

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES BICAMADAS DESENVOLVIDOS PELAS TÉCNICAS DE *CASTING* E *ELECTROSPINNING*

MILENA RAMOS VAZ FONTES¹; ELESSANDRA DA ROSA ZAVAREZE²;
ALVARO RENATO GUERRA DIAS³

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – milenarvf@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – elessandrad@yahoo.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – alvaro.guerradias@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia possui grande potencial de aplicação na indústria alimentícia, principalmente no desenvolvimento de embalagens, pois pode fornecer alternativas para favorecer a estabilidade dos alimentos acondicionados e melhorar o desempenho dos materiais, aumentando o grau de proteção conferido pelo sistema de embalagem (ALMEIDA et al., 2015). A utilização de polímeros biodegradáveis, como o amido, o poli ácido láctico (PLA) e a lignina, está sendo cada vez mais encorajada devido ao grande impacto ambiental gerado pelo uso de plásticos derivados de fontes fósseis (BHER et al., 2019). Uma das técnicas mais conhecidas na elaboração de filmes em escala laboratorial é a técnica de *casting*, onde, no caso do amido, após o processo de gelatinização, a amilose e a amilopectina se dispersam na solução aquosa e se reorganizam durante da secagem, formando a matriz que origina o filme (EL HALAL et al., 2015).

Compostos bioativos, como os presentes nos óleos essenciais e também em alguns biopolímeros como a lignina, geralmente possuem boas propriedades antioxidantes e antimicrobianas (ZIKELI et al., 2020), e podem ser incorporados à matriz polimérica dos filmes, direta ou indiretamente. Entretanto, a maioria desses compostos são sensíveis à luz e calor, sendo facilmente degradados em condições inadequadas (FONSECA et al., 2020). Devido a isso, com o intuito de preservá-los, a técnica de eletrofiação denominada *electrospinning* surge como opção de processo, pois consegue protegê-los em estruturas denominadas nanofibras ou nanocápsulas (WEN et al., 2017). Com o propósito de melhorar as propriedades de barreira dos filmes, a tecnologia multicamadas, em que se sobrepõe mais de uma membrana polimérica, visando proporcionar diferentes características nas camadas interiores e exteriores pode ser aplicada (FABRA et al., 2016). Dessa forma, o objetivo do trabalho foi desenvolver estruturas bicamadas para aplicação em futuras embalagens alimentares.

2. METODOLOGIA

Para desenvolver os filmes, foram utilizadas duas fontes de amido: feijão Carioca e trigo Topázio. A solução filmogênica foi preparada com 4% de amido em 100 g de água destilada e 0,3 g de glicerol/g amido seco, submetida a agitação com aquecimento, até 85-90 °C durante 30 minutos. Após, aproximadamente 20 g da solução filmogênica foi vertida em placas de Petri (90 x 15 mm) e foram secas em estufa a 30 °C, durante 16 h. As amostras de filmes foram armazenadas por 4 dias antes das análises em recipiente hermético a 16 °C e umidade relativa (UR) de aproximadamente 65%, com a utilização de solução saturada de nitrato de amônio (NH₄NO₃) (EL HALAL et al., 2015).

As nanofibras foram coletadas sobre o alvo de alumínio onde os filmes de amido foram dispostos, formando a estrutura bicamada. Para desenvolvê-las, produziu-se uma solução polimérica contendo 8% de PLA, 2,5% de lignina de casca de arroz e 30% de óleo essencial de pimenta rosa (OEPR), em 100 mL de solvente clorofórmio:acetona (3:1), submetida a agitação magnética. Após, a solução foi inserida em seringa 3 mL com uma agulha de metal de 0,7 mm de diâmetro. Os parâmetros utilizados no processo foram os seguintes: tensão, 20 kV para o eletrodo positivo e 1 kV para o eletrodo negativo, controlada através de fonte de alimentação CC (INSTOR, INSES-HV30, Brasil); taxa de alimentação, 0,5 mL/h, controlada por meio de bomba de infusão (KD Scientific, Model 100, Holliston, Inglaterra) na qual a seringa foi colocada; distância horizontal entre a ponta da agulha na seringa e o coletor, 30 cm; temperatura controlada em 23 ± 2 ° C por ar condicionado; e umidade relativa, ajustada em $45 \pm 2\%$ com desumidificador.

Para a avaliação das propriedades mecânicas, primeiramente a espessura do filme foi determinada por um micrômetro com precisão de 0,001 mm, em oito posições aleatórias ao redor do filme, onde a média foi usada nos cálculos. A resistência à tração e a porcentagem de alongamento na ruptura dos filmes foram avaliados por um teste de tração usando um analisador de textura (TA.XTplus, Stable Micro Systems) com base no método ASTM D-882-91 ASTM (1995). Os tratamentos foram nomeados e codificados como filme de amido de feijão (FAF), filme de amido de feijão com nanofibras de PLA (FAF/PLA), filme de amido de feijão com nanofibras de PLA, lignina e óleo essencial de pimenta rosa (FAF/PLA/LIG/OEPR), filme de amido de trigo (FAT), filme de amido de trigo com nanofibras de PLA (FAT/PLA) e filme de amido de trigo com nanofibras de PLA, lignina e óleo essencial de pimenta rosa (FAT/PLA/LIG/OEPR).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Tabela 1 indicaram que o tratamento FAF/PLA/LIG/OEPR se destacou por apresentar maior resistência à tração, com 7,71 MPa. A mesma amostra também apontou, juntamente com o tratamento FAT/PLA, maiores porcentagens de alongação, com 61,33 e 49,75%, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas de filmes de amido de feijão e de trigo, na presença e ausência de recobrimento de nanofibras.

Amostra	Resistência à tração (MPa)	Elongação (%)
FAF	$5,89 \pm 1,38^b$	$29,75 \pm 11,06^b$
FAF/PLA	$4,28 \pm 0,24^{bc}$	$32,25 \pm 3,75^b$
FAF/PLA/LIG/OEPR	$7,71 \pm 0,12^a$	$61,33 \pm 6,68^a$
FAT	$3,35 \pm 0,13^c$	$33,50 \pm 0,50^b$
FAT/PLA	$4,07 \pm 0,26^c$	$49,75 \pm 2,95^a$
FAT/PLA/LIG/OEPR	$1,69 \pm 0,11^d$	$28,33 \pm 2,79^b$

Em estudo realizado por LIMA et al. (2017), filmes de amido nativo de feijão Carioca apresentaram resistência à tração de 3,5 e 5,0 MPa e alongação de 36,7 e 40,4% após 3 e 15 dias de armazenamento, respectivamente. EVANGELHO et al. (2020) também avaliaram filmes de amido nativo de feijão carioca, verificando 5,3 Mpa de resistência à tração e 40,5% de alongação. Por outro lado, DOMENE-LÓPEZ et al. (2019) fizeram um estudo comparativo entre filmes de amido de trigo, batata e milho, verificando que o filme de amido de trigo apresentou maior

resistência à tração e maior porcentagem de alongação, com aproximadamente 78%, provavelmente devido ao seu maior conteúdo de amilose. No presente trabalho, nota-se que os tratamentos com filmes produzidos com amido de trigo foram mais suscetíveis à quebra, com menor resistência à tração.

Os filmes devem ter uma resistência mecânica suficiente para garantir a integridade dos mesmos quando utilizados como embalagem (ZAVAREZE et al., 2012). De acordo com GONTARD et al. (1994), as propriedades desejadas para cada material irão depender do tipo de embalagem e a finalidade para qual será aplicada. De modo geral, as embalagens que não requerem grande alongação, necessitam de uma maior resistência à tração para fornecer integridade estrutural aos produtos embalados. Por outro lado, embalagens com alta flexibilidade são desejáveis para envolver o alimento e protegê-lo do ambiente externo.

4. CONCLUSÕES

De acordo com o exposto, pode-se afirmar que as nanofibras de PLA, lignina e OEPR dispostas sobre os filmes de amido de feijão auxiliaram na otimização das propriedades mecânicas da estrutura bicamada desenvolvida, aumentando a resistência à tração e a alongação em comparação com filmes sem as fibras. Dessa forma, pode-se sugerir que o material criado seria um boa alternativa para aplicações em embalagens alimentares.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C. S.; FRANCO, E. A. N.; PEIXOTO, F. M., PESSANHA, K. L. F.; & MELO, N. R. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**, v. 25, n. SPE, p. 89-97, 2015.
- ASTM. Tensile properties of thin plastic sheeting. **IN: ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**, Philadelphia, D., 1995.
- BHER, A., UNALAN, I. U., AURAS, R., RUBINO, M., & SCHVEZOV, C. E. Graphene modifies the biodegradation of poly (lactic acid)-thermoplastic cassava starch reactive blend films. **Polymer Degradation and Stability**, v. 164, p. 187-197, 2019.
- DOMENE-LÓPEZ, D., DELGADO-MARÍN, J. J., GARCÍA-QUESADA, J. C., MARTÍN-GULLÓN, I., & MONTALBÁN, M. G. Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, p. 845-854, 2019.
- EVANGELHO, J. A., BIDUSKI, B., DA SILVA, W. M., DE MELLO EL HALAL, S. L., LENHANI, G. C., ZANELLA PINTO, V., & DA ROSA ZAVAREZE, E. Carioca bean starch upon synergic modification: characteristics and films properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2020.
- FABRA, M. J., LÓPEZ-RUBIO, A., CABEDO, L., & LAGARON, J. M. Tailoring barrier properties of thermoplastic corn starch-based films (TPCS) by means of a multilayer design. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 483, p. 84-92, 2016.
- FONSECA, L. M., CRIZEL, R. L., DA SILVA, F. T., FONTES, M. R. V., ZAVAREZE, E. D. R., & DIAS, A. R. G. Starch nanofibers as vehicles for folic acid supplementation: thermal treatment, UVA irradiation, and in vitro simulation of digestion. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.



GONTARD, N., DUCHEZ, C., CUQ, J. L., & GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

LIMA, K. O., BIDUSKI, B., DA SILVA, W. M. F., FERREIRA, S. M., MONTENEGRO, L. M. P., DIAS, A. R. G., & BIANCHINI, D. Incorporation of tetraethylorthosilicate (TEOS) in biodegradable films based on bean starch (*Phaseolus vulgaris*). **European Polymer Journal**, v. 89, p. 162-173, 2017.

WEN, P., WEN, Y., ZONG, M. H., LINHARDT, R. J., & WU, H. Encapsulation of bioactive compound in electrospun fibers and its potential application. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 42, p. 9161-9179, 2017.

ZAVAREZE, E. D. R., HALAL, S. L. M. E., TELLES, A. C., & PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. SPE, p. 53-57, 2012.

ZIKELI, F., VINCIGUERRA, V., SENNATO, S., SCARASCIA MUGNOZZA, G., & ROMAGNOLI, M. Preparation of Lignin Nanoparticles with Entrapped Essential Oil as a Bio-Based Biocide Delivery System. **ACS omega**, v. 5, n. 1, p. 358-368, 2019.