

FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS¹

Alba Manuela Durango Villadiego^{2,3}
Nilda de Fátima Ferreira Soares^{3*}
Nélio José de Andrade³
Rolf Puschmann⁴
Valéria Paula Rodrigues Minim³
Renato Cruz³

RESUMO

Filmes e revestimentos comestíveis são desenvolvidos para interagir favoravelmente com os alimentos, aumentando sua vida de prateleira. Eles têm potencial para reduzir o uso de polímeros sintéticos tradicionais e melhorar a qualidade dos alimentos, controlando a transferência de massa, carreando ingredientes e melhorando a integridade mecânica e as características dos alimentos. Este trabalho discute o uso de filmes e revestimentos comestíveis em alimentos e sumariza as principais pesquisas sobre sua eficácia e seus problemas.

Palavras-chave. filmes e revestimentos comestíveis; preservação de alimentos; biopolímeros; embalagem ativa.

ABSTRACT

EDIBLE FILMS AND COATINGS FOR THE PRESERVATION OF FOOD PRODUCTS

Edible films and coatings from biopolymers have been developed to be used as protective layers and to interact favorably with food products increasing their shelf life.

¹ Aceito para publicação em 24.08.2004.

² Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería, Colômbia.

³ Departamento de Tecnologia de Alimentos. UFV. 36570-000, Viçosa, MG*. E-mail: nfsoares@ufv.br

⁴ Departamento de Biologia Vegetal. UFV. 36570-000, Viçosa, MG

They have the potential to reduce the use of traditional polymeric packaging, and to improve food quality by providing a barrier to mass transfer, carrying food ingredients and/or improving the mechanical integrity or handling characteristics of foods. This review discusses the use of edible films and coatings in food and summarizes research findings on its effectiveness and problems.

Key words: edible films and coatings, food preservation, biopolymers, active packaging.

INTRODUÇÃO

A qualidade de um produto alimentício depende de suas características sensoriais, nutricionais e higiênicas, que mudam durante a estocagem e comercialização. Muitos processos químicos e físicos têm sido desenvolvidos para preservar a qualidade dos alimentos. Contudo, é necessária embalagem adequada para a conservação e comercialização do produto, por ter um papel preponderante na manutenção da qualidade do alimento (21).

O uso de filmes e revestimentos comestíveis vem se tornando tópico de grande interesse, devido ao potencial para evitar a deterioração dos alimentos e pela característica de biodegradabilidade (53). Desta forma, as pesquisas sobre embalagens têm sido enfocadas em filmes e revestimentos comestíveis à base de biopolímeros, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, que são completamente biodegradados, dentro de um período consideravelmente curto de tempo, contribuindo sobremaneira para a diminuição da poluição ambiental (33).

Os filmes e revestimentos comestíveis têm demonstrado ser uma técnica eficaz de preservação de frutas e hortaliças para manter a aparência fresca, a firmeza e o brilho, aumentando, assim, o valor comercial (80).

Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre filmes e revestimentos comestíveis, este trabalho discorrerá sobre os desenvolvimentos e os desafios que se encontram em suas aplicações, especialmente em alimentos com alto conteúdo de umidade.

O conceito de empregar filmes e revestimentos comestíveis em alimentos não é uma novidade. Os filmes comestíveis têm sido usados há muito tempo, por exemplo, o revestimento das salsichas inicialmente era de intestinos de animais (43). Desde o século XII os chineses aplicavam cera nas laranjas e limões, para aumentar a vida de prateleira dessas frutas (36).

O primeiro documento sobre filmes e revestimentos comestíveis apareceu em torno de 1800 (1). A partir de 1930, as ceras de abelha, parafina e carnaúba e os óleos mineral e vegetal foram usados na conservação de frutas. Emulsões de cera e óleo têm sido utilizadas sobre frutas frescas para melhorar a aparência, cor e brilho, controlar o amadurecimento e retardar a perda de água (39).

Cerca de 100 tipos de filmes e revestimentos comestíveis foram patenteados a partir de 1950. Apesar disso, o uso de embalagens comestíveis em alimentos processados, especialmente aqueles que contêm alto conteúdo de umidade, tem recebido pouca atenção (33).

Recentemente, pesquisas neste campo têm-se intensificado, devido a fatores como demanda por alimentos de alta qualidade pelo consumidor, indústrias de alimentos que precisam de novas técnicas de estocagem, conceitos ambientais sobre disposição de matérias renováveis para embalagem e oportunidades para criar novos mercados por meio do uso de resíduos agrícolas (30).

Os filmes e revestimentos comestíveis são definidos por dois princípios. Primeiro, o termo comestível implica em os compostos usados na elaboração da embalagem serem GRAS, sigla em inglês que significa compostos geralmente reconhecidos como seguros pelo FDA (Food and Drug Administration), e processados dentro das Boas Práticas de Fabricação (BPF), estabelecidas para alimentos. Segundo, estes filmes e revestimentos devem ser feitos a partir de um polímero, tipicamente um biopolímero, já que a cadeia longa é necessária para dar certa insolubilidade e estabilidade à matriz da embalagem em meio aquoso (40, 41).

Os filmes e revestimentos comestíveis são apresentados em formas diferentes. Como filme, é uma fina película formada separadamente do alimento e depois aplicada sobre ele. Como revestimento ou cobertura, é uma suspensão ou emulsão aplicada diretamente sobre a superfície do alimento, ocorrendo, após a secagem, a formação de uma fina película sobre o produto (29). O fino recobrimento sobre o produto alimentício age como barreira aos elementos externos, como umidade, óleo, vapor orgânico, protegendo o produto e estendendo a vida de prateleira (33, 41, 43).

Composição dos filmes e revestimentos comestíveis

De acordo com sua composição, os filmes e revestimentos comestíveis podem ser classificados em três categorias.

1ª. Hidrocoloidais - são filmes à base de polissacarídeos ou proteínas. Apresentam baixa permeabilidade ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídeos. No entanto, devido à natureza hidrofílica, têm baixa barreira ao vapor de água (42).

2ª. Lipídicos - são compostos de lipídeos, os quais por sua natureza hidrofóbica, apresentam baixa permeabilidade ao vapor de água (33). Existem muitos lipídeos em forma cristalina, com baixa permeabilidade aos gases e ao vapor de água (42).

3ª. Compostos - são à base de proteínas mais lipídeos ou polissacarídeos mais lipídeos. Podem existir como camadas separadas, ou associados, em que ambos os componentes são adicionados ao filme. Na

atualidade, as pesquisas têm sido focalizadas sobre embalagens compostas, porque combinam as vantagens de cada um dos componentes, reduzindo assim suas desvantagens (42).

A base dos filmes e revestimentos comestíveis são os biopolímeros, como polissacarídeos, proteínas e lipídeos, derivados de várias fontes naturais.

O amido é um dos polissacarídeos mais importantes e abundantes na natureza, e tem sido objeto de numerosas investigações que relatam, dentre outras, sua capacidade de formar revestimentos para aplicação na indústria de alimentos (8). O uso do amido pode ser uma solução interessante para filmes e revestimentos comestíveis, devido a seu baixo custo, alta produção, biodegradabilidade, comestibilidade e fácil manipulação (48).

O amido é obtido em forma granular de fontes renováveis como milho, inhame, mandioca, batata, cereais e legumes. É um material apropriado para uma variedade de usos na indústria (61). Segundo Lawton (45), os filmes, dependendo da fonte do amido, apresentam diferentes propriedades atribuídas ao conteúdo de amilose no amido, que varia entre 18 e 30%. Quanto maior o teor, melhor será o filme formado (61). No entanto, devido ao caráter hidrofílico, os filmes ou revestimentos à base de amido apresentam baixas propriedades de barreira ao vapor de água, mas estratégias estão sendo desenvolvidas para melhorar a estabilidade destes filmes e revestimentos à umidade (61). A adição de plastificantes, como o sorbitol e glicerol, a filmes e revestimentos à base de amido de milho e de batata, com diferentes conteúdos de amilose, melhorou suas propriedades de barreira ao vapor de água. Assim, quanto maior foi a concentração do plastificante nos revestimentos, menor foi a permeabilidade ao vapor de água, apresentando os revestimentos com sorbitol os menores valores de permeabilidade. Os revestimentos contendo maior conteúdo de amilose apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água (26). A adição de óleo de girassol aos revestimentos à base de amido de milho, com diferente conteúdo de amilose, diminuiu significativamente a permeabilidade ao vapor de água; quando foram adicionados lipídeo e plastificante ao mesmo tempo, a permeabilidade foi ainda menor (27).

No Brasil, as principais fontes de amido para a indústria de alimentos são o milho (*Zea mays*) e a mandioca (*Manihot utilissima*). O inhame (*Dioscorea sp*) é considerado como fonte alternativa, por causa de várias propriedades desejáveis de seu amido, como a estabilidade em temperatura alta e pH baixo (2). É uma boa fonte de amido para a produção de filmes e revestimentos comestíveis, porque o seu amido em base seca contém 30% de amilose, e este polissacarídeo no amido é o responsável pela formação dos filmes. Estes, à base de amido de inhame (3,3% p/p de amido e 2% p/p de glicerol), apresentam matriz homogênea, com estrutura estável em condições ambientes e permeabilidade ao vapor

de água de $1,55 \times 10^{-10} \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ a 25°C e 75% de umidade relativa, muito menor que a apresentada por outros filmes comestíveis à base de glúten de trigo/glicerol ($7,0 \times 10^{-10} \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) e hidroxipropil metilcelulose/glicerol ($1,9 \times 10^{-10} \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) na mesma temperatura e umidade relativa (48). Assim, esses filmes têm grande potencial de aplicação na indústria de alimentos, além de serem biodegradáveis.

Outros polissacarídeos usados para a produção de filmes e revestimentos comestíveis são os éteres de celulose, polímeros obtidos pela substituição parcial de grupos hidroxilas na celulose, que são solúveis em água e possuem boas propriedades formadoras de filmes. Entre eles estão a metilcelulose (MC), hidroxipropil celulose (HPC), hidroxipropil metilcelulose (HPMC) e carboximetilcelulose (CMC) (30, 61).

Pesquisas têm sido realizadas utilizando-se a quitosana, que é um polissacarídeo obtido da desacetilação da quitina, que produz filmes claros, consistentes e flexíveis, com boas propriedades de barreira ao oxigênio (43). Os polissacarídeos alginato, pectina, carragenina, pululana, dentre outros, também têm sido muito pesquisados como base para filmes e revestimentos comestíveis.

Dentre as proteínas, são usadas as de origem animal como colágeno, gelatina, caseína, proteínas do soro de queijo, e as de origem vegetal, como a zeína, derivada do milho, a proteína isolada de soja e a proteína do glúten de trigo (29, 43). Esta é composta por duas frações protéicas, a gliadina e a glutenina. A gliadina, solúvel em etanol a 70%, corresponde ao componente viscoso do glúten, enquanto a glutenina, insolúvel em etanol a 70%, contribui para as propriedades elásticas (56).

A zeína é uma proteína de caráter hidrofóbico, devido à elevada concentração de aminoácidos não-polares, como leucina, alanina e prolina. Ela produz filmes com excelentes propriedades de barreira à umidade. Os revestimentos à base de zeína de milho formam cobertura insípida, dura e transparente e apresentam estabilidade em alta umidade e calor, sendo normalmente usados para cobertura de doces, frutas secas, nozes, arroz, sementes e tabletes farmacêuticos. Um benefício adicional da zeína é sua resistência natural ao ataque bacteriano e de alguns insetos (41).

As proteínas solúveis de soja também são usadas em produtos de padaria. Os revestimentos comestíveis nesses produtos freqüentemente são utilizados para dar brilho ou, como impermeabilizantes, em sementes, nozes e grãos inteiros (41).

Pesquisadores vêm usando proteínas do leite, como caseína, e do soro, na elaboração de filmes comestíveis e biodegradáveis. Esta é uma nova aplicação dos ingredientes derivados do leite, fornecendo uma alternativa à indústria de produtos lácteos, ou seja, agregar valor aos resíduos dos laticínios (18, 41). A proteína do leite é composta de 80% de caseína e 20% de proteínas de soro. Estas são obtidas a partir do soro de

queijo e separadas da lactose por ultrafiltração, depois são evaporadas e liofilizadas. As proteínas do soro são formadas por cinco frações: α -Lactoalbumina (α -La), β -Lactoglobulina (β -Lg), albumina sérica bovina (BSA), imunoglobulinas (Ig) e peptona-protease, sendo a β -Lg o componente de maior concentração, representando de 50 a 60% das proteínas. Comercialmente, são produzidas proteínas de soro concentradas (WPC) com 80% de proteína e proteínas isoladas de soro (WPI) com um conteúdo de proteína maior que 90% (18, 50, 71). As proteínas isoladas do soro têm a vantagem de ser muito solúveis em água em uma faixa extensa de pH e produzir filmes brilhantes, flexíveis e com excelentes propriedades de barreira para o oxigênio, aroma e óleos em umidades relativas intermediárias e baixas (41, 55, 71). Filmes comestíveis usando frações individuais da proteína de soro têm sido pouco estudados, devido ao alto custo de purificação e separação. Além disso, pesquisa feita por Mate e Krochta (49), comparando as propriedades dos filmes feitos de proteína isolada de soro e filmes de β -Lactoglobulinas, mostra que não existem entre eles diferenças significativas ($P < 0,01$) na permeabilidade ao vapor de água e oxigênio.

Outras proteínas de origem animal, como gelatina e colágeno, têm sido utilizadas para produzir filmes comestíveis. A albumina de ovo é eficiente para dar brilho a produtos de padaria (41).

Dentre os lipídeos estão as ceras de abelha, parafina e carnaúba, e os óleos mineral e vegetal, glicerídeos e acetilglicerídeos (30).

Alguns componentes são importantes na formação dos filmes e revestimentos, como os plastificantes, que são substâncias não-voláteis com alto ponto de fusão que, quando adicionadas a outro material, mudam suas propriedades físicas e, ou, mecânicas (15). Em filmes e revestimentos comestíveis, os plastificantes mais usados são o glicerol e o sorbitol, que atuam nas pontes de hidrogênio, reduzindo as forças intermoleculares ao longo das cadeias do polímero, melhorando na embalagem suas propriedades mecânicas, como flexibilidade, força e resistência (40, 51). McHugh et al. (52) examinaram o efeito do glicerol e sorbitol em filmes à base de proteína isolada de soro e constataram que esses plastificantes reduzem as pontes de hidrogênio internas, aumentando, assim, a flexibilidade e permeabilidade ao vapor de água. Na mesma condição de concentração de plastificante e umidade relativa, os filmes com sorbitol apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água do que os com glicerol.

Métodos de fabricação de filmes e revestimentos comestíveis

A composição dos filmes e revestimentos deve conter substâncias que formem uma matriz resistente e que tenha capacidade de adesão às

superfícies dos alimentos. Essas substâncias são capazes de formar uma estrutura contínua por ajuste das interações entre as moléculas submetidas a um tratamento químico ou físico (21). A formação de filmes e revestimentos comestíveis pode envolver um dos seguintes mecanismos:

1) Fusão e solidificação, usadas para gorduras sólidas e ceras.

2) Coacervação simples, que consiste na precipitação de um hidrocolóide que está disperso em solução aquosa. Esta precipitação pode ser obtida pela evaporação de um solvente (secagem), pela adição de um soluto não eletrólito e no qual o hidrocolóide não é solúvel (por exemplo, etanol), pela adição de um eletrólito que induz precipitação ou cruzamento dos componentes, ou pela modificação do pH da solução (21, 40).

3) Coacervação complexa, que consiste em se obter a precipitação pela mistura de duas soluções de hidrocolóides com cargas elétricas opostas que interagem, formando o polímero complexo.

4) Gelificação ou coagulação térmica, que consiste no aquecimento das macromoléculas que envolvem desnaturação, formação de gel e precipitação. Isto ocorre, por exemplo, quando a proteína ovoalbumina é aquecida. A gelificação também pode ser obtida pelo resfriamento rápido de uma solução hidrocolóide que se encontra aquecida. Por exemplo, o ágar a 95°C está líquido, e quando resfriado abaixo de 45°C forma um gel e se solidifica (21, 33, 40).

Os filmes são obtidos no laboratório pelo método *casting*, que consiste em espalhar a solução formadora do filme em uma superfície lisa e deixar secar. Na indústria, os filmes podem ser obtidos mediante os mesmos métodos usados para filmes plásticos flexíveis, como extrusão e co-extrusão para filmes multicamadas, laminação e, principalmente, por secagem em rolos para a remoção do solvente da solução polimérica (21).

Na indústria alimentícia são usados, principalmente, os revestimentos, os quais podem ser aplicados nos alimentos por diferentes métodos, como pulverização, imersão ou aplicação com pincéis, seguido de uma etapa de secagem para revestimentos hidrocoloidais ou esfriamento para revestimentos à base de lipídeos (21).

Biodegradabilidade das embalagens comestíveis

A grande importância dos filmes e revestimentos comestíveis é sua biodegradabilidade. Para que um material seja chamado de biodegradável, ele deve ser degradado completamente por microrganismos em compostos naturais, como CO₂, água, metano, hidrogênio e biomassa (43).

O processo de biodegradação envolve duas etapas: a despolimerização, que é a clivagem da cadeia do polímero, e a mineralização para carbono, água e sais, entre outros. Este processo possui três elementos-chave: microrganismo apropriado, ambiente e substrato

adequado. Para que o processo de biodegradação seja eficiente, é importante que os microrganismos envolvidos tenham condições ambientes adequadas de calor, umidade, pH, nutrientes e oxigênio (43). A degradação microbiológica pode seguir duas rotas: a degradação anaeróbica, que resulta na produção de biogás como metano e hidrogênio, que podem ser usados como fonte de energia, e a degradação aeróbica (61).

O uso de embalagens biodegradáveis poderá contribuir na redução do uso de fontes não-renováveis e diminuir o lixo por meio da reciclagem biológica (43), em que produtos da biodegradação, como CO₂, água e sais, podem ser utilizados para a fertilização dos solos e fotossíntese das plantas, com produção de novos biopolímeros. O uso de polímeros biodegradáveis pode substituir os polímeros sintéticos derivados do petróleo e diminuir a produção de dióxido de carbono na atmosfera proveniente dos combustíveis fósseis. A biodegradação de biopolímeros derivados de fontes renováveis recicla o CO₂ para a atmosfera em lugar de aumentá-lo (43).

Nos últimos anos, têm sido estudadas misturas de biopolímeros naturais mais plásticos, com o objetivo de obter embalagens plásticas biodegradáveis, como o amido e polietileno de baixa densidade (PEBD). Essas embalagens desintegram-se em compostos menores, que, no entanto, podem não ser completamente biodegradáveis (43, 74). Devido a sua total biodegradabilidade, os biopolímeros utilizados nos filmes e revestimentos comestíveis ajustam-se perfeitamente no ecossistema, evitando a poluição ambiental causada por resíduos sólidos não-biodegradáveis (74).

Segundo o Escritório de Avaliação Tecnológica do Congresso dos Estados Unidos (OTAUSC), as embalagens geram, anualmente, em média 60 milhões de toneladas de resíduos sólidos e, aproximadamente, 32 milhões correspondem à embalagem para alimentos (18), representando, aproximadamente, 30% do resíduo urbano municipal, dos quais 13% são materiais plásticos não-biodegradáveis (43).

No Brasil, são produzidas de 240 mil a 300 mil toneladas/dia de resíduo urbano, dos quais o plástico, que é um dos materiais mais utilizados para acondicionamento de alimentos, representa 20% do total. A produção anual de plástico é de 2,2 milhões de toneladas, e 40% deste total destina-se à indústria de embalagem. O consumo de plástico no Brasil, por habitante, é de 14 a 15 kg por ano (70). A maioria dos plásticos não é biodegradável ou degrada lentamente, o que gera volumes enormes de lixo. Além disso, sua decomposição muitas vezes origina substâncias nocivas como dioxinas, furanos e ftalatos, entre outros, que afetam a saúde humana e o ambiente, aumentando assim a poluição ambiental, que é um dos fatores que mais está contribuindo para o aquecimento da Terra (41). Outra propriedade importante das embalagens comestíveis é que elas são obtidas de fontes naturais renováveis, criando novos mercados e

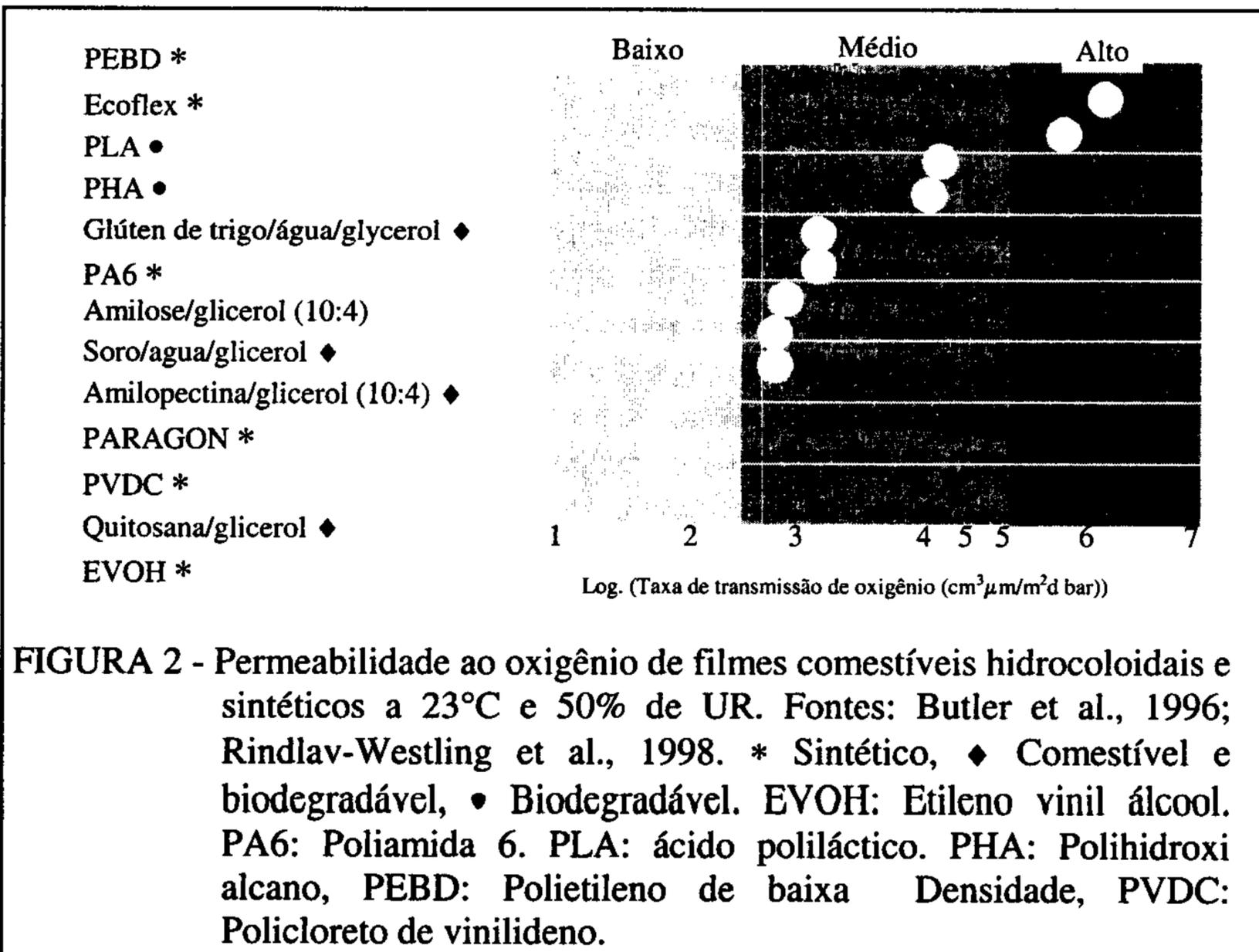
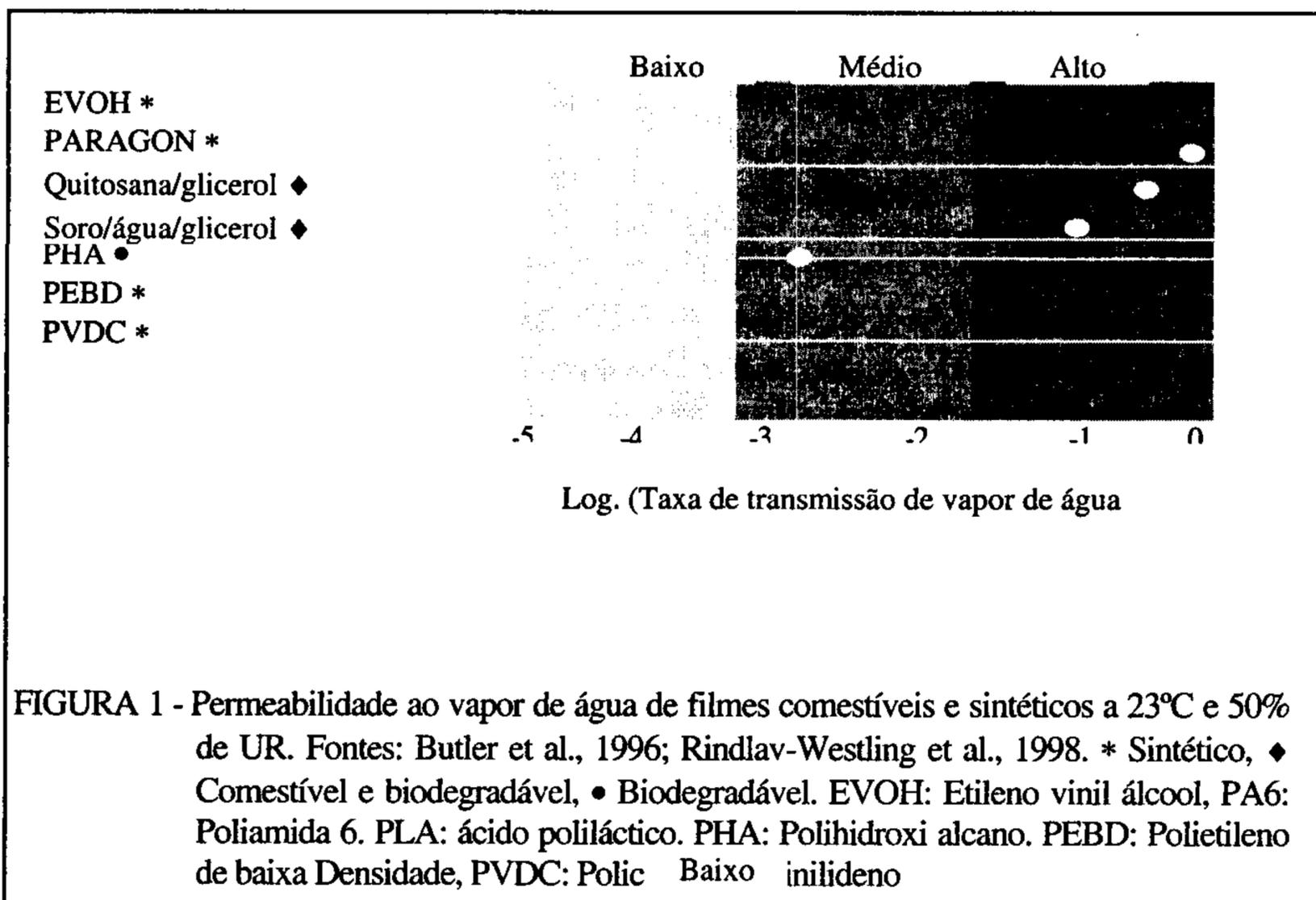
oportunidades de utilização dos produtos-base, que, em sua maioria, são provenientes do setor agrícola (30).

Propriedades de barreira

Muitos alimentos requerem condições atmosféricas específicas para manter sua qualidade durante a estocagem. Para assegurar uma composição de gases constante dentro da embalagem é necessário que o material da embalagem apresente uma barreira aos gases e ao vapor de água.

A eficiência funcional dos filmes e revestimentos comestíveis vai depender de sua composição. Muitos, por serem à base de polissacarídeos ou proteínas, possuem caráter hidrofílico, apresentando, por isso, baixa ou moderada resistência à umidade; contudo, quando se compara a taxa de transmissão de vapor de água de filmes comestíveis, em relação aos sintéticos (Figura 1), torna-se claro que é possível produzir filmes e revestimentos comestíveis com taxa de transmissão ao vapor de água similar a alguns filmes plásticos e ainda melhor que a apresentada pelo etileno vinil álcool (EVOH), que é um filme plástico com alta taxa de permeabilidade ao vapor de água. Uma embalagem com eficiente barreira ao vapor de água é desejável para a conservação de muitos alimentos, como produtos frescos ou congelados, evitando a desidratação na superfície (21). Devido a essa natureza hidrofílica, os filmes e revestimentos comestíveis hidrocoloidais apresentam permeabilidade ao oxigênio baixa, comparada a alguns tipos de embalagens sintéticas, o que é desejável, por exemplo, quando se quer diminuir a taxa de respiração de frutas, para retardar o amadurecimento (Figura 2) (21, 42).

As propriedades de barreira à umidade de filmes comestíveis são influenciadas pela adição de compostos lipídicos que reduzem o transporte da umidade. Anker et al. (3) estudaram o efeito de lipídeos em filmes compostos à base de proteína isolada de soro e éster monoglicerídeo de ácido acético, elaborados nas formas de laminados, ou seja, em camadas separadas, e associados, isto é, feitos a partir da emulsão. Observaram que a adição do lipídeo nas duas formas de preparação dos filmes diminuiu a permeabilidade ao vapor de água, sendo o efeito ainda melhor na forma de camadas separadas, diminuindo a permeabilidade em torno de 70 vezes, enquanto nos filmes feitos a partir da emulsão a permeabilidade foi de, aproximadamente, metade do valor, em relação ao filme de proteína isolada de soro. Esta diferença de permeabilidade nos dois filmes está relacionada com a distribuição do lipídeo; o filme em bicamada, o lipídeo forma uma camada contínua e homogênea sobre a matriz hidrocoloidal, enquanto no filme feito a partir da emulsão, o lipídeo fica disperso dentro da matriz hidrocoloidal e, portanto, as moléculas de água podem permear através da fase hidrofílica (20).



Quezada Gallo et al. (63), usando filmes compostos, feitos a partir de emulsões de metilcelulose e diferentes lipídeos (óleo e cera de parafina, triglicerídeos), observaram que eles apresentavam melhor barreira ao vapor de água que os à base de metilcelulose sem lipídeos, e que a permeabilidade ao vapor de água era influenciada pela natureza do lipídeo utilizado. Quando foi usado óleo ou cera de parafina, que são lipídeos mais densos e menos polares, observou-se uma permeabilidade duas a três vezes menor do que quando foram usados triglicerídeos relativamente mais hidrofílicos e menos densos. Este efeito também foi observado por Avena-Bustillos e Krochta (11), em filmes à base de caseinato com diferentes lipídeos (acetilmonoglicerídeos, cera de abelha e ácido esteárico). O filme caseinato/cera de abelha foi o que apresentou a menor permeabilidade. Este comportamento dos lipídeos está relacionado com sua estrutura cristalina. As ceras de parafina e abelha apresentam cristais ortorrômbicos que fazem sua estrutura mais densa e compacta, com pouco espaço livre para a migração das moléculas de água, enquanto os triglicerídeos apresentam cristais hexagonais, fazendo uma estrutura menos compacta (22).

Estudos têm demonstrado que a umidade relativa (UR) exerce forte influência sobre as propriedades de barreira dos filmes e revestimentos comestíveis. Em UR de 0% os filmes de glúten de trigo apresentam baixa permeabilidade ao oxigênio e CO₂, porém à medida que aumenta a UR a permeabilidades dos filmes aos gases aumenta substancialmente. No caso de UR acima de 50%, o efeito torna-se exponencial (32). Este efeito pode ser explicado por modificações na matriz estrutural da proteína pelas moléculas de vapor de água, com conseqüente, aumento na mobilidade das cadeias poliméricas, correspondendo à transição da fase vítrea para a viscoelástica em UR altas (31). Este mesmo efeito exponencial da UR sobre as propriedades de barreira dos filmes foi observado por McHugh e Krochta (51) em filmes à base de proteína isolada de soro. Um comportamento similar nas propriedades de barreira tem sido observado em outros filmes comestíveis em diferentes umidades relativas (Quadro 1). Um mesmo filme em diferentes umidades relativas apresenta diferente permeabilidade aos gases, e quanto maior for a umidade relativa, mais alta será a permeabilidade aos gases, indicando que a permeabilidade ao oxigênio e gás carbônico dos filmes comestíveis hidrocoloidais é dependente da umidade relativa do ambiente. No Quadro 1 observa-se claramente a ação dos lipídeos (éster tartárico diacetilado monoglicerídeo, cera de abelha, ácidos graxos) sobre as propriedades de barreira dos filmes comestíveis. A diminuição da permeabilidade pela adição dos lipídeos

pode ser relacionada a uma redução no conteúdo de água do filme, devido à presença de substâncias hidrofóbicas ou ao fortalecimento da matriz estrutural das proteínas pelos lipídios. A permeabilidade dos filmes comestíveis ao oxigênio pode ser muito baixa e até mesmo criar condições de anaerobiose no interior das embalagens. Nestes casos, métodos de processamento deveriam ser usados para evitar o crescimento de microrganismos anaeróbios (33).

Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas de filmes comestíveis dependem da matéria-prima usada na obtenção do filme e, especialmente, de sua coesão estrutural. Coesão é o resultado da habilidade de um polímero de formar uniões moleculares fortes e numerosas entre as cadeias do polímero, dificultando assim a separação delas. Esta habilidade depende da estrutura do polímero e, especialmente, de sua força molecular, geometria, peso molecular e distribuição e posição de seus grupos laterais (33).

As propriedades mecânicas nos filmes são tão importantes como as de barreira. Dentre elas estão a força de tensão, alongamento, resistência à tração, módulo elástico, flexibilidade, entre outras (18, 68). Os filmes devem ser geralmente resistentes à quebra e abrasão, para protegerem a estrutura de um alimento, e flexíveis, para se adaptarem à possível deformação do alimento sem se romperem (33).

As interações entre os biopolímeros e pequenas moléculas como água, plastificantes, lipídeos e outros aditivos dispersos na matriz também contribuem para o comportamento mecânico das embalagens (18). Arvanitoyannis e Billiaderis (9) estudaram o efeito dos plastificantes glicerol, sorbitol e xilose sobre as propriedades mecânicas de filmes à base de amido e metilcelulose e observaram que, à medida que aumenta a concentração de plastificantes na composição do filme, diminui a força de tensão e aumenta a porcentagem de alongamento. Em filmes à base de proteína isolada de soro, os plastificantes glicerol e sorbitol também mudaram as propriedades mecânicas do filme. A porcentagem de alongamento dos filmes aumenta com a concentração dos plastificantes. Em uma mesma concentração de plastificante (30%), os filmes com glicerol apresentaram porcentagem de alongamento de 30%, enquanto nos filmes com sorbitol foi menor que 5%. Em maior concentração de plastificante, o módulo elástico diminui e a flexibilidade do filme aumenta (51).

QUADRO 1 - Permeabilidade de filmes comestíveis ao oxigênio e gás carbônico, a 25°C, em diferentes umidades relativas

Tipo de filme	Espessura (mm)	Permeabilidade O ₂ mL.mm/(m ² .d.atm)	Permeabilidade O ₂ mL.mm/(m ² .d.atm)	Seletividade (pCO ₂ /pO ₂)	Umidade relativa (%)
Pectina	0,055	57,50	-	-	87
Pectina	0,055	258,80	4132	16,00	96
Quitosana	0,020	91,40	1553	17,00	93
Pullulana	0,020	3,30	14	4,24	30
Pullulana/goma arábica	-	3,05	10	3,27	36
Glúten de trigo	0,100	190,00	4750	25,00	91
Glúten de trigo	0,100	250,00	7100	28,40	94,5
Proteínas de peixe	0,030	56,00	-	-	86
Proteínas de peixe	0,030	169,00	2156	12,75	92
Caseinato de sódio	0,083	77,00	462	6,00	77
Glúten-DATEM	0,100	153,00	1705	11,14	94,5
Glúten-cera de abelha	0,100	133,00	1282	9,64	91
Caseinato de sódio/Myvacet	0,088	83,00	154	1,85	48
MC/HPM/ácidos graxos	-	46,60	180	3,86	52
MC/cera de abelha (bicamada)	-	4,00	27	6,75	42
Glúten-DATEM/cera de abelha	0,140	<3,00	15	>5,00	56
Glúten-cera de abelha/cera de abelha	0,140	<3,00	13	>5,00	56

DATEM: Éster tártarico diacetilado monoglicerídeo. HPMC: Hidroxipropilmetil celulose. MC: Metilcelulose.
 Fonte: Guilbert et al., 1996; Gontard et al., 1996.

Filmes e revestimentos comestíveis ajudam a manter as características desejáveis no alimento, como cor, umidade, sabor, acidez, doçura, salinidade e tempero, entre outras (40). Park et al. (60) avaliaram as propriedades sensoriais em tomates revestidos com zeína e estocados a 21°C. Dos atributos sensoriais estudados, a acidez e o sabor não foram afetados pelo revestimento, enquanto a cor e a firmeza foram significativamente diferentes ($P < 0,05$) entre os tomates revestidos e os não-revestidos. O revestimento de zeína retardou a maturação do tomate, preservando a firmeza e cor, seus principais atributos no mercado. Lerdthanangkul e Krochta (47) avaliaram o efeito de diferentes revestimentos, como proteína isolada de soro, óleo mineral, caseinato de sódio, caseinato de sódio/cera de abelha e Nature Seal (produto comercial à base de celulose) sobre o pimentão verde. Os autores observaram que o pimentão não se beneficiava com os revestimentos de barreira a gases, e sim com os que ofereciam barreira ao vapor de água, devido ao pimentão verde ser um fruto não climatérico e apresentar baixa taxa de respiração. A perda de água foi a característica mais importante apresentada pelo produto durante a estocagem. Depois de 18 dias de estocagem a 10°C e UR de 80-85%, os pimentões revestidos com óleo mineral apresentaram perda de

umidade de 3,2%; com os outros revestimentos, a perda foi acima de 7,5%. Assim, o óleo mineral foi o revestimento mais indicado para evitar a redução de umidade nos pimentões, mantendo a firmeza do produto.

Os filmes e revestimentos comestíveis são utilizados também para veicular antioxidantes, que evitam o escurecimento em frutas e vegetais cortados. O ácido ascórbico adicionado em revestimentos à base de carboximetilcelulose/proteína de soja foi mais eficaz para retardar o escurecimento em maçãs e batatas cortadas, do que quando aplicado em solução aquosa no produto. Isso se deve ao fato de que o ácido ascórbico dentro da matriz do biopolímero é mais estável e menos propenso a apresentar degradação oxidativa (13).

A taxa de rancidez nos alimentos também pode ser reduzida pelo uso de embalagens com baixa permeabilidade ao oxigênio. Filmes e revestimentos à base de proteína de glúten, proteína de soja, carragenina e quitosana foram aplicados em carne de boi pré-cozida, para avaliar a oxidação dos lipídeos e perda de umidade. Os revestimentos, à exceção da quitosana, foram eficientes no controle da oxidação dos lipídeos (79).

Revestimento comestível antimicrobiano

Uma inovação da embalagem comestível é que ela pode carrear aditivos alimentares, como antimicrobianos, vitaminas, saborizantes, antioxidantes, nutrientes, corantes e outros ingredientes funcionais, interagindo com o alimento, para se obter um resultado desejável. Essa interação objetiva melhorar a estabilidade, qualidade, segurança e funcionalidade dos alimentos (44). É importante lembrar que essas substâncias, ao serem consumidas, devem ser GRAS, processadas dentro das Boas Práticas de Fabricação e adicionadas em quantidades estabelecidas pela regulamentação vigente.

A embalagem antimicrobiana pode reduzir, inibir ou retardar o crescimento da microbiota presente no alimento (6). Os antimicrobianos podem controlar a contaminação microbiana mediante três mecanismos: redução da taxa de crescimento dos microrganismos, aumento da fase lag ou inativação por contato (64).

O crescimento de microrganismos, tanto deterioradores quanto patogênicos, pode ser prevenido pela incorporação de agentes antimicrobianos no filme ou revestimento, ou pelo uso de polissacarídeos com propriedades antimicrobianas naturais (21).

Os antimicrobianos mais utilizados são o ácido sórbico, ácido propiônico, sorbato de potássio, ácido benzóico, benzoato de sódio e ácido cítrico (64). Como antimicrobianos também estão sendo usadas bacteriocinas, como nisina e pediocina (69). A lisozima é outra substância

natural que está sendo incorporada nas embalagens comestíveis para inibir o crescimento microbiano, especialmente de bactérias gram-positivas (59).

A contaminação microbiana reduz a vida de prateleira dos alimentos e aumenta o risco de transmissão de doenças. Ela é maior na superfície do produto, e a embalagem antimicrobiana, pelo contato com o alimento e liberação gradativa dos compostos antimicrobianos, tem função importante na conservação do alimento (6).

Tradicionalmente, os antimicrobianos são adicionados diretamente aos alimentos, mas sua atividade pode ser inibida por muitas substâncias do próprio alimento. Por exemplo, emulsificantes e ácidos graxos no leite interagem com a nisina, reduzindo sua atividade antimicrobiana sobre a *Listeria monocytogenes* (38). Vojdani e Torres (75) constataram que o sorbato de potássio, quando adicionado diretamente no alimento, pode ser rapidamente absorvido da superfície do alimento, perdendo seu efeito protetor nesse local. Quando o sorbato foi adicionado na matriz de um filme à base de metilcelulose e hidroxipropilmetilcelulose, o filme permitiu lenta difusão do sorbato para a superfície do alimento, o que melhorou a sua proteção. Outra pesquisa também mostra que o ácido sórbico, quando incorporado em filmes à base de pectina/glúten/monoglicerídeos, apresentou uma atividade antimicrobiana maior sobre o crescimento de fungos do que quando incorporado diretamente ao alimento (34).

Os filmes e revestimentos comestíveis com uma taxa de difusão baixa do antimicrobiano são desejáveis, por manter alta concentração do antimicrobiano por um tempo mais longo. A liberação do antimicrobiano a partir do polímero tem que ser mantida em uma taxa mínima. No entanto, a concentração do antimicrobiano na superfície deve permanecer acima da concentração inibitória mínima (35).

Os antimicrobianos podem ser adicionados aos polímeros mediante fusão, ou por solubilização do composto dentro da matriz. Devido a muitos antimicrobianos serem sensíveis ao calor, o método por solubilização é o mais indicado para incorporá-los na matriz do biopolímero (6). Por exemplo, para evitar a desnaturação da lisozima, uma enzima sensível ao calor, foi utilizado o método de solubilização para a sua incorporação no filme à base de ésteres de celulose (5). Embora as bacteriocinas, como nisina e pediocina, sejam relativamente resistentes ao calor, suas atividades antimicrobianas podem ser maiores quando o calor não for utilizado no processo. Pesquisas sobre a nisina mostram que sua atividade antimicrobiana em filmes comestíveis à base de metilcelulose, hidroxipropilmetilcelulose, carragenina e quitosana, feitos mediante processo *cast*, que não utiliza calor, é três vezes maior que em filmes processados mediante calor (17).

A difusão dos antimicrobianos na matriz dos biopolímeros pode ser reduzida pela adição de compostos hidrofóbicos. Redl et al. (65) demonstraram que a adição de cera de abelha e acetilmonoglicérides em filmes de glúten de trigo reduziu a difusão do ácido sórbico. Efeito similar foi observado por Vojdani e Torres (76) em filmes à base de metilcelulose e hidroxipropilmetilcelulose/ácidos graxos, nos quais os ácidos graxos diminuíram a liberação do sorbato de potássio. Ouatarra et al. (58) observaram que o ácido acético incorporado em filmes de quitosana ficou mais retido quando ao filme foi adicionado ácido láurico.

A quitosana tem sido muito utilizada na composição de filmes antimicrobianos, porque, além de ter boas propriedades formadoras de filmes, possui ação bactericida e fungicida. Esta ação é devida a sua capacidade de ligar-se às moléculas de água, inativar as enzimas microbianas e absorver os nutrientes usados pelos microrganismos (58). Os revestimentos à base de quitosana aplicados em frutas induzem à produção da enzima quitinase, que é um agente antifúngico natural (21). Em fungos, a quitosana pode também produzir alterações nas funções da membrana, por interação com a superfície eletronegativa deles, levando a mudanças na permeabilidade, distúrbios metabólicos e morte celular (24). Segundo Muzzarelli et al. (57), a atividade antimicrobiana da quitosana sobre bactérias é devida à natureza policatiônica da molécula de quitosana, que permite a interação e formação de complexos polieletrólitos com os polímeros ácidos produzidos na superfície da bactéria (lipopolissacarídeos, ácido teicóico e teicurônico). Filmes e revestimentos à base de quitosana testados sobre *Listeria monocytogenes* inibiram o crescimento desse microrganismo (19). El Ghaouth et al. (23) mostraram que revestimentos à base de 1 e 2% de quitosana reduziram no tomate a incidência de deterioração, principalmente a causada por *Botrytis cinerea*. Depois de 28 dias de estocagem a 20°C, a porcentagem de contaminação nos tomates revestidos com 2% de quitosana foi de 3,1%, enquanto nos não-revestidos foi de 28,1%. Em tomates revestidos com quitosana, a porcentagem de deterioração foi significativamente menor ($P \leq 0,05$).

Aplicações em produtos alimentícios

O uso de filmes e revestimentos comestíveis nos alimentos tem diversos objetivos, dos quais os mais importantes são: reduzir a perda de umidade, controlar a permeabilidade aos gases, controlar a atividade microbiana, preservar a integridade estrutural dos produtos e possibilitar liberação gradual do sabor e de antioxidantes em alimentos (7).

As embalagens comestíveis têm muitas aplicações na indústria de alimentos. Na indústria de carnes, os revestimentos à base de carragenina

têm sido utilizados para evitar a desidratação superficial de carnes frescas e congeladas (21). Revestimentos à base de alginato de cálcio têm sido utilizados em carcaça de cordeiro, para reduzir a população microbiana e preservar o sabor e as características sensoriais (46), e em carne bovina, para a manutenção da cor desejada (77). Revestimentos comestíveis à base de proteína isolada de soro e acetilmonoglicerídeos aplicados no salmão reduziram a perda de água de 42 a 65% durante as três primeiras semanas de estocagem em temperatura de congelamento a -23°C (72).

Revestimentos à base de amido de mandioca aplicado como emulsão em morangos frescos contribuíram para diminuição da perda de peso, retenção de cor e aumento da vida de prateleira dos frutos, comparados com o controle (37). No mercado norte-americano, existe uma cobertura para conservação de frutas à base de hidroxipropilcelulose e uma mistura de vitaminas e minerais, comercializada com o nome de Nature Seal. Resultados de pesquisas que avaliaram este produto em manga mostraram que os frutos revestidos apresentavam aumento na vida de prateleira, retardo no processo de amadurecimento e menor amolecimento e perda de peso, comparados com os não-revestidos (14).

Os revestimentos comestíveis também têm sido usados em frutas e vegetais minimamente processados. Nesses produtos, os revestimentos comestíveis oferecem uma barreira semipermeável aos gases e ao vapor de água e reduzem a taxa de respiração. Além disso, evitam a perda de água, as mudanças de cor, melhoram a textura e a integridade mecânica, retendo o sabor e reduzindo o crescimento microbiano, aumentando, dessa forma, a vida de prateleira do produto (12, 13). Os revestimentos comestíveis podem criar uma barreira que retarda a perda de sabor e água. Por outro lado, restringem o intercâmbio de CO_2 e O_2 , criando uma atmosfera modificada com níveis relativamente altos de CO_2 e baixos de O_2 . Essa atmosfera não deve, porém, criar condições de anaerobiose que possam causar respiração anaeróbia, sabor não-desejável e crescimento de microrganismos anaeróbios (12).

A taxa de respiração alta e a produção de etileno em produtos minimamente processados, resultantes do processo, podem ser teoricamente reduzidas por aplicação de uma membrana semipermeável, como os revestimentos comestíveis (12). Estudos feitos por Wong et al. (78) com revestimentos compostos à base de diferentes polissacarídeos, como pectina, celulose microcristalina, carragenina e alginato, e acetilmonoglicerídeos, usados em maçãs cortadas em cubos, mostram que todos os revestimentos testados reduziram substancialmente a taxa de produção de CO_2 e etileno no produto, sendo a redução do etileno de aproximadamente 90%.

Avena-Bustillos et al. (10) observaram que o uso de revestimentos à base de caseinato de sódio/ácido esteárico em cenouras descascadas

ajudava a manter a umidade e reduzia o esbranquiçamento na superfície do produto. Segundo Tatsumi et al. (73), o esbranquiçamento na superfície de cenouras minimamente processadas é atribuído à desidratação. Filmes e revestimentos à base de purê de maçã e lipídeos resultaram num método excelente para estender a vida de prateleira de maçãs minimamente processadas, reduzindo a perda de água e mantendo a cor por 12 dias a 5°C, sendo os filmes mais eficientes que os revestimentos no controle da transferência de massa (54).

Uma aplicação interessante dos revestimentos comestíveis ocorre em alimentos para fritar. Um revestimento de metilcelulose e sorbitol foi utilizado em batata palito. Depois de fritas, as batatas apresentaram redução do 40,6% no teor de lipídeos, em relação ao controle (28). Outra aplicação muito usada ocorre em alimentos compostos de produtos de diferentes teores de umidade prontos para o consumo, como cereais secos contendo uvas passas. Estas têm um teor de umidade de 13 a 18%, enquanto o dos cereais é de 2 a 3%. Portanto, as uvas devem ser cobertas com um revestimento para evitar a perda de água para os cereais, o que levaria à perda da crocância destes. Outra pesquisa mostra que um revestimento feito de metilcelulose e ácido palmítico utilizado na conservação do cone para sorvete evitou a perda de crocância do cone por três meses a -23°C, ao evitar que a umidade do sorvete passasse para o cone (67).

Segurança alimentar e saúde

A segurança alimentar, um dos principais objetivos dos processadores de alimento, e a demanda de alimentos seguros, por parte do consumidor, têm aumentado consideravelmente nos últimos anos. A determinação de aceitabilidade de materiais para filmes e revestimentos comestíveis segue procedimentos idênticos para os materiais utilizados nas formulações alimentícias. Um polímero comestível geralmente é reconhecido como seguro para ser utilizado na elaboração de filmes comestíveis se previamente tem sido determinado como GRAS, e seu uso em filmes ou revestimentos comestíveis deve ser de acordo com as boas práticas de processamento, como grau alimentício, preparo e manipulação, e usado em quantidades não maiores que as necessárias para executar sua função (43).

Os filmes e revestimentos comestíveis podem ser considerados como ingrediente, quando melhoram a qualidade nutricional do alimento, ou aditivo, quando não incrementam o seu valor nutricional. Por serem embalagem e componente alimentar ao mesmo tempo, não devem interferir nas características sensoriais do produto e na estabilidade bioquímica, físico-química e microbiológica, além de terem eficientes

propriedades mecânicas e de barreira, serem livres de tóxicos, seguros para a saúde, não poluentes e possuírem baixo custo do material e do processo de produção (21).

No Brasil, não existe na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) uma legislação específica para filmes e revestimentos comestíveis, mas eles são considerados como ingrediente ou aditivo e devem obedecer ao Decreto 55.871, de 26 de março de 1965, sobre normas reguladoras de emprego de aditivos para alimentos, e à Portaria nº 540 – SVS/MS, de 27 de outubro de 1997 (4), que trata sobre o Regulamento Técnico de Aditivos Alimentares e Coadjuvantes de Tecnologia de Fabricação, além das considerações do Codex Alimentarius e do FDA.

Os filmes e revestimentos comestíveis podem carrear suplementos alimentícios, e os preparados à base de proteína, dependendo da qualidade desta, podem melhorar o valor nutricional dos alimentos. A qualidade nutricional dos materiais utilizados para filmes comestíveis pode ser afetada positiva ou negativamente pela temperatura, pH e, ou, solventes usados na preparação dos filmes (43).

Considerações finais

Os filmes e revestimentos comestíveis produzidos a partir de biopolímeros apresentam numerosas vantagens, dentre elas a de serem biodegradáveis, recicláveis, carreadores de aditivos alimentares e possuírem boas propriedades de barreira e mecânicas, contribuindo, assim, para melhorar a aparência dos alimentos e proteger suas propriedades durante a estocagem e manipulação. Mantêm ou melhoram as características sensoriais e propriedades de textura nos alimentos (62) e adicionam valor nutricional ao produto, especificamente os produzidos à base de proteínas (29, 59). Os benefícios e aplicações de filmes e revestimentos comestíveis em alimentos são evidentes. Embora ofereçam muitas oportunidades para manter ou melhorar a qualidade, estabilidade ou segurança dos alimentos, relativamente poucos destes benefícios são explorados comercialmente, principalmente por não existir um sinergismo entre a pesquisa básica aplicada realizada em institutos e universidades e a indústria alimentícia.

Os filmes e revestimentos comestíveis, contudo, apresentam algumas desvantagens, entre elas as reações alérgicas e intolerância a seus componentes, apresentadas por alguns consumidores, às proteínas do glúten de trigo ou às do leite (30, 43). Apresentam, ainda, modificação de suas propriedades mecânicas e óticas em UR altas (32), alta permeabilidade ao vapor de água, no caso dos filmes e revestimentos hidrocoloidais (18), e susceptibilidade à oxidação, no caso daqueles produzidos à base de lipídeos (33).

Com os filmes e revestimentos comestíveis tem-se a embalagem perfeita? Numa visão ambiental seriam uma embalagem perfeita, mas não preenchem todas as características necessárias às embalagens. Entretanto, apresentam grande potencial na substituição da embalagem sintética em muitas aplicações, por exemplo, em alimentos heterogêneos prontos para o consumo, em que se separam os diferentes componentes desse alimento, evitando a transferência de massa entre eles, e em alimentos com baixo conteúdo de água, vulneráveis à oxidação e perda de aroma, como os revestimentos usados em frutas e hortaliças inteiras ou minimamente processadas, onde oferecem proteção individual.

Embora seja improvável que os filmes e revestimentos comestíveis possam substituir a embalagem sintética convencional, pesquisas sobre filmes e revestimentos comestíveis e, ou, biodegradáveis são necessárias e ajudam a diminuir os milhões de toneladas de plásticos que se consomem na atualidade, particularmente quando os resíduos dessa embalagem ameaçam a qualidade de vida no planeta.

REFERÊNCIAS

1. ALLEN, L. NELSON, A.I. STEINBERG, M. P. & MCGILL, J.N. Edible carbohydrates food coating II: Evaluation on fresh meat products. *Food Technology*, 17:1442-6, 1963.
2. ALVES, R. M. L., GROSSMANN, M. V. E. & SILVA, R. S. S. F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. *Food Chemistry*, 67:123-7, 1999.
3. ANKER, M., BERNTSEN, J., HERMANSSON, A.M. & STADING M. Improved water vapor barrier of whey protein films by addition of an acetylated monoglyceride. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3:81-92, 2002.
4. Legislação para alimentos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br> Acesso em: 21.02.2004.
5. APPENDINI, P. & HOTCHKISS, J.H. Immobilization of lysozyme on food contact polymers as potential antimicrobial film. *Packaging Technology and Science*, 10:271-9, 1997.
6. APPENDINI, P. & HOTCHKISS, J.H. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3:113-26, 2002.
7. ARVANITOYANNIS, I., PSOMIADOU, E. & NAKAYAMA, A. Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. *Carbohydrate Polymers*, 31:179-92, 1996.
8. ARVANITOYANNIS, I., NAKAYAMA, A. & AIBA, S. Edible films made from hydroxypropyl starch and gelatin and plasticized by polyols and water. *Carbohydrate Polymers*, 36:105-19, 1998.
9. ARVANITOYANNIS, I. & BILIADERIS, C.G. Physical properties of polyol-plasticized edible blends made of methylcellulose and soluble starch. *Carbohydrate Polymers*, 38:47-58, 1999.
10. AVENA-BUSTILLOS, R.J., CISNEROS-ZEVALLOS, L.A., KROCHTA, J.M. & SALTVEIT, Jr. M.E. Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 4:319-29, 1994.
11. AVENA-BUSTILLOS, R.J. & KROCHTA, J.M. Water Vapor Permeability of Caseinate-Based Edible Films as Affected by pH, Calcium Cross linking and Lipid Content. *Journal of Food Science*, 58(4):904-7, 1993.

12. BALDWIN, E.A., NISPEROS-CARRIEDO, M.O. & BAKER, R.A. Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *HortScience*, 30(1):35-8, 1995.
13. BALDWIN, E.A., NISPEROS, M.O., CHEN, X. & HAGENMAIER, R.D. Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9:151-63, 1996.
14. BALDWIN, E.A., BURNS, J.K., KAZOKAS, W., BRECHT, J.K., HAGENMAIER, R. D., BENDER, R.J. & PESIS, E. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 17:215-26, 1999.
15. BANKER, G.S. Film Coating Theory and Practice. *Journal of Pharmaceutical Science*, 55(1):81-9, 1966.
16. BUTLER, B.L., VERGANO, P.J. TESTIN, R.F., BUNN, J.M. & WILES, J.L. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. *Journal of Food Science*, 61(5):953-6, 1996.
17. CHA, D., PARK, H. & COOKSEY, K. Preparation and diffusion rate of a nisin incorporated antimicrobial film. In: Book of abstracts, IFT Annual Meeting Technical Program. New Orleans, 2001.
18. CHEN, H. Functional Properties and Applications of Edible Films Made of Milk Proteins. *Journal Dairy Science*, 78(11):2563-83, 1995.
19. COMA, V., MARTIAL-GIROS, A., GARREAU, S., COPINET, A., SALIN, F. & DESCHAMPS, A. Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix. *Journal of Food Science*, 67(3):1162-8, 2002.
20. DEBEAUFORT, F., MARTIN-POLO, M.O. & VOILLEY, A. Polarity, homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films. *Journal of Food Science*, 58(3):426-429, 34, 1993.
21. DEBEAUFORT, F., QUEZADA-GALLO, J.A. & VOILLEY, A. Edible Films and Coatings: Tomorrow Packaging: A Review. *Critical Reviews in Food Science*, 38(4):299-313, 1998.
22. DEBEAUFORT, F., QUEZADA-GALLO, J.A., DELPORTE B. & VOILLEY, A. Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilary edible films. *Journal of Membrane Science*, 180:47-55, 2000.
23. EL GHAOUTH, A., PONNAMPALAM, R., CASTAIGNE, F. & ARUL, J. Chitosan Coating to Extend the Storage Life of Tomatoes. *HortScience*, 27(9):1016-18, 1992.
24. FANG, S.W., LI, C.F. & SHIH, D.Y.C. Antifungal activity of chitosan and its preservative effect on low-sugar candied kumquat. *Journal of Food Protection*, 56:136-40, 1994.
25. GARCÍA, M.A., MARTINO, M.N. & ZARITZKY N.E. Starch-Based Coatings: Effect on Refrigerated Strawberry (*fragaria ananassa*) Quality. *Journal Science Food Agriculture*, 76:411-20, 1998.
26. GARCÍA, M.A., MARTINO, M.N. & ZARITZKY N.E. Edible Starch Films and Coatings Characterization: Scanning Electron Microscopy, Water Vapor, and Gas Permeabilities. *Scanning*, 21(5):348-53, 1999.
27. GARCÍA, M.A., MARTINO, M.N. & ZARITZKY N.E. Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science*, 65(6):941-7, 2000.
28. GARCÍA, M.A., FERRERO, C., BÉRTOLA, N., MARTINO, M. & ZARITZKY N. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3:391-7, 2002.
29. GENNADIOS, A. & WELLER, C. Edible Films and Coatings from Wheat and Corn Proteins. *Food Technology*, 44(10):63-9, 1990.

30. GENNADIOS, A., HANNA, M.A. & KURTH, L.B. Application of Edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods: A Review. *Lebensmittel- Wissenschaft und- Technologie*, 30(4):337-50, 1997.
31. GONTARD, N., GUILBERT, S. & CUQ, B. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 57:190-5, 1992.
32. GONTARD, N.; THUBAULT, R.; CUQ, B. & GUILBERT, S. Influence of Relative Humidity and Film Composition on Oxygen and Carbon Dioxide Permeabilities of Edible Films. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44(4):1064-9, 1996.
33. GUILBERT, S., GONTARD, N. & GORRIS G.M. Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *Lebensmittel- Wissenschaft und- Technologie*, 29(1-2):10-7, 1996.
34. GUILBERT, S., CUQ, B. & GONTARD, N. Recent innovations in edible and / or biodegradable packaging materials. *Food Additives and contaminants*, 14(6-7):741-51, 1997.
35. HAN, J.H. Antimicrobial Food Packaging. *Food Technology*, 54(3): 3-65, 2000.
36. HARDENBERG, R.E. Wax and Related Coatings for Horticultural Products. *Agr. Res. Bul.* 51-2. U. S. Dept. of Agric. Washington, D.C. 1967.
37. HENRIQUE, C.M. & CEREDA, M.P. Utilização de Biofilmes na Conservação Pós-colheita de Morango (*Fragaria ananassa* Duch) CV IAC Campinas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 19(2):231-3, 1999.
38. JUNG, D., BODYFELT, F.W. & DAESCHEL, M.A. Influence of Fat and Emulsifiers on the Efficacy of Nisin in Inhibiting *Listeria monocytogenes* in Fluid Milk. *Journal of Dairy Science*, 75(2):387-93, 1992.
39. KAPLAN, H.J. Washing, waxing, and color-adding. In: WARDOWSKI, W.F., NAGY, S. & GRIERSON, W. (Eds). *Fresh Citrus Fruits*. AVI, Westport, CT. 1986. p.379.
40. KESTER, J.J. & FENNEMA, O.R. Edible Films and Coatings: A Review. *Food Technology*, 40 (12):47-59, 1986.
41. KLAHORST, S.J. Applications: Credible Edible Films. *Food Product Design*. p.1-6. September 1999.
42. KROCHTA, J.M., BALDWIN, E.A. & NISPEROS-CARRIEDO, M. Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Pennsylvania, Technomic, 1994. 379 p.
43. KROCHTA, J.M. & DeMULDER-JOHNSTON C. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technology*, 51(2):61-74, 1997.
44. LABUZA, T. & BREENE, W. Application of active packaging for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13:81-9, 1989.
45. LAWTON, J.W. Effect of starch type on the properties of starch containing films. *Carbohydrate Polymers*, 29:203-8, 1996.
46. LAZARUS, C.R., WEST, R.I., OBLINGER, J.I. & PALMER, A.Z. Evaluation of a calcium alginate coating and protective plastic wrapping for the control of lamb carcass shrinkage. *Journal of Food Science*, 4:639, 1976.
47. LERDTHANANGKUL, S. & KROCHTA, J.M. Edible Coating Effects on Postharvest Quality of Green Bell Peppers. *Journal of Food Science*, 67(1):176, 9, 1996.
48. MALI, S., GROSSMANN, M.V.E., GARCÍA, M.A., MARTINO, M.N. & ZARITZKY N.E. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 50:379-86, 2002.
49. MATE, J.I. & KROCHTA, J.M. Comparison of oxygen and water vapor permeabilities of whey protein isolate and b-lactoglobulin edible films. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44(10):3001-4, 1996.
50. McHUGH, T.H. & KROCHTA, J.M. Milk-Protein-Base Edible Films and Coatings. *Food Technology*, 48(1):97-103, 1994.

51. McHUGH, T.H. & KROCHTA, J.M. Sorbitol - vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4):841-5, 1994a.
52. McHUGH, T.H., AUJARD, J.F. & KROCHTA, J.M. Plasticized whey protein edible films: Water vapor permeability properties. *Journal of Food Science*, 59:416-20, 1994.
53. McHUGH, T.H., HUXSOLL, C.C. & KROCHTA, J.M. Permeability Properties of Fruit Puree Edible Films. *Journal of Food Science*, 61(1):88-91, 1996.
54. McHUGH, T.H. & SENESI, E. Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples. *Journal of Food Science*, 65(3):480-5, 2000.
55. MILLER, K.S. & KROCHTA, J.M. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 8:228-37, 1997.
56. MOREL, M.H., BONICEL, J., MICARD, V. & GUILBERT, S. Protein Insolubilization Thiol Oxidation in Sulfite-Treated Wheat Gluten Films During Aging at Various Temperatures and Relative Humidities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2):186-92, 2000.
57. MUZZARELLI, R., TARSI, R., FILLIPPINI, O., GIOVANETTI, E., BIAGINI, G. & VARALDO, P.R. Antimicrobial properties of N-carboxybutyl chitosan. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*, 2019-23, 1990.
58. OUATTARA, B., SIMARD, R., PIETTE, G., BÉGIN, A. & HOLLEY R.A. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*, 62:139-48, 2000.
59. PADGETT, T.; HAN, L.Y. & DAWSON, P.L. Incorporation of Food-Grade Antimicrobial Compounds into Biodegradable Packaging Films. *Journal of Food Protection*, 61(10):1330-5, 1998.
60. PARK, H.J., CHINNAN, M. S. & SHEWFELT, R.L. Edible Coating Effects on Storage Life and Quality of Tomatoes. *Journal of Food Science*, 59(3):568-70, 1994.
61. PETERSEN, K., NIELSEN, P.V., BERTELSEN, G., LAWThER, M., OLSEN, M.B., NILSSON, N.H. & MORTENSEN, G. Potential of biobased materials for food packaging. *Food Science and Technology*, 10:52-68, 1999.
62. PSOMIADOU, E.; ARVANITTOYANNIS, I. & YAMAMOTO, N. Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methylcellulose (MC) and corn starch and polyols – Part 2. *Carbohydrate Polymers*, 31:193-204, 1996.
63. QUEZADA GALLO, J.A., DEBEAUFORT, F., CALLEGARIN, F. & VOILLEY, A. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. *Journal of Membrane Science*, 180:37-46, 2000
64. QUINTAVALLA, S. & VICINI, L. Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62:373-80, 2002.
65. REDL, A., GONTARD, N. & GUILBERT, S. Determination of sorbic acid diffusivity in edible wheat gluten and lipid films. *Journal of Food Science*, 61:116-20, 1996.
66. RINDLAV-WESTLING, A., STADING, M., HERMANSSON, A.M. & GATENHOLM, P. Structure, mechanical and barrier properties of amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 36:217-24, 1998.
67. RICO-PEÑA, D.C. & TORRES, J.A. Edible methylcellulose-based films a moisture impermeable barrier in ice cream cones. *Journal of Food Science*, 55(5):1468-19, 1990.
68. ROBERTSON, G.L. *Food Packaging: Principles and Practice*. N. Yor, Marcel Dekker INC., 1993. 676p.
69. SEBTI, I. & COMA, V. Active edible polysaccharide coating and interactions between solution coating compounds. *Carbohydrate Polymers*, 49:139-44, 2002.
70. SOTERO, A.P. Plásticos biodegradáveis trazem melhoria ambiental. *Jornal de plásticos*. Unicamp, 8/2000.
71. SOTHORNVIT, R. & KROCHTA, J.M. Plasticizer effect on mechanical properties of β -Lactoglobulin films. *Journal of Food Engineering*, 50:149-55, 2001.