

## Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos

*Nilda de Fátima Ferreira Soares<sup>1</sup>, Washington Azevêdo da Silva, Ana Clarissa dos Santos Pires, Geany Peruch Camilloto, Paula Santiago Silva*

### RESUMO

As embalagens exercem papel importante na conservação de alimentos. No entanto, as embalagens tradicionais necessitam de melhorias para estender a vida de prateleira dos produtos alimentícios e atender à demanda dos consumidores por produtos seguros, saudáveis, mais próximos ao natural e com menos conservantes. Atualmente, novas tecnologias têm surgido visando melhorar e, ou monitorar a qualidade dos produtos. As embalagens ativas vem sendo utilizadas para aumentar a vida de prateleira, melhorar as características sensoriais, evitar as deteriorações química e microbiológica e garantir a segurança dos alimentos, inibindo o crescimento de microrganismos patogênicos. As embalagens inteligentes também são tecnologias inovadoras que monitoram a qualidade e segurança dos alimentos. O objetivo desta revisão é definir e descrever diferentes tipos e aplicações de embalagens ativas e inteligentes na indústria alimentícia. Dentre os desenvolvimentos em embalagens ativas, merecem destaque os filmes, revestimentos e sachês antimicrobianos e antioxidantes e os filmes aromáticos. Já as embalagens inteligentes são divididas em dois grupos principais, carreadoras de dados, onde estão inseridos o código de barras e as etiquetas por identificação de frequência de rádio (RFID), e indicadoras, que incluem os sensores de tempo-temperatura, gases, toxinas e microrganismos. Conclui-se que as embalagens ativas e inteligentes apresentam potencial de aplicação no mercado de alimentos, visando garantir e, ou monitorar a qualidade e segurança desses produtos.

**Palavras-chave:** embalagens ativas, embalagens inteligentes, qualidade de alimentos, segurança alimentar.

### ABSTRACT

#### New developments and applications in food packaging

Packaging plays an important role in food preservation. However, the traditional packaging does not meet the new consumers' demand for safe, healthy and additive-free products. Recently, new technologies have emerged aiming to improve and/or control food quality. Active food packaging has been used to improve food sensorial features and to extend the food self-life and safety by inhibiting pathogenic and spoilage microorganisms. Intelligent packaging is also an innovative technology which monitors food safety and quality. The aim of this review is to define and describe different types and applications of active and intelligent packaging for food industry. Antimicrobial and antioxidant films, coatings and sachets and aromatic films are the main active packaging systems that have been studied. Intelligent packaging can be divided into two groups, data carrier packaging, such as barcode and radio frequency identification tags and indicator packaging, such as time-temperature, gas, toxins and microorganisms sensors. The conclusion drawn from the review was that active and intelligent packaging show potential for application in the food market, aiming to ensure and/or monitor food safety and quality.

**Key words:** active packaging, intelligent packaging, food quality, food safety.

Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em junho de 2009

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - Departamento de Tecnologia de Alimentos. Av. P. H. Rolfs s/n 36570-000 Viçosa - MG  
E-mail: nfsoares1@gmail.com. Tel: 031 3899-1796.

## INTRODUÇÃO

As embalagens de alimentos são estratégias importantes que podem ser decisivas como vantagem competitiva na indústria de alimentos. Portanto, há constante desafio visando atender às exigências dos consumidores, fornecendo embalagens modernas, práticas, que preservem os alimentos e sejam viáveis ambiental e economicamente.

Embora as embalagens tradicionais tenham contribuído grandemente com os primeiros desenvolvimentos do sistema de distribuição de alimentos, elas não são suficientes para atender às novas exigências dos consumidores por produtos mais próximos ao natural, contendo menos conservantes e que sejam seguros. Além disso, há a preocupação recente com a utilização de alimentos como veículo para o bioterrorismo (Yam *et al.*, 2005). Nesse sentido, atualmente novas tecnologias de embalagens vêm sendo desenvolvidas em resposta a essa demanda (Dainelli *et al.*, 2008).

Várias denominações para as inovações em embalagens podem ser encontradas na literatura. Entretanto, merecem destaque as embalagens ativas e inteligentes. De acordo com Soares (1998), embalagens ativas são aquelas que interagem de maneira intencional com o alimento, visando melhorar algumas de suas características. Enquanto 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 (Han *et al.*, 2005; Yam *et al.*, 2005).

O objetivo da presente revisão é discutir sobre os desenvolvimentos recentes na área de embalagens de alimentos. O artigo enfatizará os diferentes tipos de embalagens ativas e inteligentes.

## EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens ativas têm várias funções adicionais em relação às embalagens passivas, que são limitadas a proteger os alimentos de condições externas. As embalagens ativas alteram as condições do produto, aumentando sua vida de prateleira, segurança e qualidade e, ou melhorando suas características sensoriais (Vermeiren *et al.*, 2002).

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, devido às restrições de legislação, resistência do consumidor, necessidade de conhecimento sobre a efetividade aos impactos econômico e ambiental (Vermeiren *et al.*, 1999). No Brasil, o desenvolvimento envolvendo embalagens ativas ainda está em nível laboratorial. O laboratório de embalagens da UFV vem desenvolvendo vários projetos de pesquisa nas referidas áreas.

Alguns sistemas de embalagens ativas já foram desenvolvidos e encontram aplicação em produtos disponíveis no mercado. As principais técnicas em embalagens ativas dizem respeito a substâncias que absorvem oxigênio, etileno, umidade e odor, e aquelas que emitem dióxido de carbono, agentes antimicrobianos, antioxidantes e aromas (Vermeiren *et al.*, 1999). Essas técnicas consistem na incorporação e, ou imobilização de certos aditivos à embalagem em vez da incorporação direta no produto (Kerry *et al.*, 2006).

## EMBALAGENS ANTIMICROBIANAS

A crescente preocupação com a qualidade microbiológica dos alimentos tem aumentado o interesse pelos filmes antimicrobianos. A embalagem antimicrobiana é um tipo promissor de embalagem ativa que apresenta substância antimicrobiana incorporada e, ou imobilizada no material da embalagem e é capaz de eliminar ou inibir microrganismos deterioradores e, ou patogênicos. O princípio básico de atuação dessa embalagem é a adição de uma barreira extra (microbiológica) às barreiras físicas (oxigênio e umidade) (Han, 2003).

Os agentes antimicrobianos podem ser incorporados diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou estar contidos em sachês (Oliveira & Oliveira, 2004). 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 (Han, 2005).

O uso de embalagens contendo agentes antimicrobianos tem como vantagem a difusão desses compostos da embalagem para a superfície do alimento de maneira controlada. Com isso, estão presentes em menores quantidades, atendendo a uma demanda atual do consumidor, que é a busca por alimentos livres de conservantes, e apenas onde sua presença é requerida, ou seja, especialmente na superfície do produto, onde a maior parte das deteriorações ocorre. Quando o antimicrobiano é liberado da embalagem ao longo do tempo, a cinética de crescimento microbiano e a atividade antimicrobiana na superfície do produto podem ser equilibradas. Dessa forma, a atividade antimicrobiana da embalagem pode ser estendida, garantindo a segurança durante a distribuição dos alimentos (Appendini & Hotchkiss, 1997; Quintavalla & Vicini, 2002, Oliveira & Oliveira, 2004).

Outra vantagem dos sistemas de embalagens ativas está relacionada ao fato de alguns agentes antimicrobianos adicionados ao alimento perder parcialmente sua atividade, em virtude da composição do produto e, portanto, de seu efeito na superfície do alimento ser limitado. Dessa forma, a utilização de embalagens ativas pode assegurar

melhor eficácia do composto bactericida ou bacteriostático, por apresentar difusão lenta do agente da embalagem para o alimento, auxiliando na manutenção de concentrações mais altas na superfície do produto (Quintavalla & Vicini, 2002).

Alguns fatores podem afetar a efetividade da embalagem antimicrobiana, como as características do antimicrobiano (solubilidade e tamanho da molécula) e do alimento, condições de estocagem e distribuição (tempo e temperatura), método de preparo do filme (extrusão ou *casting*) e interação entre antimicrobiano e polímero (Dawson *et al.*, 2003; Cha *et al.*, 2004).

Diversos estudos têm demonstrado eficiência e aplicabilidade das embalagens ativas antimicrobianas.

Santiago-Silva *et al.* (2009) avaliaram a eficiência antimicrobiana de filmes incorporados com pediocina (ALTA 2551) na preservação de presunto fatiado. Os filmes foram testados contra *Listeria innocua* e *Salmonella choleraesuis* e mostraram-se mais eficientes na inibição de *L. innocua*, tendo reduzido o seu crescimento em até dois ciclos logarítmicos em relação ao tratamento controle após 15 dias de estocagem.

Sachê antimicrobiano contendo alil-isotiocinato inibiu o crescimento de fungos filamentosos e leveduras e *Staphylococcus aureus* em queijo mussarela fatiado por 12 dias de estocagem a 10 °C (Pires, 2006). O mesmo sachê também foi capaz de inibir o crescimento de *Aspergillus flavus* em amendoim em grãos (Silva, 2008).

Pires *et al.* (2008b) utilizaram filmes incorporados com nisina e natamicina para aumentar a vida de prateleira de queijo mussarela fatiado e observaram eficácia dos filmes principalmente sobre fungos filamentosos e leveduras.

Filmes incorporados com montmorilonita e lactato de sódio foram eficientes contra *L. monocytogenes*, reduzindo um ciclo logarítmico em carne bovina fresca após cinco dias de armazenamento a 10 °C (Soares *et al.*, 2007).

Camilloto *et al.* (2007) desenvolveram filme poliolefinico incorporado com triclosan (2,4,4'-triclora-2'-hidroxidifenil-eter) para conservação de presunto fatiado. Os presuntos acondicionados nos filmes antimicrobianos apresentaram redução de 1,5 ciclo logarítmicos para *Escherichia coli* e *S. aureus* em comparação com presunto embalado com filme controle após 12 dias de estocagem.

## EMBALAGENS ANTIOXIDANTES

A oxidação constitui um dos mecanismos mais frequentes de deterioração e redução da vida útil dos alimentos (Vermeiren *et al.*, 1999). Além de alterar o gosto (rancificação) e a qualidade nutritiva (perda de vitaminas e ácidos graxos essenciais) dos alimentos, a oxidação resulta em compostos reativos e tóxicos que representam um perigo para os consumidores (Laguerre *et al.*, 2007).

Uma das tecnologias mais promissoras para preservar alimentos sensíveis à oxidação é as embalagens ativas antioxidantes (Lee, 2005). Esse sistema consiste na incorporação de substâncias antioxidantes em filmes plásticos, papéis ou sachês, de onde serão liberadas para proteger os alimentos da degradação oxidativa, inibindo as reações de oxidação ao reagirem com radicais livres e peróxidos e, conseqüentemente, estendendo a sua vida de prateleira (Vermeiren *et al.*, 1999; Brody *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2004; Tovar *et al.*, 2005; Min & Krochta, 2007).

Essa tecnologia já vem sendo utilizada pela indústria de cereais dos EUA para preservar cereais matinais, produtos nos quais o desenvolvimento de rancidez limita sua vida de prateleira (Labuza & Breene, 1989).

Pesquisas sobre a aplicação de embalagens ativas antioxidantes e o seu efeito sobre a oxidação em alimentos estão disponíveis na literatura. Herald *et al.* (1996) avaliaram o grau de oxidação lipídica de peru cozido embalado em filmes à base de proteína de milho incorporados com butil hidroxianisol (BHA), tendo reportado menores teores deste produto secundário da oxidação nas amostras acondicionadas em presença do antioxidante.

Huang & Weng (1998) prepararam filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD), incorporados com butil hidroxitolueno (BHT), os quais foram avaliados quanto à sua capacidade em inibir a peroxidação lipídica em filé e óleo de peixe em contato com eles. O filme de PEBD incorporado com BHT foi capaz de inibir a oxidação lipídica tanto no filé quanto no óleo.

Wessling *et al.* (2000) avaliaram a habilidade antioxidante de filmes de PEBD impregnados com BHT e  $\alpha$ -tocoferol empregados em embalagens para cereais de aveia. Variações no perfil de voláteis durante a estocagem do produto indicaram que os filmes impregnados com BHT possibilitaram as menores alterações ao longo de 10 dias de estocagem.

Lee *et al.* (2004) produziram um revestimento incorporado com  $\alpha$ -tocoferol, aplicado sobre papel, para utilização como embalagem antioxidante. Os filmes foram testados em uma emulsão modelo e em creme de leite, tendo apresentado resultados positivos na inibição da oxidação lipídica e, portanto, propriedades antioxidantes satisfatórias.

Nerín *et al.* (2006) desenvolveram embalagens ativas, que consistiram de filmes de polipropileno (PP) imobilizados com extrato natural de alecrim e testaram as suas propriedades antioxidantes em mioglobina pura e bifés de carne bovina fresca. Os filmes aumentaram a estabilidade tanto da mioglobina quanto dos bifés contra processos oxidativos, sendo uma maneira promissora de estender a vida de prateleira da carne fresca. O mesmo grupo testou filmes de PP imobilizados com várias substâncias derivadas do alecrim contra compostos oxidáveis como ácido ascórbico, ferro (II) e ácidos graxos, demonstrando a eficácia desses modelos (Nerín *et al.*, 2006).

Salmieri & Lacroix (2006) desenvolveram filmes à base de alginato e policaprolactona incorporados com óleos essenciais de orégano, segurelha e canela e avaliaram as suas propriedades antioxidantes por meio do teste colorimétrico do N,N-dietil-p-fenilenediamina (DPD). Os resultados demonstraram que os filmes à base de orégano exibiram as maiores propriedades antioxidantes.

Além de estudos científicos, atualmente existem muitas patentes sobre o potencial das embalagens antioxidantes (Soares *et al.*, 2009), e algumas idéias já foram inclusive comercializadas.

As embalagens antioxidantes apresentam potencial para aplicações comerciais, entretanto é necessário que elas satisfaçam critérios de segurança alimentar. A difusão dos antioxidantes para os alimentos causa preocupações aos consumidores no que diz respeito à sua segurança (Vermeiren *et al.*, 1999). Por essa razão, existe crescente preferência pelo uso de substâncias naturais (Yanishlieva-Maslarova, 2001). Alguns antioxidantes naturais que podem ser utilizados em embalagens para alimentos incluem ácidos fenólicos (á-tocoferol), ácidos orgânicos (ácido ascórbico), extrato de plantas (alecrim, chá etc.) e poliaminas (espermina e espermidina). As substâncias naturais são normalmente caras, logo o desenvolvimento de novas embalagens ativas empregando quantidades mínimas destes compostos é desejável para aplicações práticas.

## EMBALAGENS AROMÁTICAS

As embalagens aromáticas constituem um tipo de embalagem ativa para alimentos, atrativas no que diz respeito, principalmente, à melhoria da aceitação sensorial dos produtos acondicionados (Huber *et al.*, 2002). Elas são produzidas pela incorporação de aromas voláteis na matriz polimérica (Huber *et al.*, 2002). A característica de volatilidade de uma embalagem aromática é fundamental para a sua aplicação. A volatilidade dos aromas é amplamente dependente do peso molecular desses químicos, a maioria apresentando entre seis e 18 carbonos (Brody *et al.*, 2001).

A incorporação de aromas às embalagens melhora a qualidade organoléptica do produto (Vermeiren *et al.*, 1999). A liberação controlada dos aromas desejáveis dos materiais plásticos aumenta a percepção do sabor dos alimentos (Brody *et al.*, 2001). Logo, os compostos voláteis aromáticos têm sido usados pelas indústrias de alimentos como ferramenta para melhorar o odor e o sabor dos seus produtos, conquistar a preferência dos consumidores e melhorar a imagem da marca (Markarian, 2006).

Outra aplicação das embalagens aromáticas inclui a possibilidade de minimizar um fenômeno denominado “scalping”, ou seja, sorção de aromas dos alimentos pelos materiais poliméricos das embalagens que resultam na

mudança do perfil sensorial. Geralmente, o fenômeno “scalping” é detrimental à qualidade dos alimentos, mas pode ser usado positivamente para seletivamente absorver odores indesejáveis (Vermeiren *et al.*, 1999).

As embalagens aromáticas têm demonstrado possuírem excelentes propriedades para aplicações em produtos de panificação, biscoitos, vegetais frescos, cereais, produtos lácteos e bebidas (Markarian, 2006).

Os estudos sobre a aplicação de embalagens aromáticas em alimentos ainda são escassos na literatura. Pires *et al.* (2008a), objetivando incentivar o consumo de leite fluido, desenvolveram sachês aromáticos, os quais foram incorporados no interior de embalagens de leites integral e desnatado. Os autores avaliaram sensorialmente o novo produto, e os resultados demonstraram maior aceitação para as amostras de leites integral e desnatado com aroma de coco. Ainda, análises microbiológicas e físico-químicas das amostras evidenciaram que o uso da tecnologia não alterou as características do produto. Concluiu-se que os sachês aromáticos têm grande potencial para serem usados em um sistema de embalagem ativa para leite fluido, aumentando a aceitação do produto.

A aromatização de presunto por embalagem ativa foi avaliada por Pereira *et al.* (2008b). Os autores desenvolveram filmes incorporados com aromas de alho, limão e pizza, os quais foram colocados em contato com o presunto, e avaliaram a aceitação global do produto após quatro dias de estocagem. Verificou-se que o presunto acondicionado na embalagem aromatizada com alho teve aceitação similar ao presunto original, podendo ser utilizada para se obter um produto diferenciado, com boa inserção no mercado consumidor.

Silva *et al.* (2008) desenvolveram e avaliaram embalagens incorporadas com diferentes níveis (0, 15, 30 e 45%) de aroma de fumaça para salsicha. Na análise sensorial realizada cinco dias após a embalagem das salsichas nos filmes aromáticos, foi observada maior aceitação do produto, com relação ao atributo sabor, para as amostras com 30 e 45% de aroma de fumaça. Análises microbiológicas mostraram ainda que os filmes inibiram o desenvolvimento da microbiota do produto, sendo a maior atividade detectada nas concentrações de 15 e 30%. Os autores concluíram que a utilização de embalagem ativa aromática possibilita ao mercado consumidor produtos diferenciados e com qualidade.

A aceitação sensorial de manteiga embalada em filmes aromáticos incorporados com óleos essenciais de manjerição, menta e alho foi pesquisada por Medeiros *et al.* (2008). Cem provadores avaliaram o sabor da manteiga aromatizada nos períodos de 15 e 60 dias de armazenamento, utilizando uma escala hedônica de nove pontos. Os autores verificaram que as amostras com aroma de manjerição e alho apresentaram aceitação similar ao con-

trole, produto com ótima aceitação no mercado. Portanto, as manteigas aromatizadas com óleo essencial de manjeriçã e alho apresentam potencial para serem introduzidas no mercado consumidor do produto.

Pereira *et al.* (2008a) desenvolveram uma solução filmogênica ativa, incorporada com café torrado e moído, com e sem adição de aroma de café tradicional, e a aplicaram em pazinhas, que foram avaliadas para consumo de sorvete de base neutra. A pazinha revestida com solução filmogênica adicionada de aroma de café tradicional foi a que apresentou maior média de aceitação entre os consumidores, ficando alocada entre os termos gostei moderadamente e gostei muito. Os resultados apontaram o potencial desse novo produto diante da indústria de gelados.

Filmes laminados ativos incorporados com aromas de tangerina, mamão e banana foram desenvolvidos por Espitia *et al.* (2008) e utilizados para embalar barras de chocolate branco. O produto foi avaliado quanto à aceitação do sabor, e os dados analisados por meio de Mapa de Preferência Interno. Os resultados indicaram que o chocolate embalado com o filme aromático de tangerina apresentou melhor aceitação, similar ao tratamento controle (filme sem aroma). Logo, o filme aromático de tangerina tem potencial de aplicação para obtenção de um produto diferenciado.

## REVESTIMENTOS

Pesquisas com revestimentos à base de biopolímeros como polissacarídeos, proteínas e materiais lipídicos têm aumentado, devido à habilidade em estender a vida útil do alimento. Park (1999) relatou que cera foi usada, pelos chineses, como o primeiro revestimento em frutas nos séculos XII e XIII. Na década de 1930, ceras à base de parafinas ganharam espaço comercialmente e foram utilizadas no revestimento de maçãs e peras. Erbil & Muftugil (1986) citaram que peras revestidas com emulsões parafinadas diminuíram a transmissão de vapor de água e oxigênio, diminuindo a taxa respiratória e, conseqüentemente, prolongando sua vida útil.

Os revestimentos são aplicados sobre a superfície do alimento ou entre os componentes, visando a redução na perda de vapor de água, oxigênio, migração de lipídios e aroma ou para estabilizar os gradientes de atividade de água e assim manter as diferentes propriedades de textura (Giancone *et al.*, 2008).

Pena & Torres (1991) citaram que os revestimentos podem atuar no alimento como carreadores de agentes com função específica como antioxidante, antimicrobiana, corante, aromática, entre outras. Inúmeras pesquisas em todo o mundo têm mostrado o potencial do uso dos revestimentos incorporados com agentes ativos na manutenção e prolongamento da vida útil de alimentos, sendo eles de origem vegetal ou animal.

Ácidos ascórbico, cítrico, caféico e N-acetilcisteína são exemplos de agentes antioxidantes e têm sido incorporados em revestimentos ativos (Soares *et al.*, 2008). Rojas-Graü *et al.* (2008) avaliaram o efeito de revestimentos de alginato de sódio e gelana incorporados com N-acetilcisteína em maçãs cv. 'Fuji' minimamente processadas. A aplicação do revestimento ativo proporcionou ao produto a manutenção da firmeza e cor durante 23 dias a 4 °C.

Suppakul *et al.* (2003) relataram diversos trabalhos com ênfase nas embalagens ativas antimicrobianas, que, segundo os autores, elas são mais importantes do ponto de vista comercial. Os autores citaram que os revestimentos ativos podem atuar no controle do crescimento de microrganismos. Nesse contexto, grande variedade de agentes antimicrobianos, incluindo ácidos orgânicos e seus sais, sulfitos, nitritos, antibióticos, alcoóis, enzimas e compostos naturais como óleos essenciais, bacteriocinas, especialmente nisina, é incorporada em filmes e revestimentos ativos (Natrajan & Sheldon, 2000; Guerra *et al.*, 2005; Pranoto *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2006; Jofré *et al.*, 2008).

Oussalah *et al.* (2004) estudaram o efeito antioxidante de filmes comestíveis à base de proteína do leite contendo OE de orégano e pimenta na preservação de carne bovina. A oxidação lipídica da carne foi avaliada por meio do teste do ácido tiobarbitúrico (TBA), e os resultados demonstraram que os filmes de orégano estabilizaram a oxidação nas amostras testadas.

Sathivel (2005) avaliou o efeito da aplicação de revestimentos de quitosana (1 e 2%) na conservação de filés de salmão. Eles foram mantidos congelados (-20 °C) durante três meses. Em comparação com o tratamento controle, houve diminuição significativa da perda de massa e da oxidação lipídica dos filés. Além disso, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para os valores de cor  $L^*a^*b^*$  dos tratamentos com quitosana.

Min & Krochta (2007) desenvolveram uma película de recobrimento à base de proteína do soro contendo ácido ascórbico para controle da oxidação em amendoim. Os resultados demonstraram que o recobrimento retardou significativamente a oxidação lipídica em amendoins.

Geraldine *et al.* (2008) caracterizaram e avaliaram o efeito de revestimentos comestíveis sobre a qualidade de alho minimamente processado. Os revestimentos foram produzidos à base de ágar-ágar (1%), incorporados ou não de ácido acético (0,2%), e quitosana (0,2%). Após seis dias de armazenamento, a contagem de fungos foi estável ( $10^2$  e  $10^3$  UFC/g) para alho tratado com revestimento de quitosana e ácido acético e apresentou rápido crescimento ( $10^6$  UFC/g) para alho não tratado.

## EMBALAGENS INTELIGENTES

Os sistemas de embalagens inteligentes podem ser compostos por rótulos, etiquetas ou filmes que proporcionam maiores possibilidades de monitoramento da qualidade do alimento acondicionado (Han *et al.*, 2005). Do ponto de vista prático, a embalagem está verdadeiramente em contato com o alimento e, portanto, pode ser considerada a ferramenta mais simples e viável de fornecer informações sobre a qualidade do alimento nela embalado durante as etapas de transporte e acondicionamento. Além disso, o monitoramento do produto por meio da embalagem permite que o consumidor final tenha acesso às reais condições do alimento imediatamente antes do consumo.

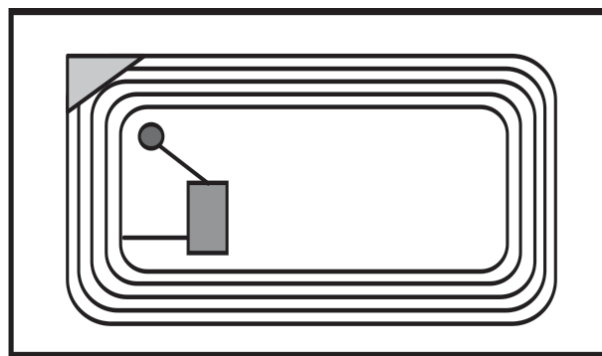
Diferentes tipos de embalagens inteligentes têm sido desenvolvidos. De acordo com Yam *et al.* (2005) essas embalagens podem ser divididas em dois grandes grupos: embalagens carreadoras de dados, onde estão inseridos o código de barras e as etiquetas de identificação por frequência de rádio (RFID), e embalagens indicadoras, merecendo destaque os indicadores do binômio tempo-temperatura, indicadores de gases, como oxigênio e etileno, e os indicadores de microrganismos patogênicos e toxinas.

## EMBALAGENS CARREADORAS DE DADOS

O código de barras inserido nas embalagens tornou-se popular nos diversos mercados. Criado em 1970, vem sendo utilizado com eficiência no controle de dados e estoques de produtos (Manthou & Vlachopoulou, 2001). Recentemente, novos modelos de código de barras, com maior capacidade de armazenar dados, vêm surgindo, o que pode facilitar a associação com embalagens indicadoras, como os indicadores do binômio tempo-temperatura (Yam *et al.*, 2005).

As etiquetas RFID são uma tecnologia emergente para armazenamento de dados, identificação automática de produtos e rastreabilidade (Jedermann *et al.*, 2008; Ustundag & Tanyas, 2009), e vêm sendo utilizadas principalmente no gerenciamento logístico de produtos. O sistema consiste basicamente de um microchip conectado a uma antena fina (Figura 1). Um leitor emite ondas de rádio que capturam os dados armazenados na etiqueta e os transmitem para um computador para análise.

Em relação ao código de barras, a etiqueta RFID possui algumas vantagens, pois não exige contato direto com a leitora e possui maior capacidade de armazenar dados, o que facilita a sua associação com indicadores e biossensores (Want, 2004; Martínez-Sala *et al.*, 2009). Jedermann *et al.* (2008) desenvolveram uma etiqueta RFID capaz de monitorar o transporte refrigera-



**Figura 1.** Desenho esquemático de uma etiqueta de identificação por frequência de rádio - RFID.

do de alimentos perecíveis, visando analisar falhas e pontos críticos. Já Abad *et al.* (2007) desenvolveram uma etiqueta RFID integrada com sensores de gases para aplicação em alimentos. O monitoramento de frutas climatéricas também é possível a partir da integração entre etiquetas RFID e sensores de gases (Vergara *et al.*, 2007).

Nos últimos anos tem aumentado o número de publicações científicas envolvendo o sistema RFID, e espera-se que quanto maior a integração entre as tecnologias de informação e de alimentos, maiores serão os suportes para a manutenção da segurança e qualidade dos alimentos.

## EMBALAGENS INDICADORAS

### *Indicadores do binômio tempo-temperatura*

O controle da temperatura é essencial na produção, no transporte, na estocagem e comercialização de alimentos perecíveis, visando à manutenção da qualidade desses produtos (Nuin *et al.*, 2008). 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.

Os indicadores de tempo-temperatura vêm sendo utilizados como ferramenta para monitorar o efeito do histórico de temperatura na qualidade de alimentos refrigerados (Giannakourou *et al.*, 2005).

Nuim *et al.* (2008) desenvolveram um indicador de tempo-temperatura baseado em transição colorimétrica visando ao monitoramento da qualidade microbiológica de peixe embalado em filme de PVC. Sistemas indicadores de tempo-temperatura também foram utilizados por Tsironi *et al.* (2008) para controlar a qualidade de filés de atum congelados e embalados a vácuo. Além disso, várias patentes relacionadas ao desenvolvimento e à utilização de indicadores de tempo-temperatura integrados com embalagens vêm sendo depositadas, estando algumas tecnologias disponíveis no mercado.

### **Indicadores de gases**

A composição de gases no interior da embalagem também está diretamente relacionada com a qualidade e vida de prateleira dos alimentos. A presença de gases gerados pela respiração de tecidos ou pela transmissão através de materiais de embalagem pode levar à alterações químicas e biológicas, incluindo o desenvolvimento microbiano nos produtos.

No caso de vegetais, a concentração de gases é dependente da taxa de respiração do tecido vegetal, bem como da área superficial e da taxa de transmissão de gases do material de embalagem (Pesis, 2005).

Os indicadores de oxigênio são os mais comuns para aplicação em alimentos, uma vez que esse gás é o principal responsável por reações oxidativas, mudanças de cor e deterioração microbiana (Yam *et al.*, 2005). De acordo com Mills (2005), os sensores de oxigênio ideais devem indicar claramente a presença do gás, não devem acrescentar custos significativos à embalagem, não devem ser tóxicos e, principalmente, o processo de indicação da presença de oxigênio deve ser irreversível.

Atualmente, existem alguns indicadores de oxigênio que já são comercializados, sendo a maior parte em associação com embalagens que usam como princípio o potencial de oxirredução de um corante para a mudança de coloração.

### **Indicadores de microrganismos patogênicos e toxinas**

Perigos microbiológicos podem comprometer a segurança de um alimento em qualquer ponto da cadeia produtiva. O eficiente sistema internacional de distribuição de alimentos, assim como as mudanças nas preferências dos consumidores, também contribuí para a penetração de patógenos emergentes em alimentos tradicionais, bem como de patógenos conhecidos em novos produtos (Hall, 2002).

Atualmente, as tecnologias existentes permitem que as agências de saúde tenham conhecimento sobre o agente causador de um surto de intoxicação e, ou infecção alimentar depois que o problema ocorreu. No entanto, há grande necessidade de prevenir que esses surtos aconteçam (Pires *et al.*, 2009).

Os biossensores têm sido objetos constantes de pesquisas, especialmente relacionadas à detecção de patógenos e toxinas em alimentos, uma vez que a constatação ocorre em tempo real (Lazcka *et al.*, 2007). Biossensor pode ser definido como uma ferramenta que emprega elementos biológicos como enzimas, anticorpos, dentre outros, para a identificação específica de alvos também biológicos. Vários métodos podem ser utilizados para a detecção, e a transição colorimétrica é vista por muitos pesquisadores como a mais conveniente, uma vez que pode ser percebida a olho nu (Lee *et al.*, 2006).

A associação de biossensores com embalagens inteligentes tem sido sugerida (Yam *et al.*, 2005). De acordo com Pires *et al.* (2009), a integração dessas tecnologias é uma área interessante, visto que permite que os próprios consumidores monitorem a qualidade dos alimentos.

Artigos científicos contemplando embalagens biossensores ainda são escassos. Entretanto, algumas inovações vêm sendo desenvolvidas e as patentes depositadas, como Toxin Guard (Ontário, Califórnia, EUA), que incorpora anticorpos em filmes plásticos para detectar patógenos, e o SIRA Technologies (Pasadena, Califórnia, EUA), que consiste em um biossensor acoplado a um código de barras incorporado em embalagens para a detecção de patógenos.

Mais pesquisas são necessárias para garantir a eficiência dos diferentes tipos de embalagens inteligentes. Para que esse desenvolvimento seja possível e eficaz é fundamental a integração de diferentes áreas do conhecimento, como ciência, tecnologia e engenharia de alimentos, química, ciência e engenharia de materiais, nanotecnologia, tecnologia de informação, biotecnologia, dentre outras.

### **CONCLUSÕES**

As embalagens ativas e inteligentes apresentam grande potencial de aplicação no mercado de alimentos, visando garantir a qualidade e a segurança de produtos.

A aplicação de embalagens ativas e, ou inteligentes é possível em diversos alimentos com diferentes finalidades. O estudo aprofundado dos alimentos e das embalagens é necessário para identificar uma combinação favorável entre esses.

A definição de legislação pertinente às embalagens ativas e inteligentes é importante para regulamentar o uso dessas tecnologias, bem como para informar ao consumidor sobre sua aplicação segura.

É importante enfatizar que as embalagens ativas e inteligentes são componentes de um sistema complexo de embalagens. A combinação de tecnologias básicas de processamento e de embalagens ativas e inteligentes é essencial para que ocorra maior segurança dos alimentos e aumento da vida de prateleira dos produtos acondicionados.

### **REFERÊNCIAS**

- Abad E, Zampolli S, Marco S, Scorzoni A, Mazzolai B, Juarros A, Góme D, Elmi I, Cardinali GC, Gómez JM, Palacio F, Cicioni M, Mondini A, Becker T & Sayhan I (2007) Flexible tag microlab development: Gas sensors integration in RFID flexible tags for food logistic. *Sensors and Actuators B*, 127:2-7.
- Appendini P & Hotchkiss JH (1997) Immobilization of lysozyme on food contact polymers as potential antimicrobial films. *Packaging Technology and Science*, 10:271-279.
- Brody AL, Strupinsky ER & Kline LR (2001) Active packaging for food applications. Washington, CRC Press. Boca Raton. 218 p.

- Camilloto GP, Soares NFF, Paula FS & Pires ACS (2007) Desenvolvimento de filme plástico incorporado com triclosan para conservação de presunto fatiado. In: 24º Congresso Nacional de Microbiologia, Brasília. Anais. CD-ROM.
- Cha DS, Cooksey K, Chinnan MS & Park HJ (2004) Release of nisin from various heat-pressed and cast films. *Lebensm-Wiss. u-Technology*, 36:209-213.
- Dainelli D, Gontard N, Syropoulos D, Zondervan-van den Beuken E & Tobback P (2008) Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science and Technology*, 19:103-112.
- Dawson PL, Hirt DE, Rieck JR, Acton JC & Sotthibandhu A (2003) Nisin release from films is affected by both protein type and film-forming method. *Food Research International*, 36:959-968.
- Erbil HY & Muftugil N (1986) Lengthening the postharvest life of peaches by coating with hydrophobic emulsions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 10:269-279.
- Espitia PJP, Soares NFF, Salgado JJ, Hoyos JA, Melom NR & Pereira JMATK (2008) Avaliação de filme ativo aromatizado no acondicionamento de chocolate branco. In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Geraldine RM, Soares NFF, Botrel DA & Gonçalves LA (2008) Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate Polymers*, 72:403-409.
- Giancone T, Torrieri E, Di Pierro P, Mariniello L, Moresi M, Porta R & Masi P (2008) Role of constituents on the network formation of hydrocolloid edible films. *Journal of Food Engineering*, 89:195-2003.
- Giannakourou MC, Koutsoumanis K, Nychas GJE & Taoukis PS (2005) Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. *International Journal of Food Microbiology*, 102:323-336.
- Guerra NP, Macías CL, Agrasar AT & Castro LP (2005) Development of bioactive packaging cellophane using nisaplin as biopreservative agent. *Letters in Applied Microbiology*, 40:106-110.
- Hall RH (2002) Biosensor technologies for detecting microbiological foodborne hazards. *Microbes and Infection*, 4:425-432.
- Han JH (2003) Antimicrobial food packaging. In: Ahvenainen R (Ed.) *Novel food packaging techniques*. Washington, CRC Press. p. 69-89.
- Han JH (2005) Antimicrobial packaging systems. In: Han JH (Ed.) *Innovations in food packaging*. Baltimore, Elsevier Science & Technology Books. p. 80-107.
- Han JH, Ho CHL & Rodrigues ET (2005) Intelligent packaging. In: Han JH (Ed.) *Innovations in food packaging*. Baltimore, Elsevier Science & Technology Books, p. 138-155.
- Herald TJ, Hachmeister KA, Huang S & Bowers JR (1996) Corn zein packaging materials for cooked turkey. *Journal of Food Science*, 61:415-418.
- Huang C.H & Weng Y.M (1998) Inhibition of lipid oxidation in fish muscle by antioxidant incorporated polyethylene film. *Journal of Food Processing and Preservation*, 22:199-209.
- Huber M, Ruiz J & Chastellain F (2002) Off-flavour release from packaging materials and its prevention: a foods company's approach. *Food Additives and Contaminants*, 19:221-228.
- Jedermann R, Ruiz-García L & Lang W (2008) Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65:145-154.
- Jofré A, Aymerich T & Garriga, M (2008) Assessment of the effectiveness of antimicrobial packaging combined with high pressure to control *Salmonella* sp. in cooked ham. *Food Control*, 19:634-638.
- Kerry JP, O'Grady MN & Hogan SA (2006) Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74:113-130.
- Labuza TP & Breene WM (1989) Applications of "active packaging" for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13:1-69.
- Laguerre M, Lecomte J & Villeneuve P (2007) Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, 46:244-282.
- Lazcka O, Del Campo FJ & Munõz FX (2007) Pathogen detection: A perspective of traditional methods and biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 22:1205-1217.
- Lee CH, An DS, Lee SC, Park HJ & Lee DS (2004) A coating for use as an antimicrobial and antioxidative packaging material incorporating nisin and  $\alpha$ -tocopherol. *Journal of Food Engineering*, 62:323-329.
- Lee DS (2005) Packaging containing natural antimicrobial or antioxidant agents. In: Han JH (Ed.) *Innovations in food packaging*. Baltimore, Elsevier Science and Technology Books. p. 108-123.
- Lee NY, Jung YK & Park HG (2006) On-chip colorimetric biosensor based on polydiacetylene (PDA) embedded in photopolymerized poly(ethylene glycol) diacrylate (PEG-DA) hydrogel. *Biochemical Engineering Journal*, 29:103-108.
- Manthou V & Vlachopoulou M (2001) Bar-code technology for inventory and marketing systems: A model for its development and implementation. *International Journal of Production Economics*, 71:157-164.
- Markarian J (2006) Consumer demands push growth in additives for active packaging. *Plastics, Additives and Compounding*, 8:30-33.
- Martínez-Sala AS, Egea-López E, García-Sánchez F & García-Haro J (2009) Tracking of returnable packaging and transport units with active RFID in the grocery supply chain. *Computers in Industry*, 60:161-171.
- Medeiros HS, Húngaro HM, Soares NFF, Gutterres APM, Crespo JMRS, Crespo MS, Pereira JMATK & Melo NR (2008) Avaliação sensorial de manteiga aromatizada por embalagens ativas. In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Mills A (2005) Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. *Chemical Society Reviews*, 34:1003-1011.
- Min S & Krochta JM (2007) Ascorbic acid-containing whey protein film coatings for control of oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55:2964-2969.
- Natrajan N & Sheldon BW (2000) Efficacy of nisin-coated polymer films to inactivate *Salmonella typhimurium* on fresh broiler skin. *Journal of Food Protection*, 63:1189-1196.
- Nerín C, Tovar L, Djenane D, Camo J, Salafraña, J, Beltrán JA & Roncáñez P (2006) Stabilization of beef meat by a new active packaging containing natural antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:7840-7846.
- Nuin M, Alfaro B, Cruz Z, Argarate N, George S, Le Marc Y, Olley J & Pin C (2008) Modelling spoilage of fresh turbot and evaluation of a time-temperature integrator (TTI) label under fluctuating temperature. *International Journal of Food Microbiology*, 127:193-199.
- Oliveira LM & Oliveira PAVLV (2004) Revisão: Principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 7:161-165.



- Oussalah M, Caillet S, Salmière S, Saucier L & Lacroix M (2004) Antimicrobial and antioxidant effects of milk-protein-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52:5598-5605.
- Park HJ (1999) Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in Food Science and Technology*, 10:254-260.
- Pena DCR & Torres JA (1991) Sorbic acid and potassium sorbate permeability of an edible methylcellulose-palmitic acid films: Water activity and pH effects. *Journal of Food Science*, 56:497-499.
- Pereira JMTAK, Soares NFF, Baffa Junior JC, Melo NR, Minim VPR & Mattos JCS (2008a) Desenvolvimento e avaliação de pазinha ativa aromatizada, com café torrado e moído, para uso com sorvete In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Pereira JMTAK, Soares NFF, Oliveira AN, Martins MCP, Oliveira CG, Mattos JCS, Lopez MLS, Espitia PJP & Melo NR (2008b) Aromatização de presunto por embalagem ativa. In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Pesis E (2005) The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology*, 37:1-19.
- Pires ACS (2006) Desenvolvimento e avaliação de filmes e sachê antimicrobianos na conservação de queijo mussarela fatiado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 73 p.
- Pires ACS, Camilloto GP, Soares NFF & Vidigal MCTR (2008a) Desenvolvimento e avaliação de sachê aromático para leite fluido. In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Pires ACS, Soares NFF, Andrade NJ, Silva LHM, Camilloto GP & Bernardes PC (2008b) Development and evaluation of active packaging for sliced mozzarella preservation. *Packaging Technology and Science*, 21:375-383.
- Pires ACS, Soares NFF, Silva LHM, Andrade NJ, Silveira MFA & Carvalho AF (2009) Polydiacetylene as a biosensor: Fundamentals and applications in the food industry. *Food Bioprocess and Technology*. (*in press*).
- Pranoto Y, Salokhe VM & Rakshit SK (2005) Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International*, 38:267-272.
- Quintavalla S & Vicini L (2002) Antimicrobial food in meat industry. *Meat Science*, 62:373-380.
- Rojas-Graü MA, Tapia MS & Martin-Belloso (2008) Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT*, 41:139-147.
- Salmieri S & Lacroix M (2006) Physicochemical properties of alginate/ polycaprolactone-based films containing essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:10205-10214.
- Santiago-Silva P, Soares NFS, Nobrega JE, Junior MAW, Barbosa KBF, Volp ACP, Zerdas ERMA & Wurlitzer NJ (2009) Antimicrobial efficiency of film incorporated with pediocin (ALTA\_ 2351) on preservation of sliced ham. *Food Control*, 20:85-89.
- Sathivel S (2005) Chitosan and protein coatings affect yield, moisture loss, and lipid oxidation of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fillets during frozen storage. *Journal of Food Science*, 70:E454-E459.
- Silva CAS, Soares NFS, Abreu ES, Laureano J, Almeida AS, Melo NR & Pereira JMTAK (2008) Desenvolvimento de embalagem ativa aromatizada para utilização em salsicha. In: 21º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte. Anais. CD-ROM.
- Silva WA (2008) Desenvolvimento e avaliação de embalagens ativas para a melhoria da segurança alimentar de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 64 p.
- Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Huerta-Espino J, Kinyua MG, Wanyera R, Njau P, Ward RW (2006) Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. *CAB Reviews: perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 13p.
- Soares NFF (1998) Bitterness reduction in citrus juice through naringinase immobilized into polymer film. Ph.D. Dissertation. Cornell University, New York, 130 p.
- Soares NFF, Espitia PJP, Pacheco JJR, Bolaños DG, Teheran JED & Villadiego AMD (2007) Desenvolvimento e avaliação de filmes de base celulósica incorporados com nano-compostos e antimicrobianos na carne bovina fresca. In: Anais do 24º Congresso Nacional de Microbiologia, Brasília. Anais. CD-ROM.
- Soares NFF, Pires ACS, Camilloto GP, Santiago-Silva P, Espitia PJP & Silva, WA (2009) Recent patents on active packaging for food application. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture (in press)*. 1:171-178.
- Soares NFF, Silva WA, Silveira MFA, Pires ACS, Medeiros EAA (2008) Conservação de maçã minimamente processada através de revestimento comestível incorporado com ácido ascórbico. In: V Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, Anais...Lavras. V Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, v. 1. p. 119.
- Suppakul S, Miltz J, Sonneveld K & Bigger SW (2003) Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 68:408-413.
- Tovar L, Salafranca J, Sánchez C & Nerín C (2005) Migration studies to assess the safety in use of a new antioxidant active packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:5270-5275.
- Tsironi T, Gogou E, Velliou E & Taoukis PS (2008) Application and validation of the TTI based chill chain management system SMAS (Safety Monitoring and Assurance System) on shelf life optimization of vacuum packed chilled tuna. *International Journal of Food Microbiology*, 128:108-115.
- Ustundag A & Tanyas M (2009) The impacts of Radio Frequency Identification (RFID) technology on supply chain costs. *Transportation Research Part E*, 45:29-38.
- Vergara A, Llobet E, Ramírez JL, Ivanov P, Fonseca L, Zampolli S, Scorzoni A, Becker T, Marco S & Wöllenstein J (2007) An RFID reader with onboard sensing capability for monitoring fruit quality. *Sensors and Actuators B*, 127:143-149.
- Vermeiren L, Devlieghere F & Devereure J (2002) Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. *Food Additives and Contaminants*, 19:163-171.
- Vermeiren L, Devlieghere F, van Beest M & Devereure J (1999) Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 10:77-86.
- Want R (2004) Enabling ubiquitous sensing with RFID. *Computer*, 37:84-86.
- Wessling C, Nielsen T & Giacín JR (2000) Antioxidant ability of BHT- and  $\alpha$ -tocopherol-impregnated LDPE film in packaging of oatmeal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:194-201.
- Yam KL, Takhistov PT & Miltz J (2005) Intelligent Packaging: Concepts and Applications. *Journal of Food Science*, 70:R1-R10.
- Yanishlieva-Maslarova NV (2001) Inhibiting oxidation. In: Pokomy J, Yanishlieva N & Gordon M (Eds.) *Antioxidants in food: Practical applications*. Cambridge, Woodhead Publishing. p. 23-70.