convencionais.

As embalagens ativas, bioativas e inteligentes representam um grande avanço tecnológico para o setor de alimentos e, a fim de disponibilizar as mesmas para o mercado consumidor, pesquisas relacionadas com o desenvolvimento de embalagens estão sendo realizadas. A Figura 1 apresenta o número de publicações, disponíveis na base de dados *ScienceDirect*, sobre embalagens ativas, bioativas e inteligentes, nos últimos 10 anos.

Embalagens ativas

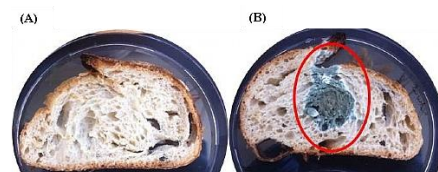
As embalagens ativas são aquelas que interagem de maneira intencional com o alimento, visando melhorar algumas de suas características. Nos EUA, no Japão e na Austrália, o conceito de embalagens ativas está sendo aplicado com sucesso. Na Europa, o desenvolvimento e a aplicação desse tipo de embalagem são ainda limitados. No Brasil, o desenvolvimento envolvendo embalagens ativas ainda está em nível laboratorial.

As técnicas de embalagens ativas são divididas em duas categorias. A primeira categoria é dos absorventes ou captadores, onde os sistemas removem compostos indesejáveis, tais como oxigênio, dióxido de carbono, etileno e água em excesso. A segunda categoria são os sistemas de liberação, que adicionam ativamente ou emitem compostos para os alimentos embalados. São exemplos o dióxido de carbono, os antioxidantes e os conservantes.

A Tabela 1 apresenta os sistemas de embalagens ativas, além dos principais componentes utilizados nestes sistemas e aplicações.

Entre as embalagens ativas, as antimicrobianas têm se destacado nos últimos anos. A embalagem antimicrobiana é um tipo promissor de embalagem ativa que apresenta substância antimicrobiana incorporada e/ou imobilizada no material da embalagem, sendo capaz de eliminar ou inibir microrganismos deterioradores e/ou patogênicos.

Os agentes antimicrobianos podem ser incorporados diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou estar contidos em sachês. Sua adição nos filmes poliméricos pode ser feita de duas maneiras: incorporação e imobilização. No primeiro caso, há liberação do agente antimicrobiano para o alimento, enquanto na imobilização o composto atua somente em nível de superfície (Figura 2).



Fatias de pães inoculadas com fungos, armazenadas (11 dias) em (A) embalagem antimicrobiana (polietileno de baixa densidade + composto antimicrobiano carvacrol) e em (B) embalagem de polietileno de baixa densidade.

Fonte: Shemesh, et al. *RSC Advances*, 2015, 5, 87108-87117.

“As embalagens ativas são consideradas uma tendência mundial”

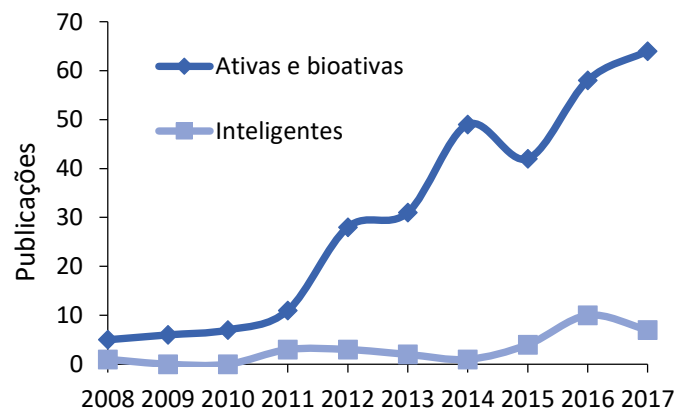


Figura 1. Número de publicações sobre embalagens ativas, bioativas e inteligentes nos últimos anos.

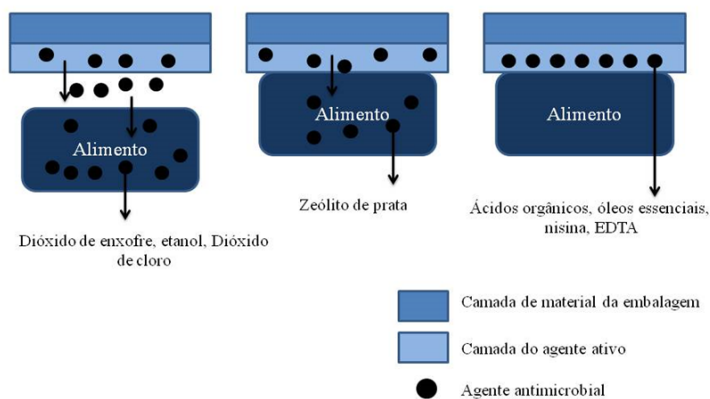


Figura 2. Sistemas de embalagens antimicrobianas.

No Labgrãos, pesquisadores produziram membranas, com complexo de inclusão entre β -ciclodextrina e óleo essencial de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) pela técnica de *electrospinning*. As membranas apresentaram atividade antimicrobiana às bactérias *S. aureus* e *L. monocytogenes*. Os pesquisadores sugeriram a aplicação dessas membranas como embalagens ativas antimicrobianas para produtos de derivados lácteos, como queijo ou até mesmo carnes, pois estas são algumas das bactérias de maior incidência nesses produtos.

Embalagens bioativas

O termo “embalagens bioativas” tem sido utilizado como referência a embalagens que interagem de forma desejável com o alimento e apresentam em sua composição polímeros de origem biológica ou natural. As embalagens bioativas têm um impacto direto na saúde do consumidor, através da geração de alimentos embalados mais saudáveis.

Para obtenção de uma embalagem ativa geralmente utiliza-se processos tecnológicos via técnicas de encapsulamento enzimático, nanoencapsulação, microencapsulação, e de imobilização enzimática. Os processos tecnológicos envolvidos em tecnologias de embalagens bioativas são via (a) utilização de materiais de embalagem biodegradáveis para a liberação de componentes funcionais ou bioativos, (b) encapsulamento de ingredientes biológicos nos materiais de embalagens, e (c) introdução de materiais de embalagem que apresentem atividade enzimática e que sejam capazes de transformar alguns componentes de alimentos para entregar benefícios para a saúde.

Estes novos sistemas de embalagem e atividade funcional possibilitam a inclusão de prebióticos, probióticos, fotoquímicos, óleos marinhos, alimentos sem lactose e vitaminas encapsuladas, que visam proporcionar uma alternativa mais eficiente em fornecer alimentos com segurança e com características benéficas à saúde humana.

Tabela 1. Sistemas de embalagens ativas, com seus respectivos componentes e aplicações.

Sistema de embalagem ativa	Principais componentes	Principais aplicações
Absorvedor de oxigênio	Compostos a base de pó de ferro, ácido ascórbico, sistema enzimáticos, como glicose oxidase e álcool oxidase	Produtos de panificação, café, chá, leite em pó, queijos, produtos cárneos
Absorvedor de umidade	Sílica gel, Propilenoglicol, poli (álcool vinílico), terra diatomácea	Frutas, vegetais, produtos congelados e de panificação
Absorvedor de dióxido de carbono	Hidróxido de cálcio + hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, óxido de cálcio, sílica gel	Café torrado, produtos desidratados
Absorvedor de etileno	Zeólitos, silicatos, bentonitas, carvão ativo	Frutas e hortaliças
Emissor de etanol	Etanol	Produtos de panificação e confeitaria
Liberador antimicrobianos	Sorbatos, benzoatos, propionatos, dióxido de enxofre, dióxido de cloro, extratos de especiarias / ervas, enzimas, nisina, EDTA*, etanol, ozônio, peróxido, antibióticos, zeólito de prata	Produtos cárneos, frutas, hortaliças, produtos de panificação

EDTA : ácido etilenodiamino tetra-acético.

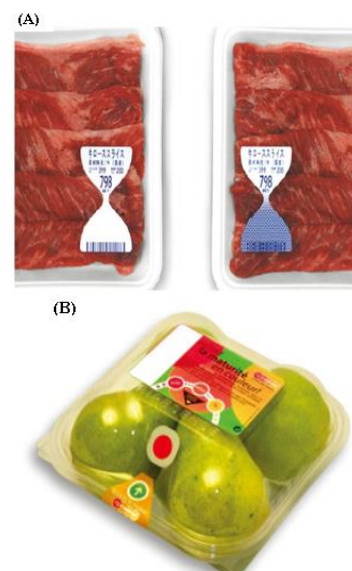
Ainda neste contexto, de fornecer alimentos embalados mais saudáveis, há relatos da imobilização de enzimas específicas, que catalisam reações, produzindo resultados considerados benéficos do ponto de vista nutricional. São exemplos a diminuição da concentração de um constituinte alimentar não-desejado e/ou a produção de uma substância alimentar benéfica para a saúde do consumidor.

Embalagens inteligentes

As embalagens inteligentes podem ser definidas como aquelas que monitoram as condições do alimento acondicionado ou do ambiente externo à embalagem, comunicando-se com o consumidor.

A embalagem inteligente geralmente fornece informações não só sobre o próprio produto (origem, data de validade teórica, composição), mas também informa sobre a história do produto (condições de armazenamento, composição, crescimento microbiano, etc.). As embalagens inteligentes são, portanto, um sistema que fornece ao usuário informações reais sobre as condições do alimento, do ambiente e/ou a integridade da embalagem.

(A) Indicador de frescor que consiste em uma etiqueta que tem sua cor alterada ao reagir com a amônia produzida pela degradação de produtos cárneos. Com a alteração da cor, o código de barras da etiqueta torna-se ilegível ao sistema de escaneamento, impossibilitando a venda. (B) Sensor de maturação que reage com os aromas liberados pela fruta durante o amadurecimento, mudando de cor e permitindo que o consumidor escolha o grau de maturação da fruta de acordo com sua preferência.



A função inteligente pode ser obtida por meio de (a) indicadores, (b) sensores ou (c) identificador por radiofrequência. A Tabela 2 demonstra os sistemas de embalagem inteligente, sua aplicação e eficácia.

Os indicadores de tempo-temperatura vêm sendo utilizados como ferramenta para monitorar o efeito do histórico de temperatura na qualidade de alimentos refrigerados. A temperatura influencia na cinética de deterioração física e química, bem como no crescimento microbiológico em alimentos. Um pequeno incremento na temperatura é capaz de reduzir drasticamente a vida de prateleira de produtos perecíveis.

A deterioração de alimentos aumenta a população microbiana e altera o pH ao longo do período de armazenamento, podendo a variação do pH ser utilizada como indicador de frescor de diversos produtos. Geralmente, os indicadores de pH são compostos por um corante sensível ao pH, preso em um suporte sólido. No Labgrãos foram desenvolvidos filmes indicadores de pH à base de amido de milho e antocianinas de tegumento de feijão preto e repolho roxo, os quais mostraram-se promissores para o desenvolvimento de embalagens inteligentes, em especial como etiquetas indicadoras devido à sua alta solubilidade em água.

Os tipos de aplicação de sistemas indicadores utilizados em embalagens inteligentes, bem como seu princípio, informações dadas e possíveis aplicações estão apresentados na Tabela 3.

“As embalagens inteligentes são aquelas que propiciam informações sobre a qualidade do alimento embalado”

Tabela 2. Sistemas de embalagens inteligentes, com seus respectivos tipo de aplicação e eficácia.

Sistema de embalagem inteligente	Tipo de aplicação	Eficácia
Indicadores	- Indicadores de integridade - Indicadores de frescor - Indicadores Tempo-temperatura	- Fornecer informações sobre qualidade do produto - Rastreamento e controle - Indicações visuais do histórico de temperatura - Exigir qualidade e segurança alimentar
Sensores	- Sensores de gás - Sensores de oxigênio baseado na fluorescência - Biosensor	- Quantificar e monitorar estados de gás - Detectar deterioração ou contaminação microbiana - Detectar e transmitir informações
Identificador por radiofrequência	Etiquetas identificadas por rádio frequência	Identificação e rastreabilidade automáticas do produto

Fonte: Lee, Lee, Choib e Hur, *J Sci Food Agric* 2015, 95: 2799-2810.

Tabela 3. Principais indicadores utilizados em embalagens de alimentos.

Indicadores	Princípio	Informações dadas	Aplicação
Tempo-Temperatura	Mecânica, química, enzimática	Condições de armazenamento	Alimentos armazenados em condições refrigerados e congelados
Oxigênio	Químico	Condições de armazenamento/ruptura da embalagem	Alimentos armazenados em embalagens com concentração de oxigênio reduzida
Dióxido de carbono	Químico	Condições de armazenamento/ruptura da embalagem	Alimentos armazenados em atmosfera modificada ou atmosfera controlada
Frescor	Corantes de pH, Todos corantes que tem capacidade de reagir com determinados metabolitos	Qualidade microbiológica de alimentos	Alimentos perecíveis, como carne, peixes e aves
Patógenos	Vários métodos químicos e de imunológica que reagem com toxinas	Bactérias patogênicas específicas, tais como a <i>Escherichia coli</i> O157	Alimentos perecíveis, como carne, peixe e aves

Fonte: Han, Ho e Rodrigues, *Innovation in Food Packaging* 2005, 138-155.

Os sensores podem ser colocados diretamente no material de embalagem, atuando como “língua eletrônica” ou “nariz” para detecção de substâncias químicas liberadas durante a deterioração dos alimentos. Baseados em nanotecnologia, eles têm o potencial de revolucionar a velocidade e a precisão com que as indústrias ou agências reguladoras serão capazes de detectar a presença de contaminantes moleculares ou adulterantes em matrizes alimentares complexas.

Muitos destes ensaios são baseados em alterações de cor que ocorrem nas soluções de nanopartículas de metal na presença de analitos. Por exemplo, as nanopartículas de ouro (AuNPs), funcionalizadas com grupos de ácido cianúrico, ligam-se seletivamente a melamina, um adulterante usado para aumentar, artificialmente, o teor proteico medido em alimentos para animais e fórmulas para lactentes.

A agregação induzida da melamina com as AuNPs altera a cor do vermelho para o azul, podendo ser usada para medir com precisão o teor de melamina no leite cru e em fórmulas infantis em concentrações baixíssimas.

A tecnologia de identificação pela rádio frequência é composta por um leitor de rádio frequência ligado a um computador. O tag é a parte que coleta de dados em tempo real e, em seguida, os transmite via ondas de rádio.

As etiquetas são compostas por duas partes: um pequeno chip e uma antena. O chip é utilizado para armazenar e processar os dados, enquanto a antena serve para receber e transmitir a informação. Diferentemente do código de barras que tem que ser “escaneado” manualmente e individualmente, as etiquetas identificadas por rádio frequência possibilitam a leitura automática de centenas delas por segundo.

A Figura 3 apresenta o funcionamento de um sistema de identificação pela rádio frequência.

Primeiramente, um código numérico único é atribuído ao objeto, produto ou transferência que está sendo monitorado e é posteriormente armazenado no chip junto a todas as informações relevantes sobre o objeto.

A informação armazenada numa etiqueta identificada por rádio frequência é detectada, lida e registrada por leitores de ondas de rádio frequência, dispostos em diversos estágios da cadeia de suprimentos. A cada leitura torna-se possível acompanhar a evolução do objeto monitorado, bem como sua movimentação.

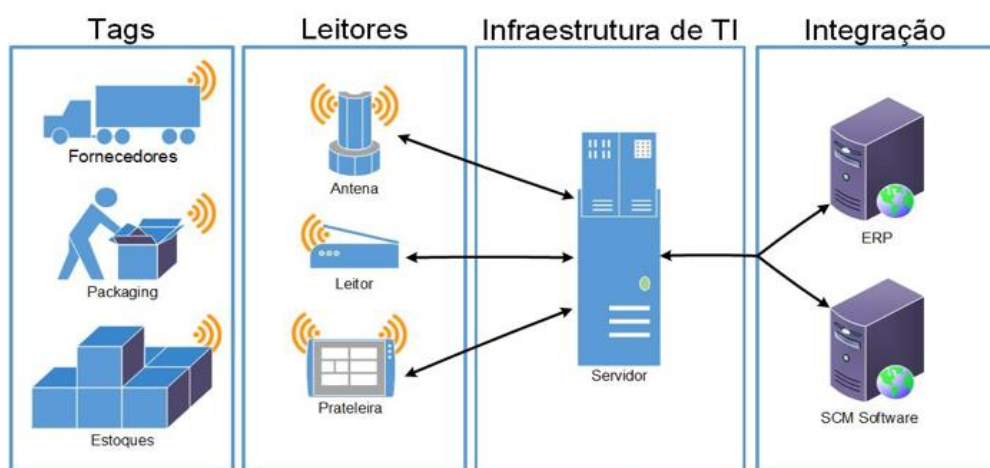


Figura 3. Funcionamento do sistema de identificação pela rádio frequência.
Fonte: Haddad, Rizzotto e Uriona, *Espacios* 2015, 37,19.



Dra. Shanise Lisie Melo El Halal
Pós-Doutoranda no Labgrãos
shanisemell@hotmail.com



Dra. Rosana Colussi
Pós-Doutoranda no Labgrãos
rosana_colussi@yahoo.com.br