

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS COM ADIÇÃO DE MICRO E NANOPARTÍCULAS DE ÓLEO DE SEMENTE DE ROMÃ

RESUMO

O óleo de semente de romã (OSR), vem ganhando atenção devido aos seus efeitos benéficos à saúde associados à sua composição rica em compostos antioxidantes. Sua utilização é limitada por sua baixa solubilidade aquosa e elevada possibilidade de degradação oxidativa, limitações que podem ser contornadas através da sua encapsulação. O objetivo desse trabalho foi produzir e caracterizar quanto a propriedades mecânicas e ópticas, embalagens ativas à base de amido de mandioca, adicionadas de micro e nanopartículas lipídicas de óleo de semente de romã. Os filmes gerados apresentaram superfície homogênea e matriz com poucas irregularidades. As propriedades mecânicas dos filmes com nanopartículas, foram ligeiramente superiores às do filme controle, com exceção do filme com nanopartículas sem óleo que exibiu alta resistência mecânica, menor flexibilidade e maior rigidez. Os filmes incorporados com micropartículas exibiram maior resistência, flexibilidade e rigidez moderadamente maior. Todos os filmes apresentaram boa transparência e luminosidade, mas ainda assim sendo barreiras mais efetivas à luz que o filme controle. Todos os filmes ativos produzidos apresentaram menor transparência e maior barreira à luz que os filmes controle, propiciando sua aplicação para uma variedade de produtos sensíveis a luz.

INTRODUÇÃO

As embalagens desempenham um papel importante na contenção e preservação de alimentos em toda a cadeia de suprimentos. Atualmente, os materiais mais utilizados são à base de polímeros de fontes não renováveis, que estão associados a sérios danos ao meio ambiente. Diante disso, diversas pesquisas realizadas nos últimos anos tratam do desenvolvimento de novas embalagens de alimentos à base de polímeros naturais e biodegradáveis visando a redução ou até mesmo a substituição das embalagens plásticas sintéticas (1; 2).

Entre os biopolímeros mais estudados e utilizados, o amido é considerado um dos candidatos mais promissores, devido à sua biodegradabilidade, custo acessível, abundância e capacidade de formação de materiais termoplásticos contínuos (3; 1). Existe uma demanda dos consumidores por embalagens ativas biodegradáveis, provenientes de fontes naturais e renováveis, como alternativas para melhorar a qualidade dos alimentos, reduzir o uso de aditivos sintéticos, prolongar sua vida útil e trazer menos impactos ambientais. Neste cenário, as embalagens antioxidantes têm sido empregadas para prevenir ou retardar a oxidação de lipídios e proteínas (2).

As tecnologias de micro e nanoencapsulação podem ser associadas às de embalagens ativas com a finalidade de melhorar a estabilidade de moléculas altamente reativas e promover liberação controlada de componentes ativos (4; 5). Além da liberação controlada de ativos, a utilização de micro e nanopartículas pode conferir maior flexibilidade aos filmes, visto que essas partículas podem atuar como plastificante da matriz polimérica, ou maior rigidez e/ou resistência, desempenhando papel de reforço da matriz dos filmes.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo produzir embalagens ativas a partir de amido de mandioca adicionadas de micro e nanopartículas contendo óleo de semente de romã. Os filmes foram caracterizados em relação às propriedades mecânicas e ópticas. Foi avaliada a influência das diferentes escalas de tamanho de partículas (micro e nano) sobre as propriedades dos filmes obtidos.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às propriedades mecânicas dos filmes podem ser observados na Tabela 1. Através destes dados, é possível observar que a adição de partículas lipídicas na matriz polimérica, em especial as micropartículas, afetou as propriedades mecânicas dos filmes.

Tabela 1.: Propriedades mecânicas dos filmes de amido controle (C), adicionados de nanopartículas (N B, N 4:1 e N 1:1) e de micropartículas (M B, M 4:1 e M 1:1).

Filme	Tensão na ruptura (MPa)	Elongação (%)	Módulo de Young (MPa)
C	1,89 ± 0,16 ^a	170,14 ± 9,54 ^a	17,47 ± 5,08 ^a
N B	8,42 ± 0,43 ^b	133,89 ± 4,68 ^b	129,00 ± 4,32 ^b
N 4:1	2,35 ± 0,42 ^{ac}	176,25 ± 11,56 ^{ad}	27,43 ± 1,42 ^c
N 1:1	1,64 ± 0,15 ^a	193,64 ± 16,66 ^{ad}	20,77 ± 1,11 ^{ac}
M B	2,72 ± 0,11 ^c	235,27 ± 8,83 ^c	20,57 ± 0,93 ^{ac}
M 4:1	2,46 ± 0,10 ^c	236,96 ± 4,46 ^c	27,07 ± 4,74 ^c
M 1:1	2,91 ± 0,25 ^c	206,34 ± 15,26 ^{cd}	20,50 ± 1,15 ^{ac}

¹ Médias seguidas da mesma letra na coluna (comparação entre amostras) não diferem significativamente a 5% de significância, pelo teste de Tukey. ² C = Filmes sem adição de partículas; N B, N 4:1 e N 1:1 = Filmes adicionados de nanopartículas; M B, M 4:1 e M 1:1 = Filmes adicionados de micropartículas.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre a amostra C e as amostras N 4:1 e N 1:1, para as propriedades de tensão na ruptura e alongação. A adição de nanopartículas carregadas com OSR não influenciou esses parâmetros, indicando que os filmes C, N 4:1 e N 1:1 possuem menor resistência mecânica e elasticidade intermediária em relação às outras amostras. Os filmes C e N 1:1, apresentaram características semelhantes, inclusive para módulo de Young, indicando que a adição de NLC 1:1 não influenciou as propriedades mecânicas dos filmes. A amostra N 4:1, apresentou propriedades similares de tensão na ruptura e alongação, mas obteve maior rigidez em comparação com o filme C, sem a adição de óleo ou partículas. O comportamento não foi o mesmo observado para a amostra N B quando comparada ao filme controle, sendo essa amostra estatisticamente diferente de todos os filmes produzidos nos três parâmetros analisados.

Todas as amostras com incorporação de micropartículas foram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) do filme controle para as propriedades de tensão na ruptura e alongação. Isso demonstra que a adição de micropartículas aos filmes foi capaz de alterar suas propriedades mecânicas, dando origem a filmes mais resistentes e flexíveis.

O módulo de Young da amostra C foi estatisticamente igual ($p > 0,05$) ao dos filmes N 1:1, M B e M 1:1 o que indica menor rigidez dessas formulações. Enquanto isso, os filmes N 4:1 e M 4:1 exibiram um aumento em relação a esse parâmetro, indicando a formação de filmes mais rígidos do que o filme controle.

As propriedades de tensão na ruptura, alongação e módulo de Young das micropartículas foram estatisticamente iguais ($p > 0,05$) para todas as formulações. Indicando que a diferença de proporção entre os componentes das micropartículas não influenciou as propriedades mecânica dos filmes. O mesmo comportamento foi observado para as nanopartículas (N 4:1 e N 1:1), com exceção da amostra NB, que apresentou diferença significativa em comparação a todas as amostras de filmes.

O aumento dos valores de alongação na ruptura para os filmes com incorporação de micropartículas e a variação observada nessa propriedade para N 4:1 e N 1:1, indicam filmes mais flexíveis, demonstrando que a adição de partículas lipídicas na matriz dos filmes pode colaborar com o efeito plastificante em matrizes de biopolímeros.

Filmes de amido de mandioca adicionados de micropartículas de extrato de uva com alta flexibilidade, apresentaram comportamento semelhante (6). Os autores associaram essa característica a maior mobilidade da matriz polimérica, promovida pelo peso molecular relativamente baixo das micropartículas. O aumento da alongação pela incorporação de nanocápsulas de α -tocoferol em filmes de metilcelulose foi reportado (7). Além de atribuírem o aumento da flexibilidade dos filmes à adição de substâncias hidrofóbicas, os autores citaram que os tensoativos contidos nas nanocápsulas podem ter exercido ação plastificante na matriz do polímero. Da mesma forma, os tensoativos presentes na formulação das micro e nanopartículas lipídicas do presente trabalho (Tween 80 e lecitina de soja), parecem ter influenciado a flexibilidade dos filmes.

Na Figura 1 é possível observar o aspecto visual do filme controle (sem adição de partículas). Todos os filmes produzidos apresentaram superfície homogênea, uma matriz contínua com partículas dispersas, sem bolhas e foram facilmente destacados das placas de secagem, sem romper, não sendo pegajosos ou muito frágeis. A adição de partículas sem óleo (N B e M B) favoreceu a formação de filmes mais opacos (1,57 e 1,60%, respectivamente). Em contrapartida, filmes adicionados de partículas com maior proporção de Compritol (N 4:1 e M 4:1) apresentaram opacidade menor (0,87 e 0,85%, respectivamente) que a do filme controle (1,01%). A amostra N 1:1 obteve o menor valor de opacidade (0,70%) entre todas as amostras, enquanto M 1:1 exibiu um valor intermediário (1,22%). Valores mais altos de opacidade indicam uma transparência menor (8).

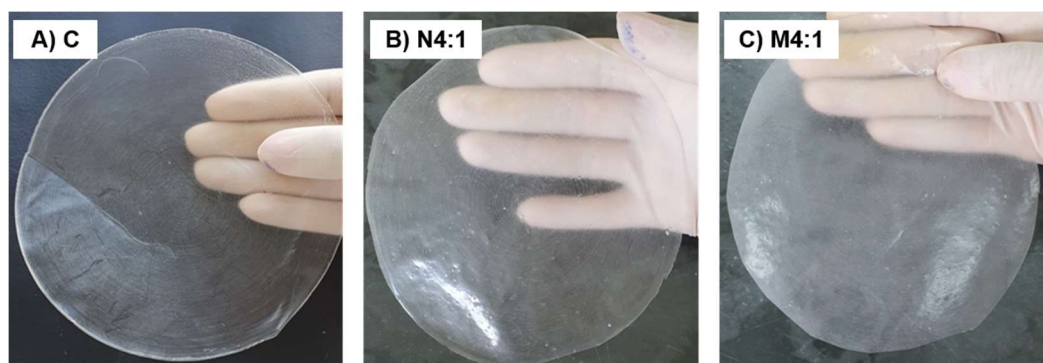


Figura 1: Aspecto visual dos filmes controle (A), adicionados de nanopartículas (B) e de micropartículas (C).

No geral, o tamanho das partículas não influenciou os resultados de opacidade dos filmes, mas as diferentes concentrações de componentes nas partículas desempenharam

interferência nesse parâmetro. Pode-se observar que a presença do óleo nas formulações tornou os filmes mais transparentes que os filmes adicionados de partículas sem OSR.

A propriedade óptica dos filmes é importante para a aparência e proteção os produtos alimentícios da iluminação direta. A utilização de filmes mais escuros e opacos pode ser uma alternativa na conservação de produtos que sofrem oxidação lipídica, já que se torna uma barreira extra contra a luz, um dos fatores que acelera o processo de oxidação (9; 8).

A radiação ultravioleta (UV) tem comprimentos de onda de 200 a 380 nm e a luz visível é representada por comprimentos de onda de 380 a 780 nm (10). Embora os comprimentos de onda correspondentes à luz UV sejam relativamente baixos, a radiação emitida nesta região tem maior energia do que a emitida no espectro visível, induzindo uma maior taxa de oxidação (11). A transmissão de luz dos filmes avaliada para diferentes comprimentos de onda (200 a 800 nm) e os resultados dessa análise estão dispostos na Figura 2.

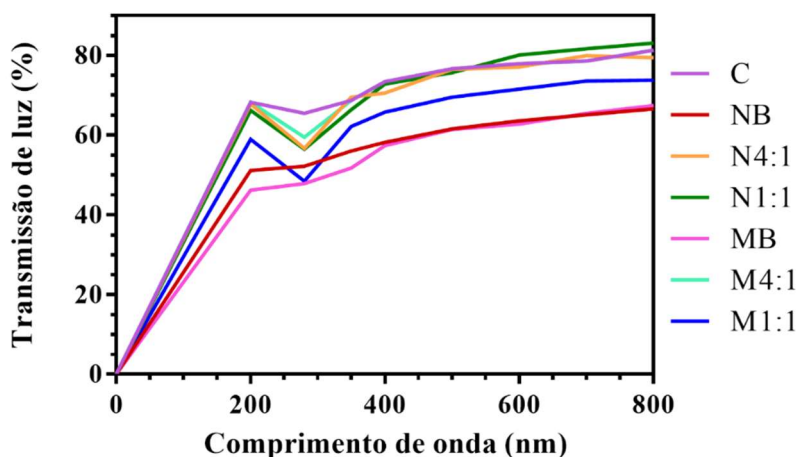


Figura 2: Transmissão de luz dos filmes controle (C), adicionados de nanopartículas (NB, N 4:1 e N 1:1) e de micropartículas (MB, M 4:1 e M 1:1).

Pode-se observar que o filme controle apresentou maior ($p < 0,05$) transmitância de luz na região UV comparado a todas as amostras de filmes adicionadas de partículas. Isso está relacionado ao impedimento da passagem de luz através da matriz dos filmes partículas. Esses resultados estão de acordo com os valores de opacidade dos filmes, nos quais os filmes mais opacos (MB, NB e M 1:1) apresentaram barreira mais eficaz contra a luz UV-A e UV-B. A utilização de filmes mais opacos pode ser uma alternativa na conservação de produtos suscetíveis à oxidação lipídica, já que a barreira extra contra a luz desfavorece o processo de oxidação (12; 13).

É importante ressaltar que apesar da maior opacidade, os filmes ainda são considerados transparentes, o que facilita e viabiliza sua aplicação em alimentos. Resultados semelhantes foram obtidos, com relação às propriedades de barreira à luz, para filmes de amido de mandioca adicionados de nanopartículas poliméricas de extrato de alecrim (14). Todos os filmes ativos produzidos apresentaram menor transparência e maior barreira à luz que os filmes controle. Os autores enfatizaram que todos os filmes eram transparentes o suficiente para serem usados como embalagens transparentes de diversos tipos de produtos.

CONCLUSÃO

A adição de nanopartículas de óleo de semente romã em filmes de amido de mandioca foi capaz de produzir filmes com propriedade de barreira à luz UV, superfície homogênea e propriedades mecânicas ligeiramente superiores às do filme controle, com exceção da amostra N B que exibiu alta resistência mecânica e rigidez. A incorporação de micropartículas de óleo de semente romã na matriz de amido de mandioca deu origem a filmes com propriedades de barreira à luz UV, superfície mais heterogênea e propriedades mecânicas superiores à amostra C, conferindo maior resistência mecânica, flexibilidade e rigidez aos filmes. Estudos complementares seriam necessários para direcionar a escolha entre a utilização de micro ou nanopartículas lipídicas na matriz polimérica de filmes biodegradáveis. Além disso, essa escolha deve ser direcionada ao produto que será acondicionado, sendo necessária a avaliação das características específicas necessárias à proteção desse produto.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. LÓPEZ-CÓRDOBA, A. *et al.* Cassava starch films containing rosemary nanoparticles produced by solvent displacement method. **Food Hydrocolloids**, v. 71, p. 26–34, 1 out. 2017.
2. XIE, Y. *et al.* Active biodegradable films based on the whole potato peel incorporated with bacterial cellulose and curcumin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 480–491, 1 maio 2020.
3. BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348–356, 1 maio 2017.
4. MASTROMATTEO, M. *et al.* Advances in controlled release devices for food packaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 12, p. 591–598, dez. 2010.
5. WEN, J.; CHEN, G.; ALANY, R. G. Theories and Concepts of Nano Materials, Nano- and microencapsulation. In: KWAK, H. (Ed.). **Nano- and Microencapsulation for Foods**. Wiley Blackwell, 2014. p. 15–42.
6. FAN, H. *et al.* Characterization of starch films impregnated with starch nanoparticles prepared by 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TEMPO)-mediated oxidation. **Food Chemistry**, v. 192, p. 865–872, 1 fev. 2016.
7. STOLL, L. *et al.* Microencapsulation of Anthocyanins with Different Wall Materials and Its Application in Active Biodegradable Films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 172–181, 1 jan. 2016.
8. XIE, Y. *et al.* Active biodegradable films based on the whole potato peel incorporated with bacterial cellulose and curcumin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 480–491, 1 maio 2020.
9. DOS SANTOS, F. H. **Elaboração de embalagens biodegradáveis ativas a partir de resíduos agroindustriais para conservação de alimentos**. 2019. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.
10. SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. New York: Wiley, 1991. v. 30.
11. TIBOLLA, H. *et al.* Starch-based nanocomposites with cellulose nanofibers obtained from chemical and mechanical treatments. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 161, p. 132–146, 15 out. 2020.
12. NORONHA, C. M. *et al.* Characterization of antioxidant methylcellulose film incorporated with α -tocopherol nanocapsules. **Food Chemistry**, v. 159, p. 529–535, 2014.
13. DE SOUZA, A. L. **Nanocompósitos de amido reforçados com nanofibras de celulose isoladas a partir da casca de fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* A. St.-Hill)**. 2021. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.
14. LÓPEZ-CÓRDOBA, A. *et al.* Cassava starch films containing rosemary nanoparticles produced by solvent displacement method. **Food Hydrocolloids**, v. 71, p. 26–34, 1 out. 2017.