

FILMES COMESTÍVEIS DE QUITOSANA E EXTRATOS NATURAIS PARA PROTEÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS

Data de submissão: 09/03/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Anna Paulla Ferreira Araújo

Universidade do Estado de Minas Gerais
– UEMG
Ituiutaba – MG
<http://lattes.cnpq.br/9004077324648071>

Rafaella Ferreira Maia

Universidade do Estado de Minas Gerais
– UEMG
Ituiutaba – MG
<http://lattes.cnpq.br/6119210246656841>

Rafael de Oliveira Pedro

Universidade do Estado de Minas Gerais
– UEMG
Ituiutaba – MG
<http://lattes.cnpq.br/8138341335413386>

RESUMO: O recobrimento de frutas com filmes comestíveis protetores é uma ferramenta importante para evitar a degradação precoce proveniente de oxidação ou ação microbiológica. Neste processo, a superfície da fruta é recoberta por uma fina camada de material protetor que atua como barreira contra a ação microbiológica ou oxidação. Devido às características de biocompatibilidade, segurança alimentar e atividade antimicrobiana, os filmes obtidos pela interação de quitosana (polímero de

origem natural obtido do exoesqueleto de crustáceos) e óleo essencial de orégano (OEO) surgem com uma excelente alternativa para essa finalidade. Essas substâncias foram escolhidas nesse estudo por apresentarem características importantes como atividades antimicrobiana e antioxidante, biocompatibilidade, baixo custo e abundância. A verificação da efetividade dos filmes protetores foi realizada em amostras de morangos. Os resultados obtidos demonstram que filmes de quitosana contendo OEO podem ser produzidos para proteção de frutas. As amostras apresentaram boa manuseabilidade, textura, aparência e espessura. Testes de biodegradabilidade em água e solo indicam que os filmes são biodegradáveis. Morangos tratados com filmes de quitosana e OEO mantiveram sua aparência e textura por períodos mais longos de tempo. Portanto, os resultados obtidos sugerem que os filmes de quitosana e extratos naturais são uma alternativa em potencial na proteção pós-colheita de frutas. **PALAVRAS-CHAVE:** Filmes comestíveis; quitosana; produtos naturais.

EDIBLE CHITOSAN FILMS AND NATURAL EXTRACTS FOR POSTHARVEST PROTECTION OF FRUIT

ABSTRACT: The early degradation of fruits, resulting from oxidation or microbiological action, can be avoided by using edible films. In this process, the surface of the fruit is covered with a thin layer of protective material that acts as a barrier against microbiological action or oxidation. Due to the characteristics of biocompatibility, food safety and antimicrobial activity, the films obtained by the interaction of chitosan (biopolymer obtained from the exoskeleton of crustaceans) and oregano essential oil (OEO) appear as an excellent alternative for this purpose. These substances were chosen in this study due to their important characteristics such as antimicrobial and antioxidant activity, biocompatibility, low cost and abundance. The effectiveness of the protective films was studied on strawberries samples. The obtained results demonstrate that chitosan films containing OEO can be effectively used for fruit protection. The samples showed good texture, appearance and thickness. Biodegradability tests in water and soil indicate that the films are biodegradable. Strawberries treated with chitosan films and OEO maintained their appearance and texture for longer periods of time. Therefore, the results obtained suggest that chitosan films and natural extracts are a good alternative for postharvest protection of fruits.

KEYWORDS: Edible films; chitosan; natural products.

1 | INTRODUÇÃO

A durabilidade dos alimentos nas prateleiras é um dos principais obstáculos enfrentados pelo setor alimentício. As frutas, sobretudo aquelas mais frágeis, são afetadas pelas deteriorações provenientes da ação de microrganismos ou do envelhecimento natural (senescência) (CARVALHO; CONTE-JUNIOR, 2022). Tais alterações influenciam propriedades como aparência, textura, odor e sabor e induzem o descarte do produto devido à baixa aceitação dos consumidores.

Além das perdas por origem intrínseca, como oxidação e degradação fisiológica, as frutas podem ser desperdiçadas devido à fatores extrínsecos como ataque de pragas e danos físicos. Neste contexto, várias estratégias estão sendo desenvolvidas para mitigar tais problemas, buscando-se melhorar a preservação, o aumento do tempo de prateleira e a qualidade de frutas (ADHIKARI; KOIRALA; ANAL, 2022; KOU; PETERS; MUCALO, 2022; WANG *et al.*, 2023).

A degradação precoce proveniente da oxidação natural ou ação microbiológica pode ser evitada com o recobrimento da superfície do alimento utilizando-se filmes comestíveis. Tais revestimentos são formados por filmes finos capazes de criar barreiras semipermeáveis a gases e vapor d'água, evitando a contaminação por microrganismos e auxiliando na preservação da qualidade do produto.

Os revestimentos comestíveis devem ser desenvolvidos em conformidade às vias de deterioração de cada produto e compatíveis em relação as características organolépticas e funcionais (SAHA *et al.*, 2017; ZAMBRANO-ZARAGOZA *et al.*, 2018). Desse modo, a

utilização de biomoléculas e compostos de origem natural é de fundamental importância para a preservação das propriedades das frutas após a colheita.

Diante desse contexto, o presente trabalho objetivou a síntese, caracterização e investigação das propriedades de filmes comestíveis protetores baseado em quitosana e extratos naturais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da quitosana

A determinação do grau de desacetilação da quitosana foi feita utilizando a técnica de titulação potenciométrica segundo o método de Tolaimate e colaboradores (TOLAIMATE *et al.*, 2000). Nesse método, aproximadamente 40 mg de quitosana, previamente seca na estufa à 50 °C até atingir valor constante, foi dissolvida em 10 mL de ácido clorídrico padronizado ($\sim 0,1 \text{ mol L}^{-1}$). A solução resultante foi titulada com solução de hidróxido de sódio padronizado ($\sim 0,1 \text{ mol L}^{-1}$). O valor do pH foi monitorado utilizando um pHmetro Digimed DM-2P durante o processo de titulação.

2.2 Preparo e caracterização dos filmes

A solução filmogênica de quitosana (1% p/v, 250 mL) foi preparada pela dispersão do polímero em ácido acético glacial (1%, v/v), de acordo com o proposto por Pilon e colaboradores (PILON *et al.*, 2015). Essa solução foi mantida em agitação constante por 12h para garantir completa solubilização da quitosana.

As soluções filmogênicas contendo óleo essencial foram preparadas pela técnica de gelificação iônica, conforme descrito por Keawchaoon e Yoksan (KEAWCHAOON; YOKSAN, 2011) com algumas modificações. A quitosana (1% p/v) foi dispersa em uma solução aquosa de ácido acético glacial (1% v/v) à temperatura ambiente e mantida sob agitação por 12h. Na sequência, o óleo essencial foi adicionado gota-a-gota nessa mistura mantida em agitação vigorosa. Diferentes volumes do óleo essencial foram adicionados de maneira a obter diferentes proporções em peso de quitosana:óleo essencial. Em seguida, a solução aquosa de tripolifosfato de sódio (TPP, 0,3% p/v, 25 mL) foi adicionada lentamente sobre a emulsão e submetida à agitação constante e temperatura ambiente.

Os filmes utilizados para caracterização foram obtidos pela técnica de *casting*. Nesta técnica uma solução filmogênica é depositada sobre um suporte e seca por evaporação do solvente. Tais filmes foram caracterizados por análise subjetiva, espessura, umidade. Na avaliação subjetiva dos filmes foram verificadas características como ausência de rupturas e/ou fraturas após a secagem, homogeneidade e manuseabilidade. Para cada uma dessas características foi atribuída uma classificação: ótimo, regular e insatisfatório.

2.3 Estudos de biodegradabilidade em água e solo

A determinação da biodegradabilidade dos filmes em água foi realizada conforme descrito por Kaya e colaboradores (KAYA *et al.*, 2018). Amostras dos filmes com dimensões de 2 x 3 cm foram recortadas, pesadas e transferidas para béqueres de 25 mL. Em seguida, 20 mL de água foram adicionados aos filmes e mantidos em temperatura ambiente por 48 h. Após o período de imersão, as amostras resultantes dos filmes foram secas em estufa a 80 °C e novamente pesadas para determinação da massa final restante do filme. Foram utilizadas 3 amostras de cada filme. A perda de peso do filme devido a degradação em água foi calculada pela Equação (1).

$$\text{Biodegradação em água (\%)} = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%) \quad (1)$$

O estudo da biodegradabilidade dos filmes no solo foi feito conforme descrito por Kaya e colaboradores (KAYA *et al.*, 2018). Para tanto, amostras dos filmes secos (2 x 3 cm) foram previamente pesadas e acondicionadas em recipientes contendo solo. Cerca de 10 mL de água foram adicionados às amostras e após 30 dias os pesos finais foram medidos. Devido ao ambiente de biodegradação natural, a microflora do solo não foi artificialmente modificada. Foram utilizadas 3 amostras de cada filme. A perda de peso do filme devido a degradação no solo foi calculada pela Equação (2).

$$\text{Biodegradação em solo (\%)} = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%) \quad (2)$$

2.4 Recobrimento das frutas

O recobrimento das frutas foi realizado de acordo com o proposto por Martínez-Hernández e colaboradores (MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ; AMODIO; COLELLI, 2017). Nesta etapa do trabalho foram selecionados morangos de tamanho, forma e cor uniformes e sem sinais de danos mecânicos ou deterioração por fungos. Inicialmente as amostras foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio 2,5% antes do processo de recobrimento. Após secagem, as amostras foram mergulhadas nas soluções de recobrimento por 2 minutos. Os tratamentos realizados foram os seguintes: (i) imersão em água destilada (controle); (ii) imersão em solução de quitosana (1% p/v) solubilizada em ácido acético (1% v/v); (iii) imersão em solução TPP e quitosana e (iv) imersão em solução de TPP e quitosana contendo óleo essencial. Após o escoamento do excesso de solução, as frutas foram armazenadas e mantidas em temperatura ambiente. Um total de 3 frutas foi utilizado por tratamento.

2.5 Determinação da perda de peso das frutas

A perda de peso (PP, %) das frutas recobertas pelos filmes de quitosana em cada tratamento foi monitorada. O peso foi medido em diferentes intervalos de tempo e comparado com o grupo controle (sem filme protetor). A perda de peso foi calculada

como uma porcentagem do peso inicial, de acordo com a equação (3) (MENG *et al.*, 2008; MOHAMMADI; HASHEMI; HOSSEINI, 2016; NIKKHAH; HASHEMI, 2020).

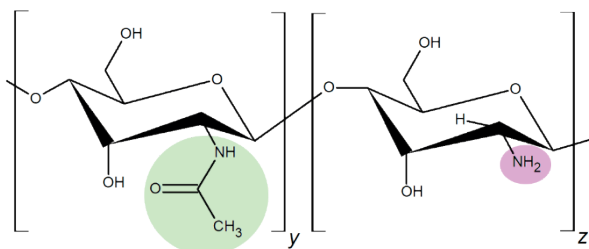
$$PP(\%) = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%) \quad (3)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da quitosana

A quitosana é um polímero natural formado por unidades 2-acetamido-2-deoxi-*D*-glicopiranosose (GlcNAc) e 2-amino-2-deoxi-*D*-glicopiranosose (GlcN) unidas por ligações do tipo $\beta(1 \rightarrow 4)$, conforme ilustra a Figura 1.

As unidades GlcN são comumente chamadas de unidades desacetiladas enquanto as unidades GlcNAc são conhecidas por unidades acetiladas. O grau médio de desacetilação (\overline{GD}) da quitosana é uma medida da quantidade de grupos GlcN presentes na cadeia polissacarídica do polímero. O polímero é caracterizado como quitina se o \overline{GD} for inferior a 50% e como quitosana quando o \overline{GD} é superior a 50%.



Os índices y e z representam as unidades GlcNAc acetilada e GlcN desacetilada, respectivamente.

Figura 1: Representação esquemática da estrutura da quitosana.

Desse modo, o \overline{GD} da quitosana foi determinado utilizando a técnica de titulação potenciométrica. Para tanto, a quitosana foi inicialmente dissolvida em um excesso conhecido de uma solução aquosa de HCl previamente preparada e padronizada. Dessa forma assegura-se que todos os grupos amina ligados no anel glicopiranosídico da quitosana estejam protonados (NH_3^+). A partir da titulação desta solução com hidróxido de sódio padronizado ($0,099 \text{ mol L}^{-1}$), uma curva com dois pontos de inflexão foi obtida conforme pode ser observado na Figura 2.

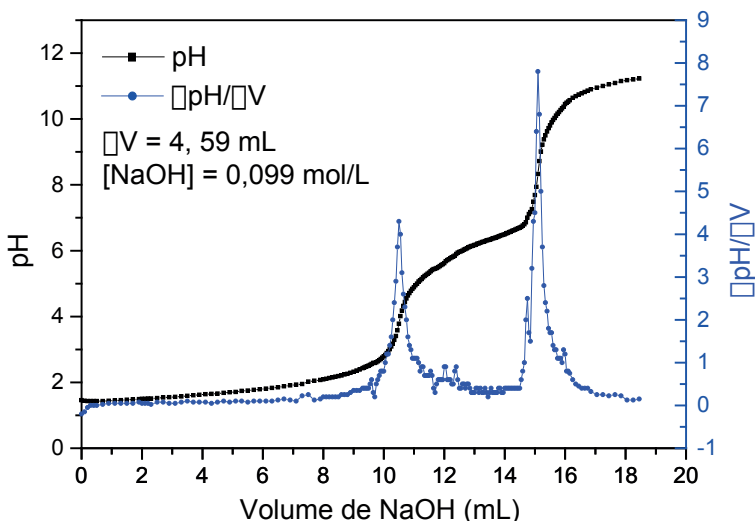


Figura 2: Curva de titulação potenciométrica da quitosana. Em preto: variação de pH em função do volume de NaOH; em azul: derivada primeira.

O primeiro ponto de inflexão observada na curva da derivada primeira indica o final da neutralização dos prótons (H^+) em excesso provenientes da solução de HCl e o início da neutralização dos grupos amina protonados. A segunda inflexão indica o término da desprotonação dos grupos amina da quitosana. A diferença entre esses dois pontos corresponde ao volume de NaOH necessário para a desprotonação dos grupos amina, o que permite calcular o número de mols de unidades desacetiladas. O valor do grau médio de desacetilação \overline{GD} foi calculado utilizando-se a Equação (4):

$$\overline{GD}(\%) = \left(\frac{M_{NaOH} \times V_{NaOH}}{(M_{NaOH} \times V_{NaOH}) + \left(\frac{m_t - [M_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 161,22]}{203,24} \right)} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde M_{NaOH} é a concentração da solução de hidróxido de sódio em mol L^{-1} ; V_{NaOH} corresponde ao volume de base usado para neutralizar as unidades protonadas da quitosana; m_t representa a massa total de quitosana utilizada na titulação; 161,22 e 203,24 correspondem, respectivamente, às massas moleculares das unidades desacetilada e acetilada de quitosana.

O grau médio de desacetilação, calculado utilizando-se o gráfico de titulação potenciométrica e a Equação (4). A determinação do \overline{GD} foi realizada em duplicata, sendo o valor obtido igual a $97,8 \pm 2,2\%$. Esse valor comprova que a amostra estudada é quitosana com alto grau de desacetilação.

3.2 Caracterização dos filmes

Quatro amostras de filmes foram submetidas à análise subjetiva para verificação

das seguintes características. A composição das amostras foi: (a) filme de quitosana (Q); (b) filme de quitosana e TPP (Q.TPP); (c) filme de quitosana, TPP e 0,5% de OEO (Q.TPP.OEO.(0,5)); (d) filme de quitosana, TPP e 1,0% de OEO (Q.TPP.OEO.(1,0)); Para cada parâmetro foi atribuída uma avaliação entre ótimo, regular ou satisfatório. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

A espessura do filme é um parâmetro que tem importante influência nas suas propriedades gerais. Com medições de espessura em pontos diferentes da amostra é possível verificar, quantitativamente, a homogeneidade do filme produzido *in vitro*.

Amostra	Análise Subjetiva				Espessura
	a	b	c	d	
Q	***	***	***	***	0,082 ± 0,020
Q.TPP	***	***	***	***	0,090 ± 0,018
Q.TPP.OEO.(0,5)	***	**	***	**	0,064 ± 0,009
Q.TPP.OEO.(1,0)	**	**	***	**	0,152 ± 0,035

a: Ausência de rupturas/fraturas; b: Homogeneidade; c: Bolhas; d: Manuseabilidade

Tabela 1: Resultados da avaliação subjetiva e espessura dos filmes obtidos no trabalho.

De acordo com os dados da Tabela 1, as espessuras médias variaram entre 0,064 e 0,152 mm. As amostras Q e Q.TPP possuem espessuras praticamente iguais. Ao comparar as amostras Q.TPP.OEO.(0,5) e Q.TPP.OEO.(1,0), é possível notar que o aumento da concentração de OE contribui para aumento da espessura dos filmes. Tal comportamento sugere que as moléculas das substâncias naturais OE afetam a organização estrutural das cadeias poliméricas da quitosana, tornando o filme mais espesso. Isso pode ocorrer por interações eletrostáticas ou impedimento estérico.

Os valores de espessura são semelhantes ao encontrados por Xavier e colaboradores (XAVIER *et al.*, 2020) em filmes de quitosana com fécula e cera de carnaúba, no qual obtiveram filmes com espessuras de aproximadamente 0,092 mm. Filmes de quitosana obtidos por Soares e colaboradores (SOARES *et al.*, 2018) também tiveram espessuras parecidas. Além disso, a espessura dos filmes não ultrapassou 0,25 mm considerado como valor máximo ideal (SKURTYS, 2010). Portanto, os filmes obtidos nesse trabalho possuem espessura adequada para aplicação em alimentos.

O teor de umidade dos filmes é um fator importante no processo de conservação dos alimentos, especialmente para aqueles em que a deterioração natural da fruta é associada ao ganho ou perda de água. Os resultados mostraram que o teor de umidade dos filmes é aproximadamente 20%.

3.3 Biodegradabilidade em água e solo

A biodegradabilidade das amostras de filmes em água foi investigada e os dados estão dispostos na Tabela 2. Os dados mostram que a porcentagem de degradação dos filmes em água variou entre 28,9 e 39,1%. Embora não há diferenças estatísticas entre as amostras, é possível observar que a adição de qualquer um dos compostos (TPP ou OEO) tende a melhorar a degradação da quitosana pura (amostra Q).

A adição de OEO nos filmes reduziu a degradação das amostras em solo. Tais resultados sugerem que a presença do óleo essencial dificulta a degradação dos filmes por microrganismos presentes no solo. Uma explicação para esse comportamento pode estar na propriedade antimicrobiana do óleo essencial de orégano que pode ser capaz de inibir a ação dos microrganismos responsáveis pela degradação do filme.

Amostra	Degradação em água (%)	Degradação em solo (%)
Q	28,9 ± 12,7	31,5 ± 8,6
Q.TPP	39,1 ± 6,7	29,8 ± 8,3
Q.TPP.OEO.(0,5)	38,1 ± 10,3	8,3 ± 1,3
Q.TPP.OEO.(1,0)	33,8 ± 7,9	24,6 ± 1,2

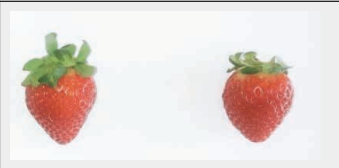


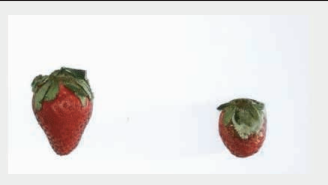
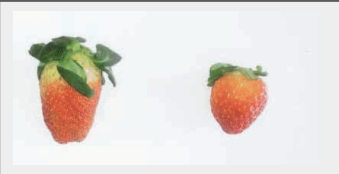



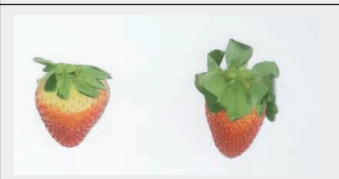
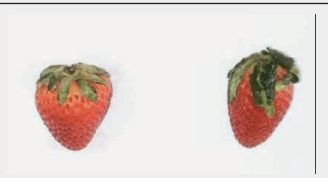
Tabela 2: Dados de biodegradabilidade dos filmes em água e solo.

Do ponto de vista ambiental, os resultados de degradação em água e solos são importantes e promissores. Isso porque atualmente uma das principais vias de proteção de frutas é a utilização de filmes plásticos que necessitam de vários anos para se decomporem, podendo levar até 1200 anos (CHAMAS *et al.*, 2020). Tais resultados reforçam a importância dos resultados obtidos neste trabalho.

3.4 Determinação da perda de peso dos morangos

O Quadro 1 mostra uma comparação entre amostras de morangos tratadas com os filmes de quitosana. É possível observar que o grupo controle (sem filme) foi bastante deteriorado ao longo de 4 dias.

Além disso é possível notar que há desenvolvimento de fungos em ambos morangos do grupo controle. Por outro lado, fica evidente que as amostras tratadas com os filmes permaneceram com melhor aparência ao final do período.

Amostra	Dia 0	Dia 4
Controle		
Q		
Q.TPP		
Q.TPP.OEO.(0,5)		
Q.TPP.OEO.(1,0)		

Quadro 1: Comparativo do efeito protetivo dos filmes de quitosana em amostras de morango.

Além dos resultados observados visualmente, a perda de massa das amostras de morango foi avaliada ao longo de 8 dias e os dados podem ser observados na Figura 3.

É possível notar que a perda de massa do grupo controle foi mais acentuada do que as demais amostras. Esse comportamento se repetiu ao longo de todo o período, indicando que a amostra sem proteção foi mais rapidamente deteriorada por degradação natural e/ou ação microbiológica. As amostras Q e Q.TPP tiveram comportamento semelhante ao longo dos primeiros quatro dias, porém a amostra Q.TPP foi menos efetiva na proteção da fruta após oito dias.

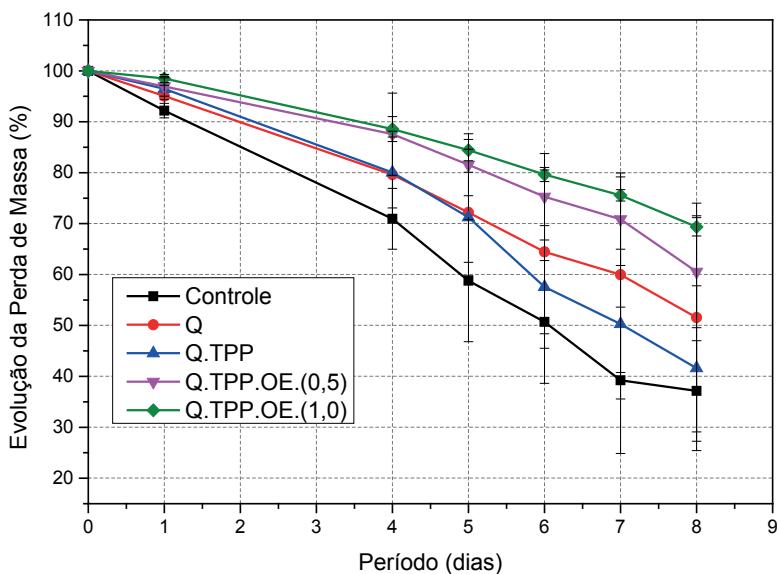


Figura 3: Evolução da perda de massa de morangos tratados com filmes comestíveis.

Os resultados da Figura 3 confirmam que as amostras contendo óleo essencial de orégano nas concentrações de 0,5 e 1,0%, Q.TPP.OE.(0,5) e Q.TPP.OE.(1,0) respectivamente, foram as mais eficientes na manutenção da massa dos morangos ao longo de todo período do tratamento. É possível observar que o aumento da concentração de OEO no filme contribuiu para diminuir a perda de massa das amostras. Esse comportamento sugere que há um efeito sinérgico entre quitosana e OEO, uma vez que o óleo essencial foi capaz de melhorar a capacidade protetiva do filme de quitosana.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que foi possível obter eficientemente filmes comestíveis de quitosana com adequadas propriedades mecânica, física e química, para aplicação pós-colheita em frutas. Foram produzidos filmes contendo óleo essencial de orégano. As amostras obtidas *in vitro* foram caracterizadas e os resultados demonstraram que os filmes possuem propriedades visuais (aparência, homogeneidade, manuseabilidade) e espessura adequadas para aplicação no recobrimento de frutas. Além disso, estudos de biodegradabilidade em água em solo demonstraram que os filmes comestíveis são facilmente degradados em meio aquoso ou em solo.

Após etapas de otimização da produção dos filmes e caracterização das amostras, o efeito protetor foi testado em morangos. Os resultados dos ensaios com frutas demonstraram a efetividade dos filmes de quitosana na proteção das amostras. Os testes realizados em morangos revelaram que os revestimentos formados por quitosana e óleo essencial de

orégano foram capazes de manter o peso e aparência das frutas por períodos de tempo maiores. Tais dados comprovam o efeito sinérgico entre quitosana e óleo essencial.

Desse modo, com base nos resultados apresentados, é possível verificar a capacidade dos filmes protetores. Estes dados comprovam o potencial de aplicação das formulações contendo quitosana e extratos naturais como revestimentos comestíveis em frutas pós-colheita. Assim, os filmes desenvolvidos nesse trabalho surgem como uma importante opção biodegradável, natural, comestível e de baixo custo para melhoria do armazenamento de morangos e maçãs.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Chamada nº 09/2022 – Fortalecimento e Consolidação da Pesquisa na UEMG e UNIMONTES – APQ-03402-22), ao Programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ/UEMG (Edital 08/2021) e ao Programa Institucional de Apoio à Pesquisa – PAPq/UEMG (Edital 01/2022).

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, M.; KOIRALA, S.; ANAL, A. K. Edible multilayer coating using electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries. **International Journal of Food Science & Technology**, v. n/a, n. n/a, 21 mar. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.15704>>.

CARVALHO, A. P. A. de; CONTE-JUNIOR, C. A. Nanoencapsulation application to prolong postharvest shelf life. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 78, p. 102825, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166922001598>>.

CHAMAS, A.; MOON, H.; ZHENG, J.; QIU, Y.; TABASSUM, T.; JANG, J. H.; ABU-OMAR, M.; SCOTT, S. L.; SUH, S. Degradation Rates of Plastics in the Environment. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, n. 9, p. 3494–3511, 9 mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>>.

KAYA, M.; KHADEM, S.; ÇAKMAK, Y. S.; MUJTABA, M.; İLK, S.; AKYUZ, L.; SALABERRIA, A. M.; LABIDI, J.; ABDULQADIR, A. H.; DELIGÖZ, E. Antioxidative and antimicrobial edible chitosan films blended with stem, leaf and seed extracts of Pistacia terebinthus for active food packaging. **RSC Adv.**, v. 8, n. 8, p. 3941–3950, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/C7RA12070B>>.

KEAWCHAOON, L.; YOKSAN, R. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 84, n. 1, p. 163–171, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776511000063>>.

KOU, S. (Gabriel); PETERS, L.; MUCALO, M. Chitosan: A review of molecular structure, bioactivities and interactions with the human body and micro-organisms. **Carbohydrate Polymers**, v. 282, p. 119132, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861722000364>>.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; AMODIO, M. L.; COLELLI, G. Carvacrol-loaded chitosan nanoparticles maintain quality of fresh-cut carrots. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 56–63, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856417301935>>.

MENG, X.; LI, B.; LIU, J.; TIAN, S. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. **Food Chemistry**, v. 106, n. 2, p. 501–508, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607005833>>.

MOHAMMADI, A.; HASHEMI, M.; HOSSEINI, S. M. Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 33, p. 580–588, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415002076>>.

NIKKHAH, M.; HASHEMI, M. Boosting antifungal effect of essential oils using combination approach as an efficient strategy to control postharvest spoilage and preserving the jujube fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 164, p. 111159, 2020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521419307999>>.

PILON, L.; SPRICIGO, P. C.; MIRANDA, M.; DE MOURA, M. R.; ASSIS, O. B. G.; MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, M. D. Chitosan nanoparticle coatings reduce microbial growth on fresh-cut apples while not affecting quality attributes. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 2, p. 440–448, 1 fev. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.12616>>.

SAHA, A.; TYAGI, S.; GUPTA, R. K.; TYAGI, Y. K. Natural gums of plant origin as edible coatings for food industry applications. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 37, n. 8, p. 959–973, 17 nov. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1286449>>.

SKURTYS, O. Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings. In: 2010, [...]. 2010.

SOARES, A. de S.; RAMOS, A. M.; VIEIRA, É. N. R.; VANZELA, E. S. L.; DE OLIVEIRA, P. M.; PAULA, D. de A. Vacuum impregnation of chitosan-based edible coating in minimally processed pumpkin. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 9, p. 2229–2238, 1 set. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.13811>>.

TOLAIMATE, A.; DESBRIÈRES, J.; RHAZI, M.; ALAGUI, A.; VINCENDON, M.; VOTTERO, P. On the influence of deacetylation process on the physicochemical characteristics of chitosan from squid chitin. **Polymer**, v. 41, n. 7, p. 2463–2469, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386199004000>>.

WANG, F.; XIE, C.; YE, R.; TANG, H.; JIANG, L.; LIU, Y. Development of active packaging with chitosan, guar gum and watermelon rind extract: Characterization, application and performance improvement mechanism. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 227, p. 711–725, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181302203121X>>.

XAVIER, T. D. N.; DE OLIVEIRA, V. R. L.; LEITE, R. H. de L.; AROUCHA, E. M. M.; DOS SANTOS, F. K. G. Characterization of biopolymeric films based on cassava starch, chitosan and carnauba wax. **Revista Materia**, v. 25, n. 4, p. 1–12, 2020.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, M. L.; GONZ, R.; MENDOZA-MUÑOZ, N.; MIRANDA-LINARES, V.; BERNAL-COUOH, T. F.; MENDOZA-ELVIRA, S.; QUINTANAR-GUERRERO, D. Nanosystems in Edible Coatings : A Novel Strategy for Food Preservation. **Int. J. Mol. Sci**, v. 19, n. 705, 2018.