

Utilização de Subprodutos da Indústria de Laranjas para Formulação de Filmes Comestíveis para Frutas

Use of Byproducts from the Orange Industry for Formulation of Edible Films for Fruits

Emilly J. Souza,^a Izabelle C. Kasukawa,^b Patricia D. S. Santos,^c Eloize S. Alves,^d Bruno H. F. Saqueti,^d Jéssica S. A. Friedrichsen,^c Andressa R. S. Bruni,^e Joana S. Boeing,^c Oscar O. Santos Júnior^{c,d,*}

^aUniversidade Estadual de Maringá, Departamento de Farmácia, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

^bUniversidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

^cUniversidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

^dUniversidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

^eInstituto Federal do Paraná, CEP 85201-106, Pitanga-PR, Brasil

*E-mail: oliveirasantos.oscardeoliveira@gmail.com

Submissão: 22 de Outubro de 2024

Aceite: 14 de Fevereiro de 2025

Publicado online: 24 de Fevereiro de 2025

This study investigated the use of albedo, a pectin-rich byproduct from the orange industry, with pectin and golden linseed oil for the production of edible films. For this purpose, the visual appearance, moisture, water solubility, swelling kinetics, water vapor permeability, opacity and thickness of the films with different concentrations of the mentioned compounds were evaluated. In addition, the formulation with the best performance was applied as a coating on papayas for 15 days under commercial conditions. Among the results, sample 5 presented the best performance in terms of water resistance properties, with a moisture content of 16.78 ± 2.61 , solubility of $66.99 \pm 2.58\%$, and a contact angle of $51.00 \pm 1.83^\circ$, demonstrating an ideal protective barrier against moisture and consequent fruit degradation. When applied to papaya, the film delayed water loss from the fruit and the senescence process by 6.21%, demonstrating its potential as a sustainable alternative for preserving fresh products without refrigeration. This approach not only improves food safety but also supports sustainability by reducing agro-industrial waste.

Keywords: Albedo; pectin; waste; linseed oil; papaya.

1. Introdução

As frutas cítricas são as mais cultivadas no mundo, com uma produção global de cerca de 98,7 milhões de toneladas, distribuídas por mais de 140 países.^{1,2} Por sua vez, as laranjas representam mais da metade dessa produção e mais de 40% das exportações de cítrico.² No entanto, dado o volume expressivo de produção, a indústria de frutas cítricas também permeia em uma significativa quantidade de resíduos alimentares. Estima-se que aproximadamente 120 milhões de toneladas de resíduos sejam produzidos anualmente em todo mundo durante o processamento dessas frutas, o que representa um desafio ambiental significativo.³

Os resíduos de frutas frequentemente surgem devido a perdas pós-colheita, relacionadas a problemas na produção, colheita e gestão, especialmente sob o armazenamento em condições climáticas adversas.⁴ Ainda, a deterioração das frutas é exacerbada pelo uso de embalagens inadequadas, o que contribui para estes agravamentos.⁵

As embalagens tradicionais comumente utilizadas para proteger o alimento durante sua distribuição e armazenagem são produzidas a partir de plásticos à base de petróleo. No entanto, sistemas alternativos compostos de materiais naturais e sustentáveis, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, podem promover embalagens de caráter comestível e biodegradável. Estes sistemas não só protegem os alimentos, mas também podem desempenhar várias outras funções como propriedades antimicrobianas e antioxidantes, diante a incorporação de compostos bioativos.⁶⁻⁸ Além disso, Jafarzadeh *et al.*,⁹ Kocira *et al.*,¹⁰ Rozman *et al.*¹¹ relatam que o desenvolvimento de filmes comestíveis e biodegradáveis para revestimento de frutas, vêm crescendo diante o desejo do consumidor em adquirir produtos ecologicamente corretos, saudáveis e seguros.

Deste modo, a utilização de resíduos vegetais como matéria-prima para filmes e revestimentos é promissora para substituir as embalagens tradicionais.¹² A indústria de derivados de frutas, especialmente de laranja, gera resíduos interessantes, como sua casca, que contém flavedo e albedo. Em especial, o albedo é uma matriz complexa de polissacarídeos, rica em pectina, possuindo propriedades estruturais e de retenção de água. Deste composto, pode ser extraído a pectina. A pectina é uma fibra solúvel encontrado de forma natural nas paredes celulares de frutas cítricas e vegetais, composta principalmente por unidades lineares de ácido

D-galacturônico unidas por ligações glicosídicas α -(1-4), com unidades repetitivas carboxílicas metil-esterificadas, amplamente usada pela indústria como estabilizante e gelificante para alimentos.^{13,14} Assim, cascas de laranja conferem propriedades funcionais úteis para várias aplicações, promovendo a sustentabilidade e a valorização de subprodutos alimentares.^{15,16}

De outro modo, o uso de lipídios em filmes comestíveis é eficaz para criar uma camada protetora que controla a umidade, gases e aromas, prolongando a vida útil dos alimentos. Muitos lipídios oferecem propriedades antioxidantes e antimicrobianas naturais, combatendo a perda de massa, limitando a proliferação de microrganismos e retardando a oxidação dos nutrientes. Em particular, o óleo de linhaça dourada se destaca por sua capacidade de formar filmes secos, transparentes e duráveis, devido à sua alta concentração de ácidos graxos poliinsaturados, que absorvem oxigênio lentamente e oferecem excelente proteção para os alimentos.^{8,17}

Filmes/revestimentos biodegradáveis e comestíveis são uma solução eficaz para preservar a qualidade do mamão durante o armazenamento e comércio. O mamão, sendo uma fruta altamente perecível, tem uma vida útil pós-colheita curta. A aplicação de filmes/revestimentos naturais pode prolongar sua vida útil, uma vez que oferecem uma fina camada protetora que atua como uma barreira semipermeável, retardando a sua alta taxa de amadurecimento e mantendo a textura e o frescor da fruta.^{18,19}

Assim, a pesquisa realizada se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para a meta 12.3, que busca reduzir em 50% o desperdício global de alimentos per capita nos setores de varejo e consumo até 2030. Nesse contexto, os princípios da economia circular podem ser considerados ao valorizar subprodutos como a casca de laranja, promovendo sua transformação em ingredientes funcionais para a conservação de alimentos. Essa abordagem reduz a dependência de materiais não renováveis e contribui para a transição para uma economia mais sustentável e circular, fomentando o uso eficiente de recursos e minimizando impactos ambientais.²⁰

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver filmes/revestimentos comestíveis e biodegradáveis, a partir de subprodutos da indústria de laranja incorporados com óleo de linhaça dourada, visando o aumento da vida útil de mamões frescos. Os filmes desenvolvidos foram caracterizados quanto ao seu potencial de resistência a água, espessura e cor, e após foram monitorados sua aplicação em mamões frescos.

2. Procedimento Experimental

2.1. Materiais

Para a elaboração dos filmes foi utilizada pectina cítrica com grau de esterificação de 55% fornecida gentilmente

pela CPKelco, glicerol (Êxodo Científica), óleo de linhaça dourada (Pazze), polissorbato 80 (Tween 80, Sigma-Aldrich), ácido cítrico (CS Científica).

Para a extração do albedo, 25 unidades de laranjas (*Citrus sinensis*), com a polpa recentemente espremidas, foram consideradas resíduos de um comércio de suco natural localizado na feira local de Maringá (PR, Brasil) e coletadas para retirada de suas cascas.

Para a aplicação de revestimentos comestíveis e biodegradáveis foram selecionadas 6 unidades de mamão (*Carica papaya* L.) adquiridos em um mercado local de Maringá (PR, Brasil). O estágio de maturidade índice 2 (verde com leve coloração amarela) foi considerado para a aplicação do filme, conforme indicado por Mendy *et al.*²¹ Foram asseguradas a seleção de mamões frescos e saudáveis, sem sinais visíveis de danos mecânicos e com uniformidade no ponto de amadurecimento.

2.2. Extração do albedo

Para a extração do albedo, 25 unidades de laranjas (*Citrus sinensis*) foram utilizadas para retirada de suas cascas. Conforme ilustra a Figura 1, o albedo se localiza entre o epicarpo (casca) e o endocarpo (polpa da fruta). O albedo foi obtido conforme indicado por Angor¹³ pela sua remoção em cascas das laranjas, onde cerca de 250 g foram retirados com o auxílio de uma faca higienizada. O albedo foi posteriormente seco em estufa (Nova ética, modelo 407-818) a 37 ± 2 °C por 72 h, seguido pela moagem subsequente do material seco usando um liquidificador (Philips Walita RI2084), e peneiramento a 115 mesh obtendo um rendimento de 75%. O composto foi armazenado em embalagem apropriada para posterior utilização nas formulações dos filmes.

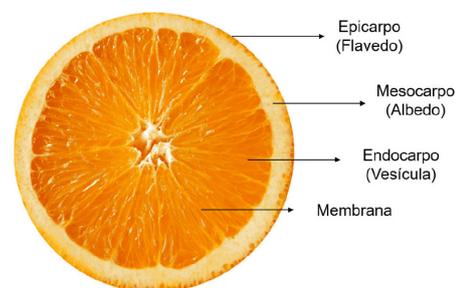


Figura 1. Composição estrutural da laranja (*Citrus sinensis*)

2.3. Desenvolvimento dos filmes

Para a síntese dos filmes, foram estudadas diferentes formulações através do composto central rotacional gerado pelo software Design Expert versão 7.0 (Stat-Ease Inc., EUA), contendo materiais estruturante e compostos bioativos, que possam favorecer a manutenção da vida útil de alimentos. Na Tabela 1, são descritas as formulações dos filmes, indicando a quantidade de cada componente usado, sendo eles o glicerol, a pectina, albedo, óleo de linhaça e

Tabela 1. Formulações dos filmes desenvolvidos

Formulações	Ácido cítrico (mol/L)	Glicerol (mL)	Pectina (g)	Albedo (g)	Óleo de linhaça (mL)	Tween 80 (mL)
1	3,00	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
2	4,00	0,75	1,50	1,00	1,50	0,10
3	1,59	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
4	3,00	1,12	1,50	2,00	0,29	0,20
5	3,00	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
6	3,00	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
7	3,00	1,12	1,50	2,00	1,71	0,20
8	3,00	0,63	1,50	0,60	1,00	0,06
9	2,00	0,75	1,50	1,00	0,50	0,10
10	2,00	1,35	1,50	3,00	1,50	0,30
11	3,00	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
12	3,00	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20
13	4,00	1,35	1,50	3,00	0,50	0,30
14	3,00	1,47	1,50	3,40	1,00	0,34
15	4,41	1,12	1,50	2,00	1,00	0,20

*Tween 80 - 10% em relação ao óleo.

Tween 80, além de indicar a concentração da solução de ácido cítrico usada para cada formulação.

Os ingredientes utilizados possuem atividades específicas, sendo o uso do glicerol como agente responsável pela plasticidade, e Tween 80 como o surfactante destinado à estabilização dos filmes, ambos sendo hidrofílicos.²² Além disso, com o objetivo da redução dos resíduos oriundos da indústria de suco de laranja, foram usados a pectina e o albedo, ambos com a função de gelificar e estruturar o filme.^{13,14} O óleo de linhaça dourada foi proposto pois além de agregar valor nutricional, pode oferecer propriedades bioativas ao filme, diante sua composição rica em ácidos graxos ômega 3 e ômega 6.²³

Na elaboração de filmes à base de pectina e albedo, o pH ácido é essencial para a gelificação eficaz de ambos os componentes. Para o estudo foi considerado os efeitos das variações de pH sobre a funcionalidade do albedo, constituído de porções significativas de pectina em pH ácido.²⁴ O albedo, a parte branca das frutas cítricas, contém uma quantidade significativa de pectina de alta metoxilação. É bastante conhecido que o albedo de frutas cítricas consiste em quase 50% de pectina.²⁵ Dessa forma, atenta-se para a possibilidade da valorização de resíduos cítricos industriais, como a casca da laranja, permitindo serem reutilizados como matéria-prima em outras indústrias.²⁶

Como mostrado por Cui *et al.*,²⁷ a gelificação da pectina ocorre quando suas cadeias se ligam através de ligações de hidrogênio, um processo que é significativamente facilitado em pH baixo. Em condições ácidas, os grupos carboxilas do ácido galacturônico presentes da pectina, permanecem protonados (-COOH), reduzindo a carga negativa e conseqüentemente a repulsão eletrostática entre as moléculas de pectina, assim como demonstra na Figura 2. Isso permite que as moléculas se aproximem e interajam,

promovendo a formação de uma rede coesa que aprisiona água e forma o gel.²⁸

Para a formulação dos filmes, foi seguida a metodologia descrita por Wang *et al.*,²⁹ com modificações. Inicialmente foram homogeneizados o glicerol em um volume de 50 mL de solução de ácido cítrico em diferentes concentrações, conforme indicado na Tabela 1), usando agitador magnético (Nova Ética, modelo 119/E) a 800 rpm sob temperatura ambiente até a homogeneização completa. Após homogeneização, foram dissolvidos nesta solução o albedo e a pectina, em agitação à 800 rpm por 20 min a 70 °C. Após completa dissolução, foram adicionados o óleo de linhaça e o Tween 80 servindo como emulsificante, acrescidos de mais 20 mL de solução de ácido cítrico sob agitação contínua a 500 rpm por 20 min. Para avaliar as propriedades das formulações, foram moldadas cerca de três unidades contendo 15 g de cada solução formadora de filme em placas de polipropileno (85 × 15 mm) e secas em estufa a 40±2 °C por 16 h. Após a secagem, todas as amostras foram destacadas das placas e embaladas adequadamente, seguidas do armazenamento em dessecador conforme representado na Figura 3, com posteriores análises de caracterização.

2.4. Caracterização dos filmes

2.4.1. Aparência visual dos filmes

Imagens digitais foram registradas para garantir homogeneidade e uniformidade dos filmes.¹⁴ Para tal, foi usado uma câmera digital galaxy A12 (Samsung) mantendo distância de 30 cm e iluminação especificada.

2.4.2. Espessura

A espessura dos filmes foi medida com um micrômetro externo digital (0 a 25 mm com resolução de 0,001 mm,

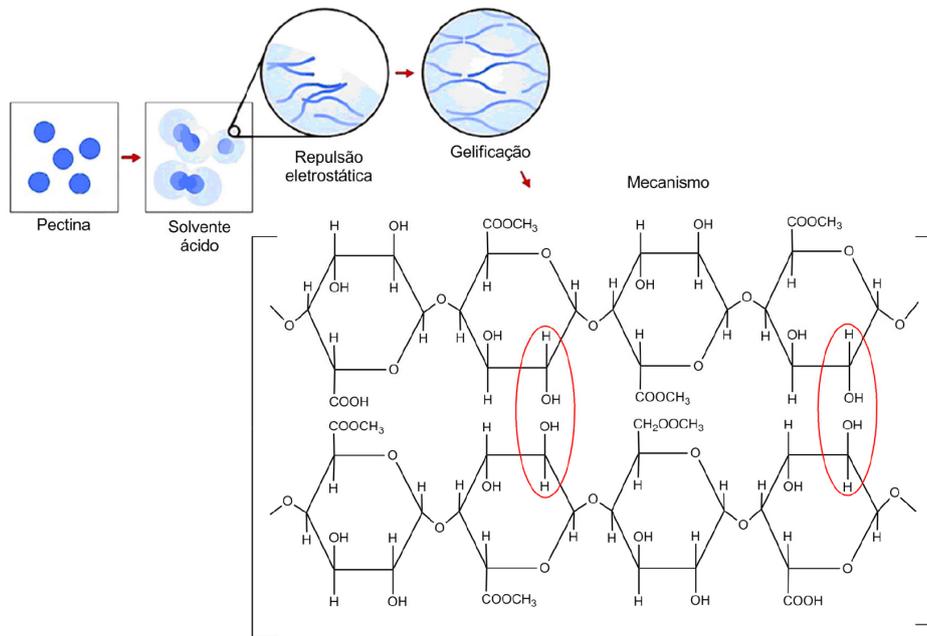


Figura 2. Mecanismo da gelificação da pectina

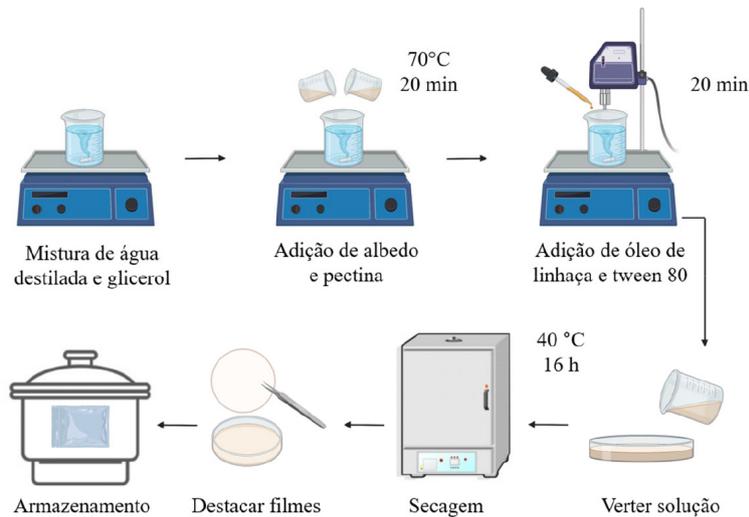


Figura 3. Representação esquemática do procedimento da formulação dos filmes a base de albedo e pectina

modelo IP40/Digimess). A medição foi realizada em três áreas diferentes do filme, apresentando valor médio em mm.

2.4.3. Teor de umidade e solubilidade em água

O teor de umidade (U) e a solubilidade em água (S), foram avaliados, conforme Friedrichsen *et al.*,³⁰ com modificações. Três pedaços foram retirados de cada uma das amostras com dimensão de 2 cm × 2 cm. A massa inicial (M_0) foi obtida utilizando cadinhos previamente calcinados, e a massa final (M_f) foi obtida após secagem em estufa a 103±2 °C, até peso constante. A porcentagem de U foi calculada seguindo a Eq. (1):

$$U(\%) = \left(\frac{M_0 - M_f}{M_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde M_0 é a massa inicial e M_f é a massa final.

Para analisar a solubilidade em água, os pedaços secos pesados anteriormente na determinação do teor de umidade, foram colocados em tubos Falcon contendo 30 mL de água destilada a 25 °C por 24 h. Após este tempo a solução foi filtrada a vácuo usando papel filtro previamente pesado (M_i) e, depois, levado para estufa à 103 °C por 24 h e pesado (M_f) utilizando a Eq. (2):

$$S(\%) = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde, M_i é a massa inicial e M_f é a massa final.

2.4.4. Cinética de intumescimento

A cinética de intumescimento (*CI*) foi realizada de acordo com Bruni *et al.*,³¹ com adaptações. A capacidade de intumescimento de cada filme foi medida pela pesagem de filmes (2 cm x 2 cm). O peso inicial do filme seco (M_0) foi obtido, e mantidos em tubo falcon contendo 30 mL de água destilada durante diferentes intervalos de tempo (1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 min). A pesagem foi efetuada e a cinética de intumescimento foi calculada pela Eq. (3).

$$CI (\%) = \left(\frac{M_f - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

onde, M_f é a massa do filme inchado em determinado tempo (min) e M_0 é a massa inicial do filme seco.

2.4.5. Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada gravimetricamente de acordo com o método aplicado por Friedrichsen *et al.*³⁰ Os filmes foram colocados em um recipiente fechado contendo nitrato de magnésio (53% de umidade relativa, UR) a 25 °C (monitoradas usando um Termo-Higrômetro Digital, modelo 7666, da Incoterm) por 48 h. Após, os filmes foram fixado no topo da cápsula de permeação (abertura circular de 60 mm²) contendo uma solução saturada de cloreto de cálcio anidro (2% UR). Em seguida, a cápsula foi acondicionada em dessecador contendo solução de nitrato de magnésio (53 % UR) a 25 °C, sendo pesados a cada hora até peso constante. Os ensaios foram realizados em triplicata.

$$PVA \text{ (g m (Pa m}^2 \text{ s)}^{-1}) = \frac{w \times L}{A \times t \times \Delta P} \quad (4)$$

onde, w é a massa da água permeada através do filme (g), L é a espessura do filme (m), A é a área de permeação (m²), t é o tempo de permeação (s) e ΔP a diferença de pressão de vapor de água entre o interior e o exterior das células de permeação (Pa).

2.4.6. Ângulo de contato em água

Para medição do ângulo de contato com a água (ACA),

foi utilizado um medidor de ângulo de contato Camplus Micro (Tantec Inc., EUA), de acordo com Bruni *et al.*,³¹ com modificações. Filmes com dimensão 2 cm x 2 cm foram fixados na placa móvel do equipamento. Em seguida aproximadamente 3 µL de água destilada foram depositados sobre a superfície do filme. O ângulo formado pela gota foi visualizado através da projeção de luz no gráfico angular de referência do aparelho. Para medir o ângulo, o ajuste foi feito no canto da projeção até alcançar seu ponto mais alto. Três medições foram feitas em diferentes pontos do filme.

2.5. Aplicação de revestimento em mamões

2.5.1. Revestimento para mamão

Para aplicação do filme em mamões, foi realizado a seleção de acordo com a ausência de fatores fisiológicos. Os frutos foram escolhidos por apresentarem um tamanho homogêneo e uma coloração verde-amarelada, indicando estágio de maturidade ideal para aplicação de revestimento e estudo do seu armazenamento, assim conforme indicado por Mendy *et al.*²¹ Essa escolha visa garantir a qualidade dos frutos e a eficácia da aplicação do filme, proporcionando uma padronização de amostras para conservação.

Todos os frutos foram higienizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio 0,1%, por 3 min, lavados em água corrente e secos. Posteriormente, foram separados 3 mamões sem aplicação do filme (controle), nos outros 3 mamões foram aplicados a solução formadora de filme de melhor desempenho frente aos ensaios anteriores, com o auxílio de um pincel. As frutas revestidas e não revestidas, foram armazenadas em bandejas abertas para simular a exposição a fatores externos como luz, oxigênio e temperatura, assemelhando-se às condições de mercado. O armazenamento foi monitorado usando um Termo-Higrômetro Digital, modelo 7666, da Incoterm, com temperatura média de 25±5 °C com 42% de umidade relativa (UR). A representação do processo de aplicação do filme nos mamões pode ser observada na Figura 4. A avaliação foi desempenhada por 15 dias.

2.5.2. Aparência física do fruto

A avaliação da aparência física dos mamões foi realizada

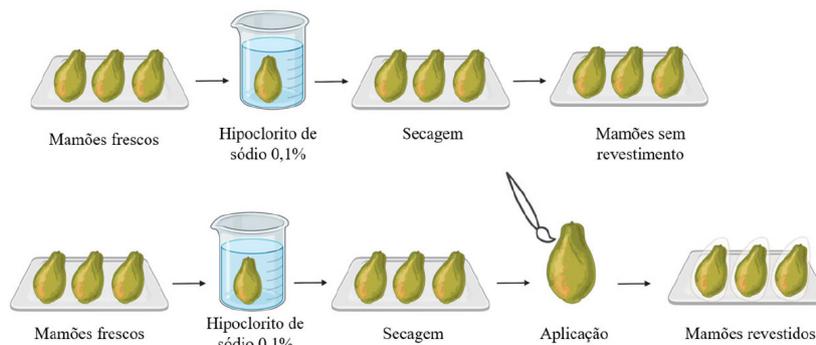


Figura 4. Esquema de aplicação dos filmes nos mamões

qualitativamente por meio de fotografias capturadas com uma câmera (Samsung galaxy A12), focando nas alterações superficiais dos frutos. As imagens foram registradas mantendo distância de 30 cm e iluminação especificada entre toda avaliação do armazenamento das frutas em condições ambientais de 25 °C e 75% de umidade relativa. Estas condições de armazenamento de mamão refletem o armazenamento comum de sua comercialização.¹⁸

2.5.3. Perda de massa

A perda de massa (PM) foi avaliada conforme Friedrichsen *et al.*,³⁰ com algumas modificações. Foram avaliados os mamões sem aplicação do filme (controle) e o mamão com aplicação da formulação (5) entre os dias 0 (P_0) até o dia 15 (P_n). A diferença de massa foi calculada através da Eq. 5.

$$PM(\%) = \frac{P_0 - P_n}{P_0} \times 100 \quad (5)$$

onde, P_0 e P_n são os pesos inicial e final dos mamões.

2.6. Análise estatística

O tratamento dos dados obtidos na caracterização dos filmes e qualidade dos mamões foram realizados utilizando o software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT Inc.) pela análise de variância (ANOVA) entre amostras e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3. Resultados e Discussão

3.1. Desenvolvimento e aparência do filme

Todas as formulações desenvolvidas resultaram em filmes uniformes e estáveis, com estrutura de película bem formada após a secagem, sem a presença de trincas

ou rachaduras. A análise visual das imagens digitais na Figura 5 revelou variações significativas na cor aparente dos filmes, variando de tons amarelados claros e escuros, influenciados pelas características dos materiais utilizados nas formulações.

Notou-se um escurecimento mais pronunciado nas amostras 4, 5, 12, 13, e 14, indicando maior pigmentação. Esse fenômeno pode ser atribuído à concentração dos ingredientes nas formulações e ao pH variando de 3 a 4. A taxa de reação irá alterar com a mudança do nível de acidez (pH).³² Essa reação química induzida pelo aquecimento de açúcares, como frutose e glicose, presentes em maior quantidade no albedo, foi mais evidente nas formulações 13 e 14, que continham uma maior concentração desse ingrediente. Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira *et al.*,³³ que também observaram diferenças de cor em filmes à base de pectina, associando-as à caramelização dos açúcares, associada à reação de escurecimento não enzimático que ocorre em açúcares redutores sob altas temperaturas. Além disso, é geralmente entendido que os produtos de degradação do ácido L-ascórbico ou outros compostos carbonílicos como açúcares, estão envolvidos em reações que resultam no escurecimento e se polimerizam para produzir materiais escuros.³⁴ Do mesmo modo, o aumento na tonalidade amarelada dos filmes podem ser atribuídas principalmente aos compostos polifenóis incluídos no ácido cítrico, assim conforme associado por Wu *et al.*,³⁵ em filmes compostos de amido/álcool polivinílico/ácido cítrico.

No entanto, foram observados aglomeração residual na formulação 3, o que pode ter sido influenciado pelo seu pH mais baixo (1,59) em comparação com as demais amostras. As pectinas comerciais, em geral, são produzidas a partir de cascas de frutas cítricas por extração ácida aquosa quente. Conforme indicado por Fishman *et al.*,²⁴ filmes com pH 2 produz menos fendas do que aqueles de pH 4, sugerindo que em pH mais baixo, a pectina se solubiliza às custas do albedo. Portanto, o pH de 1,59 da amostra 3 pode ter

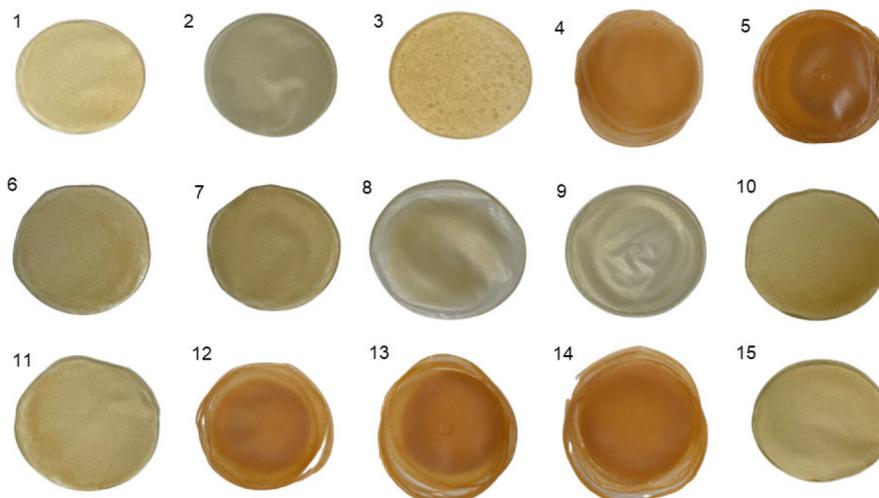


Figura 5. Aparência visual dos filmes

contribuído para a aglomeração de pectina, devido sua interação com albedo da sua composição.

3.2. Propriedades de barreira dos filmes

A avaliação das propriedades dos filmes, conforme apresentado na Tabela 2, é crucial para otimizar suas aplicações em embalagens, principalmente em relação à resistência à umidade e às propriedades de barreira. Essas características são fundamentais para preservação da qualidade e integridade do produto. A natureza hidrofóbica de óleos, como o óleo de linhaça utilizado na formulação, contribui significativamente para a eficácia da barreira à umidade. Além disso, o emprego de substâncias plastificantes como o glicerol, associado a pectina e albedo no desenvolvimento desses biomateriais são capazes de promover melhoras nas propriedades de barreira, como redução da troca de vapor de água, o aumento da flexibilidade e a diminuição da fragilidade.^{36,37}

Como observado na Tabela 2, o teor de umidade dos filmes variou entre 11,67±1,96 (amostra 7) e 22,23±4,08% (amostra 8). O teor de umidade obtido na amostra 7, apresentou menor nível, ilustrando o efeito do óleo de linhaça na formação de redes hidrofóbicas, que aumentam a resistência à umidade. Estudos anteriores corroboram esses achados, indicando que a inclusão de óleos, melhora o caráter hidrofóbico dos filmes, resultando em menor teor de umidade.^{38,39} Em contraste, a amostra 8 demonstrou um maior teor de umidade, o que pode ser atribuído à menor concentração de óleo e maior proporção de ingredientes hidrofílicos, como pectina e albedo, que favorecem a absorção de água. Além disso, esse teor de umidade pode estar associado pela quantidade de albedo usado na

formulação, pois este possui menor disposição de sólidos responsáveis pela formação de gel, ao contrário da pectina que já se torna disponível.²⁴

A solubilidade em água (WS) das amostras variou significativamente, de 43,90±5,60% (amostra 1) e 88,12±23,82% (amostra 7), refletindo a capacidade dos filmes de interagir com a água, diretamente influenciada pela composição da formulação. A afinidade do filme com a água está relacionada a processos como difusão da água na matriz, ionização dos grupos carboxílicos, dissociação de ligações iônicas e hidrogênio, além do relaxamento da estrutura polimérica. Esses fenômenos explicam os valores observados, uma vez que componentes com maior número de grupos funcionais hidrofílicos favorecem a absorção e a retenção de água, influenciando diretamente a solubilidade e o comportamento do filme em meio aquoso.^{40,41}

A avaliação da permeabilidade ao vapor de água (WVP) permite identificar o potencial de barreira dos filmes contra a atmosfera.⁴² Os resultados na Tabela 2 mostraram uma baixa taxa de permeação de vapor, variando entre 9,30x10⁻¹¹±1,94x10⁻¹² e 1,16x10⁻¹⁰±9,44x10⁻¹¹ (Pa m² s)⁻¹, sem diferenças significativas (p > 0,05) entre as amostras. A principal função do filme comestível é controlar a transferência de umidade entre o alimento e a atmosfera circundante, conservando assim a vida útil do alimento.³¹

Os resultados do ângulo de contato com a água (WCA) variaram de 23,25±3,59° (amostra 8) a 59,25±2,87° (amostra 1), revelando que as formulações possuem características hidrofílicas, mas com diferentes graus de hidrofobicidade. A amostra 1 demonstrou uma menor capacidade de reter água, indicando um comportamento hidrofóbico devido à presença do óleo de linhaça, o que é corroborado pelos dados de umidade (13,58±1,35%)

Tabela 2. Propriedades da afinidade hidrofílica/hidrofóbica de filmes

Formulações	U (%)	S (%)	SI (%)	PVA (g m (Pa m ² s) ⁻¹)	ACA (°)
1	13,58±1,35 ^{def}	43,90±5,60 ^c	423,69±12,02 ^a	1,51 x10 ⁻¹⁰ ±2,28 x10 ^{-11a}	59,25±2,87 ^a
2	12,61±2,14 ^{ef}	62,78±12,15 ^{bc}	374,63±81,57 ^a	1,16 x10 ⁻¹⁰ ±9,44 x10 ^{-11a}	36,25±5,50 ^{cdef}
3	20,53±0,38 ^{abcd}	71,14±7,27 ^b	382,995±9,69 ^a	2,17 x10 ⁻¹⁰ ±5,66 x10 ^{-11a}	36,00±5,77 ^{cdef}
4	16,82±1,18 ^{bedef}	83,75±2,67 ^b	317,33±67,91 ^a	1,72 x10 ⁻¹⁰ ±8,98 x10 ^{-11a}	34,00±5,23 ^{efg}
5	16,78±2,61 ^{bedef}	66,99±2,58 ^{bc}	406,09±61,13 ^a	1,19 x10 ⁻¹⁰ ±1,42 x10 ^{-11a}	51,00±1,83 ^{ab}
6	18,23±0,50 ^{bedef}	61,59±4,95 ^{bc}	362±19±30,84 ^a	1,16 x10 ⁻¹⁰ ±1,08 x10 ^{-11a}	35,25±2,36 ^{def}
7	11,67±1,96 ^f	88,12±1,34 ^a	409,87±162,82 ^a	2,06 x10 ⁻¹⁰ ±3,93 x10 ^{-11a}	31,50±4,20 ^{fg}
8	22,23±4,08 ^a	66,26±1,32 ^{bc}	321,48±92,84 ^a	1,54 x10 ⁻¹⁰ ±7,71 x10 ^{-12a}	23,25±3,59 ^g
9	15,91±1,14 ^{bedef}	62,20±3,91 ^{bc}	368,47±43,04 ^a	1,57 x10 ⁻¹⁰ ±2,47 x10 ^{-11a}	37,75±2,50 ^{cdef}
10	16,24±1,13 ^{bedef}	64,94±6,07 ^{bc}	324,71±46,42 ^a	9,30x10 ⁻¹¹ ±1,94 x10 ^{-12a}	33,25±3,40 ^{fg}
11	16,28±3,28 ^{bedef}	68,88±1,45 ^{bc}	346,05±148,46 ^a	1,47 x10 ⁻¹⁰ ±3,35 x10 ^{-11a}	37,75±4,57 ^{cdef}
12	22,03±1,51 ^a	61,51±3,15 ^{bc}	302,75±18,92 ^a	1,79 x10 ⁻¹⁰ ±4,55 x10 ^{-13a}	45,75±9,32 ^{bcd}
13	19,66±1,21 ^{bcd}	62,77±2,43 ^{bc}	362,77±32,60 ^a	1,64 x10 ⁻¹⁰ ±2,61 x10 ^{-11a}	47,25±8,02 ^{bc}
14	15,11±2,71 ^{cd}	57,81±15,39 ^{bc}	327,61±37,20 ^a	1,36 x10 ⁻¹⁰ ±7,73 x10 ^{-13a}	46,25±1,26 ^{bcd}
15	18,43±1,54 ^{bedef}	57,40±10,37 ^{bc}	394,01±47,76 ^a	1,43 x10 ⁻¹⁰ ±2,63 x10 ^{-11a}	27,75±2,63 ^{fg}

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p ≤ 0,05) de acordo com o teste de Tukey. U (%): teor de umidade; S (%): solubilidade em água; SI (%): grau de intumescimento; PVA (g m (Pa m² s)⁻¹): permeabilidade ao vapor de água; ACA (°): ângulo de contato; Resultados apresentados em (média±desvio padrão).

e solubilidade ($43,90\pm 5,60\%$). Essas características são benéficas em aplicações onde a resistência à umidade é crucial, pois filmes hidrofóbicos tendem a oferecer melhor proteção contra a degradação de alimentos, como mostrado por outras pesquisas que indicaram que a inclusão de lipídios melhora a impermeabilidade a umidade em filmes comestíveis.^{8,39,43}

Além disso, pelos resultados obtidos, a amostra 5 em particular foi considerada de maior vantagem para aplicação em frutas, pois apresenta um teor de umidade de $16,78\pm 2,61\%$, uma solubilidade de $66,99\pm 2,58\%$ e um ângulo de contato de $51,00\pm 1,83^\circ$. Esses dados indicam que a amostra 5 possui um equilíbrio favorável entre resistência à umidade e capacidade de interação com a água. Essa combinação é particularmente vantajosa para o revestimento de frutas, como o mamão, pois ajuda a preservar a vida de prateleira ao reduzir a degradação do produto pela minimização da liberação de água, e conseqüentemente, é capaz de manter suas características organolépticas e nutritivas por um período mais longo. Portanto, a amostra 5 se destaca como a mais adequada para o revestimento de frutas, alinhando-se com a literatura de Friedrichsen *et al.*³⁰ e Guo *et al.*,⁴⁴ que enfatizam a importância de um equilíbrio entre propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas para otimizar a conservação de alimentos, exercendo o controle de umidade e reduzindo a transpiração das frutas.

3.3. Propriedade óptica e dimensional

A determinação da propriedade óptica dos filmes é fundamental para direcionar as aplicações de embalagem, pois esses fatores como a opacidade estão diretamente relacionados às reações químicas fotoinduzidas e às preferências do consumidor, bem como determina a conservação oferecida aos alimentos.⁴⁵ Paralelamente, a espessura do filme desempenha um papel determinante na definição de suas propriedades finais, impactando diretamente seu desempenho mecânicos e suas barreiras à permeabilidade de gases e vapor de água. A formação da estrutura do filme é influenciada por diferentes fatores, como o volume de solução formadora de filme aplicada, sua composição química e interações entre os componentes, bem como as condições de secagem, que influenciam a espessura final e, conseqüentemente, o desempenho do material em aplicações práticas.^{11,45}

A opacidade obtida nos filmes desenvolvidos teve variação de $1,127\pm 0,298$ (amostra 6) a $4,295\pm 0,273$ (amostra 15). A amostra 15, com a maior opacidade, pode ser mais adequada para aplicações onde a proteção contra a luz é crucial, enquanto amostras como a 6, com menor opacidade, podem ser preferíveis em situações onde a aparência visual do produto é um fator relevante.⁴²

A espessura dos filmes é um fator crítico que pode influenciar diretamente a resistência mecânica e a permeabilidade ao vapor de água. Os resultados obtidos apresentaram a espessura variando entre $0,080\pm 0,013$ μm

Tabela 3. Espessura (μm) e opacidade aparente dos filmes

Formulações	Opacidade	Espessura
1	$3,086\pm 0,258^{\text{bcde}}$	$0,161\pm 0,013^{\text{bcde}}$
2	$1,821\pm 0,214^{\text{sh}}$	$0,127\pm 0,008^{\text{ef}}$
3	$2,243\pm 0,159^{\text{efgh}}$	$0,210\pm 0,021^{\text{a}}$
4	$1,660\pm 0,083^{\text{sh}}$	$0,167\pm 0,028^{\text{abcde}}$
5	$2,029\pm 0,526^{\text{fgh}}$	$0,176\pm 0,029^{\text{abc}}$
6	$1,127\pm 0,298^{\text{h}}$	$0,080\pm 0,013^{\text{f}}$
7	$3,706\pm 0,972^{\text{abc}}$	$0,174\pm 0,038^{\text{abcd}}$
8	$3,353\pm 0,575^{\text{abcd}}$	$0,146\pm 0,014^{\text{cde}}$
9	$2,937\pm 0,631^{\text{cdef}}$	$0,155\pm 0,023^{\text{de}}$
10	$2,615\pm 0,188^{\text{defg}}$	$0,144\pm 0,006^{\text{cde}}$
11	$3,572\pm 0,397^{\text{abcd}}$	$0,155\pm 0,022^{\text{cde}}$
12	$3,582\pm 0,502^{\text{abcd}}$	$0,205\pm 0,025^{\text{ab}}$
13	$4,025\pm 0,977^{\text{ab}}$	$0,208\pm 0,049^{\text{a}}$
14	$4,044\pm 0,375^{\text{ab}}$	$0,146\pm 0,015^{\text{cde}}$
15	$4,295\pm 0,273^{\text{a}}$	$0,135\pm 0,007^{\text{cde}}$

Resultados apresentados em (média \pm desvio padrão). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

(amostra 6) e $0,210\pm 2,90$ μm (amostra 3). Garavand *et al.*,⁴⁶ recomenda uma espessura entre 80 a 200 μm para fins de embalagem/revestimento. Filmes mais espessos foram preparados à medida que o teor de pectina foi aumentado,¹⁴ ou seja, na amostra 3 aplicou-se o menor pH (1,59), o que sugere à composição ter um maior nível de pectina disponível ao filme.

3.4. Aplicação de revestimento em mamão

A aplicação do filme em mamões frescos, visa oferecer seu potencial para manter as características da fruta inalteradas durante o armazenamento e distribuição, visto que esta fruta é de caráter tropical e tem amadurecimento e deterioração acelerados, que limitam sua vida pós-colheita.⁴⁷ Para fins de comparação, no presente estudo foi monitorado o armazenamento durante 15 dias de mamões revestidos (com a formulação 5) e não revestidos, diante avaliação da integridade física aparente e a perda de massa, conforme demonstra a Figura 6.

No dia 0 e 1, todos os frutos apresentaram aspecto aceitável. No geral, visualizou-se na Figura 4a que os mamões revestidos tiveram efeito ao retardo do amadurecimento, agindo como uma barreira física que diminuiu as trocas gasosas e, conseqüentemente, desacelerou o metabolismo respiratório da fruta, mantendo-se verdes e firmes até o dia 15. Em contrapartida, mamões não revestidos apresentaram a partir do 4º dia amarelamento e sinais de deterioração pela presença de *C. gloeosporioides* característico na região do pedúnculo,⁴⁸ enquanto em mamões revestidos não apresentou mesmo após 15 dias.

O amadurecimento acelerado está ligado ao aumento da produção de etileno, resultando em alterações indesejadas

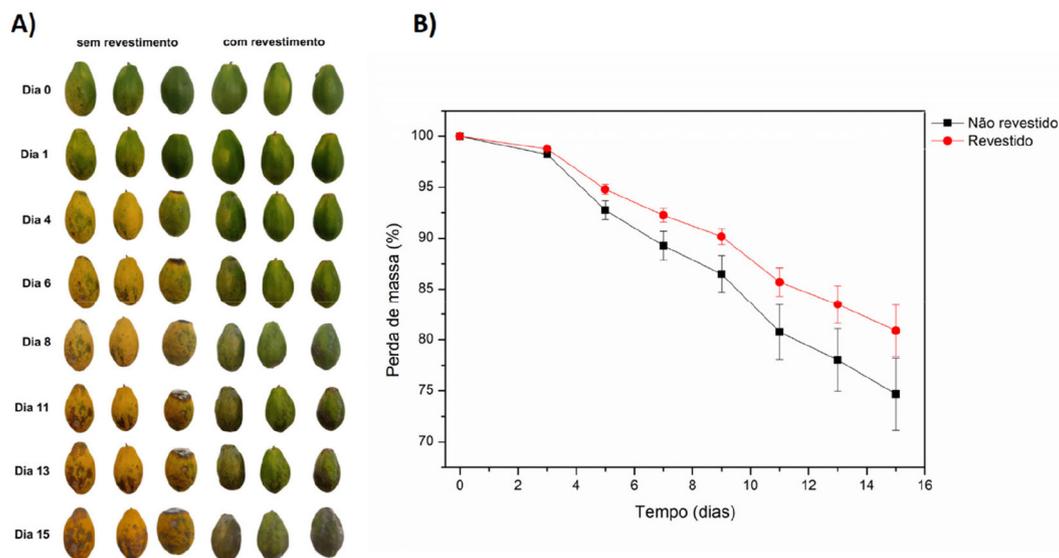


Figura 6. Armazenamento durante 15 dias de mamões revestidos e não revestidos. a) Aparência física. b) Perda de massa durante armazenamento

na polpa e casca da fruta.⁴⁸ O revestimento desenvolvido, contém óleo de linhaça com propriedades antioxidantes, pode ter contribuído ainda mais para a conservação.⁴⁹ Além disso, a literatura mostra que esse efeito de retenção de água é típico de revestimentos comestíveis, que formam uma película semipermeável sobre a superfície da fruta, ajudando a preservar sua qualidade por mais tempo.⁵⁰

Esses resultados corroboram com os apresentados na Figura 6b, uma vez que mamões sem revestimento obtiveram uma perda de massa de $25,32 \pm 3,51\%$ no último dia de armazenamento, enquanto mamões revestidos apresentaram menor perda ($19,11 \pm 2,54\%$). Isso indica que a formulação aplicada foi capaz de retardar as reações de amadurecimento e reduzir a perda de peso dos frutos. A perda de massa é um aspecto relacionado diretamente com a perda de água e taxas de transpiração de frutos, o que pode influenciar na textura, firmeza e parâmetros nutricionais dos mamões.^{18,19} A redução significativa da perda de peso das amostras revestidas valida o efeito barreira à água exercido pelo revestimento.⁵⁰ Tais fatores podem causar alterações significativas no conteúdo nutricional e qualidade da fruta, além de alterar seus atributos sensoriais como textura, aparência e sabor, o qual pode influenciar negativamente em sua comercialização e reduzir seu valor de mercado.⁵¹

Além disso, a adição do óleo de linhaça ao material filmogênico, com suas propriedades hidrofóbicas, reforçam essa barreira, minimizando a perda de água e preservando a integridade dos frutos. Os resultados obtidos no estudo concordaram com os resultados obtidos por Sharma *et al.*,⁴⁹ que relataram menor perda de peso em amostras de mamões revestidos com mucilagem de *Aegle marmelos* e óleo de linhaça.

Ainda, a perda de peso está relacionada com alterações da membrana dos frutos e consequente encolhimento. Nesse sentido, a aplicação dos revestimentos nas superfícies dos

produtos, reduzem o fluxo de oxigênio e retardam a atividade enzimática responsável pela degradação da parede celular, ajudando a manter a integridade da membrana e reter a água no interior dos frutos. Essa aplicação reforça a importância dos revestimentos para o retardo da senescência dos frutos, estendendo sua qualidade e vida útil.⁵² Portanto, a aplicação de revestimento mostrou-se como uma estratégia eficaz para a conservação de mamões frescos, contribuindo para a manutenção de suas características organolépticas e garantindo maior valor comercial ao produto.

4. Conclusão

O estudo realizado demonstrou o potencial do albedo de casca de laranja, aliado ao tratamento ácido e à utilização de pectina, na produção de filmes comestíveis que podem ser utilizados como embalagens biodegradáveis para alimentos. A inclusão de óleo de linhaça dourada e tensoativos na formulação contribuiu para a formação de uma matriz filmogênica, embora o pH tenha se mostrado um fator crucial para a integridade estrutural do filme.

A formulação considerada de melhor desempenho, foi a amostra 5, com umidade de $16,78 \pm 2,61\%$, solubilidade de $66,99 \pm 2,58\%$ e um ângulo de contato de $51,00 \pm 1,83^\circ$ ($27,23\%$ maior do que a amostra 8, formulação de maior permeação de água). Esses dados indicam que a amostra 5 possui um equilíbrio favorável entre a resistência à umidade e capacidade de interação com a água, formando uma barreira protetora contra a umidade e consequente degradação de alimentos. Quando aplicada em mamão, a amostra 5, em comparação ao controle (amostra não revestida), demonstrou um efeito benéfico na conservação da fruta, retardando em $6,21\%$ a perda de água e as reações de amadurecimento e senescência do fruto, indicando uma

possibilidade promissora de aumento de vida útil de mamões quando mantidos em temperatura ambiente.

Dessa forma, a abordagem não só apresenta uma alternativa sustentável para a redução de resíduos da indústria de laranja, mas também promove a preservação de alimentos, contribuindo para a minimização do desperdício. Futuras pesquisas poderão focar na otimização das condições de pH, especialmente sobre a eficiência da extração de pectina do albedo derivado de cascas de laranja no desenvolvimento de filmes. Além disso, é interessante avaliar o comportamento tecnológico e sensorial, bem como condições oferecidas à permeabilidade de gases provenientes da respiração do fruto, uma vez que se faz necessária para a ampliação de aplicações práticas dessas formulações, consolidando sua viabilidade e eficácia no mercado de embalagens ecológicas.

Contribuição dos Autores

Emilly J. Souza: Análise formal, Investigação, Redação – rascunho original. **Izabelle C. Kasukawa:** Análise formal. **Patricia D. S. Santos:** Conceitualização, Análise formal, Supervisão. **Eloize S. Alves:** Análise formal, Curadoria de dados, Redação – rascunho original, Redação - revisão e edição. **Bruno H. F. Saqueti:** Conceitualização, Redação - revisão e edição. **Jéssica S. A. Friedrichsen:** Metodologia. **Andressa R. S. Bruni:** Redação – revisão e edição. **Joana S. Boeing:** Recursos, Supervisão. Redação - revisão e edição. **Oscar O. Santos:** Recursos, Aquisição de financiamento, Supervisão.

Conflito de Interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Disponibilidade de Dados

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação Araucária pela assistência financeira.

Referências Bibliográficas

1. Dubey, P.; Tripathi, G.; Mir, S. S.; Yousuf, O.; Current scenario and global perspectives of citrus fruit waste as a valuable resource for the development of food packaging film. *Trends in Food Science & Technology* **2023**, *141*, 104190. [Crossref]
2. Food and Agriculture Organization (FAO). Markets and Trade - Citrus. *Food and Agriculture Organization* **2021**. Disponível em: <<https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/citrus/en/>>. Acesso em: 14 de Julho de 2024.
3. Russo, C.; Maugeri, A.; Lombardo, G. E.; Musumeci, L.; Barreca, D.; Rapisarda, A.; Cirmi, S.; Navarra, M.; The Second Life of Citrus Fruit Waste: A Valuable Source of Bioactive Compounds. *Molecules* **2021**, *26*, 5991. [Crossref]
4. Elik, A.; Yanik, D. K.; Istanbulu, Y.; Guzelsoy, N. A.; Yavuz, A.; Gogus, F.; Strategies to Reduce Post-Harvest Losses for Fruits and Vegetables. *International Journal of Scientific & Technology Research* **2019**. [Crossref]
5. Magalhães, V. S. M.; Ferreira, L. M. D. F.; Silva, C.; Using a methodological approach to model causes of food loss and waste in fruit and vegetable supply chains. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *283*, 124574. [Crossref]
6. Cheng, H.; Xu, H.; Julian McClements, D.; Chen, L.; Jiao, A.; Tian, Y.; Miao, M.; Jin, Z.; Recent advances in intelligent food packaging materials: Principles, preparation and applications. *Food Chemistry* **2022**, *375*, 131738. [Crossref]
7. Soltani Firouz, M.; Mohi-Alden, K.; Omid, M.; A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International* **2021**, *141*, 110113. [Crossref]
8. Friedrichsen, J. S. A.; Bruni, A. R. S.; Figueiredo, A. de L.; Santos, E. de O. dos; Silva, G. A. R. da; Gomes, E. da S.; Silva, J. F.; Ientz, G. A. S.; Bulla, M. K.; Santos, O. O.; Propriedades e funcionalidades oferecidas a alimentos por filmes e revestimentos comestíveis: Uma revisão. *Research, Society and Development* **2022**, *11*, e468111335649. [Crossref]
9. Jafarzadeh, S.; Mohammadi Nafchi, A.; Salehabadi, A.; Oladzad-abbasabadi, N.; Jafari, S. M.; Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Colloid and Interface Science* **2021**, *291*, 102405. [Crossref]
10. Kocira, A.; Kozłowicz, K.; Panasiewicz, K.; Staniak, M.; Szpunar-Krok, E.; Hortyńska, P.; Polysaccharides as Edible Films and Coatings: Characteristics and Influence on Fruit and Vegetable Quality—A Review. *Agronomy* **2021**, *11*, 813. [Crossref]
11. Rozman, A. S.; Hashim, N.; Maringgal, B.; Abdan, K.; Sabarudin, A.; Recent advances in active agent-filled wrapping film for preserving and enhancing the quality of fresh produce. *Food Control* **2023**, *144*, 109400. [Crossref]
12. Merino, D.; Quilez-Molina, A. I.; Perotto, G.; Bassani, A.; Spigno, G.; Athanassiou, A.; A second life for fruit and vegetable waste: a review on bioplastic films and coatings for potential food protection applications. *Green Chemistry* **2022**, *24*, 4703. [Crossref]
13. Angor, M.; Reducing oil absorption of falafel balls by using edible coating films containing dried orange-albedo powder or dried apple peel during deep frying. *Front. Sustain. Food System* **2023**, *7*. [Crossref]
14. do Nascimento, W. J.; da Costa, J. C. M.; Alves, E. S.; de Oliveira, M. C.; Monteiro, J. P.; Souza, P. R.; Martins, A. F.;

- Bonafe, E. G.; Zinc oxide nanoparticle-reinforced pectin/starch functionalized films: A sustainable solution for biodegradable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules* **2024**, *257*, 128461. [Crossref]
15. Abou-Arab, E. A.; Mahmoud, M. H.; Abu-Salem, F. M. Functional Properties of Citrus Peel as Affected by Drying Methods. *American Journal of Food Technology* **2017**, *12*, 193. [Crossref]
 16. Mateus, A. R.; Barros, S.; Pena, A.; Sanches-Silva, A.; The potential of citrus by-products in the development of functional food and active packaging. *Advances in Food and Nutrition Research* **2023**, *107*, 41. [Crossref]
 17. Wang, C.; Chang, T.; Dong, S.; Zhang, D.; Ma, C.; Chen, S.; Li, H.; Biopolymer films based on chitosan/potato protein/linseed oil/ZnO NPs to maintain the storage quality of raw meat. *Food Chemistry* **2020**, *332*, 127375. [Crossref]
 18. Vinod, B. R.; Asrey, R.; Menaka, M.; Ahamad, S.; Meena, N. K.; Bhan, C.; Avinash, G.; Synergistic effect of aqueous ozone and guar gum coating on the quality and shelf life of stored papaya fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization* **2024**, *18*, 4000. [Crossref]
 19. Narsaiah, K.; Wilson, R. A.; Gokul, K.; Mandge, H. M.; Jha, S. N.; Bhadwal, S.; Anurag, R. K.; Malik, R. K.; Vij, S.; Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology* **2015**, *100*, 212. [Crossref]
 20. Kumar Gupta, R.; AE Ali, E.; Abd El Gawad, F.; Mecheal Daood, V.; Sabry, H.; Karunanithi, S.; Prakash Srivastav, P.; Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging applications. *Waste Management Bulletin* **2024**, *2*, 21. [Crossref]
 21. Mendy, T. K.; Misran, A.; Mahmud, T. M. M.; Ismail, S. I.; Application of Aloe vera coating delays ripening and extend the shelf life of papaya fruit. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. **2019**, *246*, 769. [Crossref]
 22. Eslami, Z.; Elkoun, S.; Robert, M.; Adjallé, K. A.; Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films. *Molecules* **2023**, *28*, 6637. [Crossref]
 23. Rahim, M. A.; Ayub, H.; Sehrish, A.; Ambreen, S.; Khan, F. A.; Itrat, N.; Nazir, A.; Shoukat, A.; Shoukat, A.; Ejaz, A.; Özogul, F.; Bartkiene, E.; Rocha, J. M.; Essential Components from Plant Source Oils: A Review on Extraction, Detection, Identification, and Quantification. *Molecules* **2023**, *28*, 6881. [Crossref]
 24. Fishman, M. L.; Coffin, D. R.; Onwulata, C. I.; Konstance, R. P.; Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. *Carbohydrate Polymers* **2004**, *57*, 401. [Crossref]
 25. Fishman, M. L.; Chau, H. K.; Hoagland, P.; Ayyad, K.; Characterization of pectin, flash-extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. *Carbohydrate Research* **1999**, *323*, 126. [Crossref]
 26. Chavan, P.; Singh, A. K.; Kaur, G.; Recent progress in the utilization of industrial waste and by-products of citrus fruits: A review. *Journal of Food Process Engineering* **2018**, *41*. [Crossref]
 27. Cui, J.; Zhang, L.; Wang, J.; Zhao, S.; Zhao, C.; Liu, D.; Li, W.; Zheng, J.; Study on the relationship between primary structure/spatial conformation and gel properties of pectins from different varieties. *Food Hydrocolloids*. **2023**, *144*, 109055. [Crossref]
 28. Van Rooyen, B.; De Wit, M.; Van Niekerk, J.; Pectin and Alginate Functional Biopolymers: Factors Influencing Structural Composition, Functional Characteristics and Biofilm Development. *Coatings* **2024**, *14*, 987. [Crossref]
 29. Wang, D.; Dong, Y.; Chen, X.; Liu, Y.; Wang, J.; Wang, X.; Wang, C.; Song, H.; Incorporation of apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil into chitosan films displaying antimicrobial effect against *Listeria monocytogenes* and improving quality indices of spiced beef. *International Journal of Biological Macromolecules* **2020**, *162*, 838. [Crossref]
 30. Friedrichsen, J. S. A.; Bruni, A. R. S.; Alves, E. S.; Saqueti, B. H. F.; Figueiredo, A. L.; Souza, P. R. de; Mikcha, J. M. G.; Scapim, M. R. S.; Bonafe, E. G.; Santos, O. O.; Biodegradable Coatings Based on Cassava Starch and Poly(Vinyl Alcohol): Potential Application for Prolonging the Shelf Life of Strawberries (*Fragaria ananassa*) cv. San Andreas. *ACS Food Science & Technology* **2024**. [Crossref]
 31. Bruni, A.; Augusto, G.; Jesus, M. De; Alves, S.; Camila, J.; Ricardo, P.; Oliveira, O. De; Junior, S.; Guntendorfer, E.; Characterization and application of active films based on commercial polysaccharides incorporating ZnONPs. *International Journal of Biological Macromolecules* **2022**. [Crossref]
 32. Xu, S.; Liu, Y.; Mu, X.; Chen, H.; Tao, G.; Sun, Z.; Yang, N.; Ma, F.; Fisk, I. D.; Impact of charged ionic species (NaCl and KCl) on the generation of color and volatile aroma compounds during caramelization. *Food Science and Technology* **2023**, *43*. [Crossref]
 33. de Oliveira, A. C. S.; Ferreira, L. F.; de Oliveira Begali, D.; Ugucioni, J. C.; de Sena Neto, A. R.; Yoshida, M. I.; Borges, S. V.; Thermoplasticized Pectin by Extrusion/Thermo-Compression for Film Industrial Application. *Journal of Polymers and the Environment* **2021**, *29*, 2546. [Crossref]
 34. Bharate, S. S.; Bharate, S. B. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. *Journal of Food Science and Technology* **2014**, *51*, 2271. [Crossref]
 35. Wu, Z.; Wu, J.; Peng, T.; Li, Y.; Lin, D.; Xing, B.; Li, C.; Yang, Y.; Yang, L.; Zhang, L.; Ma, R.; Wu, W.; Lv, X.; Dai, J.; Han, G.; Preparation and Application of Starch/Polyvinyl Alcohol/Citric Acid Ternary Blend Antimicrobial Functional Food Packaging Films. *Polymers (Basel)*. **2017**, *9*, 102. [Crossref]
 36. Menezes Filho, A. C. P. de; Sousa, W. C. de; Castro, C. F. de S.; Características de embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de melancia e incorporadas com amido do tubérculo de *Sinningia elatior*. *Research, Society and Development* **2020**, *9*, e932986547. [Crossref]
 37. Suhasini, M. R.; Rajeshwari, K. M.; Bindya, S.; Hemavathi, A. B.; Prashant, V.; Asad, S.; Eswaramoorthy Rajalakshmanan; Raghavendra, A.; Chandan, S.; Kumar, C. V.; S., M. S.; Prasad, K. S.; Pectin/PVA and pectin-MgO/PVA films: Preparation, characterization and biodegradation studies. *Heliyon* **2023**, *9*, e15792. [Crossref]

38. Cerqueira, M. A.; Souza, B. W. S.; Teixeira, J. A.; Vicente, A. A.; Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films – A comparative study. *Food Hydrocolloids* **2012**, *27*, 175. [[Crossref](#)]
39. Galus, S.; Kadzińska, J.; Moisture Sensitivity, Optical, Mechanical and Structural Properties of Whey Protein-Based Edible Films Incorporated with Rapeseed Oil. *Food Technology and Biotechnology* **2016**, *54*. [[Crossref](#)]
40. Treviño-Garza, M. Z.; Yañez-Echeverría, S. A.; García, S.; Mora-Zúñiga, A. E.; Arévalo Niño, K.; Physico-mechanical, barrier and antimicrobial properties of linseed mucilage films incorporated with *H. virginiana* extract. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* **2019**, *19*, 983. [[Crossref](#)]
41. Zhang, R.; Zhai, X.; Wang, W.; Hou, H.; Preparation and evaluation of agar/maltodextrin-beeswax emulsion films with various hydrophilic-lipophilic balance emulsifiers. *Food Chemistry* **2022**, *384*, 132541. [[Crossref](#)]
42. da Costa, J. C. M.; Bruni, A. R. S.; Jesus, G. A. M.; Alves, E. S.; de Oliveira S. Júnior, O.; Martins, A. F.; Bonafe, E. G.; Enhancing fresh pear preservation with UV-blocking film coatings based on κ -carrageenan, cassava starch, and copper oxide particles. *Journal of Food Engineering* **2023**, 111853. [[Crossref](#)]
43. Chang, Y.-C.; Yu, M.-H.; Huang, H.-P.; Chen, D.-H.; Yang, M.-Y.; Wang, C.-J.; Mulberry leaf extract inhibits obesity and protects against diethylnitrosamine-induced hepatocellular carcinoma in rats. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* **2024**, *14*, 266. [[Crossref](#)]
44. Guo, X.; Li, L.; Qi, Y.; Su, J.; Ou, X.; Lv, M.; Jin, Y.; Han, X.; Zhang, Y.; Wu, H.; Chen, R.; Wang, X.; Green-synthesized antibacterial and unidirectional water-permeable polylactic acid/ZnO composite film for enhanced preservation of perishable fruits. *Materials Today Chemistry* **2024**, *40*, 102284. [[Crossref](#)]
45. Sood, A.; Saini, C. S.; Red pomelo peel pectin based edible composite films: Effect of pectin incorporation on mechanical, structural, morphological and thermal properties of composite films. *Food Hydrocolloids* **2022**, *123*, 107135. [[Crossref](#)]
46. Garavand, F.; Rouhi, M.; Razavi, S. H.; Cacciotti, I.; Mohammadi, R.; Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* **2017**, *104*, 687. [[Crossref](#)]
47. Zhou, Y.; Liu, X.; Liang, X.; Li, H.; Lai, J.; Liao, Y.; Liu, K.; Biochemical and metabolomics analyses reveal the mechanisms underlying ascorbic acid and chitosan coating mediated energy homeostasis in postharvest papaya fruit. *Food Chemistry* **2024**, *439*, 138168. [[Crossref](#)]
48. Escamilla-García, M.; Rodríguez-Hernández, M. J.; Hernández-Hernández, H. M.; Delgado-Sánchez, L. F.; García-Almendárez, B. E.; Amaro-Reyes, A.; Regalado-González, C.; Effect of an Edible Coating Based on Chitosan and Oxidized Starch on Shelf Life of *Carica papaya* L., and Its Physicochemical and Antimicrobial Properties. *Coatings* **2018**, *8*, 318. [[Crossref](#)]
49. Sharma, M.; Bains, A.; Sridhar, K.; Nayak, P. K.; Sarangi, P. K.; Ali, N.; Patil, S.; Chawla, P.; Sharma, M.; Sustainable design and characterization of *Aegle marmelos* fruit nanomucilage-flaxseed oil nanoemulsion: Shelf-life of coated fresh-cut papaya. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* **2024**, *37*, 101409. [[Crossref](#)]
50. Monzón-Ortega, K.; Salvador-Figueroa, M.; Gálvez-López, D.; Rosas-Quijano, R.; Ovando-Medina, I.; Vázquez-Ovando, A.; Characterization of *Aloe vera*-chitosan composite films and their use for reducing the disease caused by fungi in papaya Maradol. *Journal of Food Science and Technology* **2018**, *55*, 4747. [[Crossref](#)]
51. Mashau, M. E.; Moyane, J. N.; Jideani, I. A.; Assessment of post harvest losses of fruits at Tshakhuma fruit market in Limpopo Province, South Africa. *African J. Agric. Research* **2012**, *7*. [[Crossref](#)]
52. Lin, Y.; Lin, Y.; Lin, H.; Lin, M.; Li, H.; Yuan, F.; Chen, Y.; Xiao, J.; Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. *Food Chemistry* **2018**, *264*, 1. [[Crossref](#)]