



Filmes de Pectina com Nanopartículas de Lignina: Uma Abordagem Sustentável para Aumento da Hidrofobicidade

Karina T. da Silva^{1*} (PG), João Vitor V. Steve¹ (G), Maria Lucia Bianchi¹ (PQ)

¹ Departamento de Química (DQI) – Universidade Federal de Lavras, UFLA. quimica.karinats@gmail.com

RESUMO

Este trabalho investigou o efeito da incorporação de nanopartículas de lignina Kraft (NPLKs) na hidrofobicidade de filmes à base de pectina. As NPLKs foram sintetizadas por precipitação antissolvente e adicionadas à matriz polimérica com o objetivo de melhorar sua resistência à água. Os filmes compósitos obtidos foram avaliados quanto à hidrofobicidade por meio de medidas de ângulo de contato, evidenciando um aumento significativo em relação ao filme controle. Os resultados demonstram que a adição das nanopartículas promove uma modificação eficaz da superfície, conferindo maior caráter hidrofóbico ao material. A estratégia proposta representa uma abordagem promissora e sustentável para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com propriedades de barreira aprimoradas.

Palavras-chave: Biomateriais, Kraft, bottom-up, embalagens, modificação de superfície.

Introdução

A lignina é a segunda macromolécula mais abundante nas paredes celulares vegetais da biomassa, ficando atrás apenas da celulose. Pode ser obtida a partir do licor negro, subproduto do processo de polpação empregado na indústria de papel e celulose. Estima-se que a produção anual global de lignina ultrapasse 70 milhões de toneladas, porém, apenas cerca de 2% desse volume é direcionado a aplicações com valor agregado. A maior parte do licor negro é concentrada e utilizada como fonte de energia por meio da combustão (1).

Nesse contexto, a nanotecnologia surge como uma ferramenta promissora para transformar a biomassa lignocelulósica em materiais funcionais. As nanopartículas de lignina (NPLs) têm se destacado por sua abordagem sustentável no aproveitamento de recursos renováveis, com potencial para gerar produtos de maior valor. Diversos estudos destacam suas aplicações como agentes antioxidantes e antimicrobianos, sistemas de encapsulamento, catalisadores e adsorventes, evidenciando o crescente interesse da comunidade científica nesse material. Além disso, as NPLs apresentam baixa toxicidade em uma ampla gama de concentrações e demonstram potencial para biodegradação (2).

Na área de embalagens alimentícias, a busca por materiais que atuem como barreira à umidade é essencial, uma vez que superfícies hidrofóbicas evitam tanto a perda de água dos alimentos quanto a penetração de umidade externa, contribuindo para a preservação da qualidade e prevenção de contaminações (3). Assim, o desenvolvimento de filmes baseados em pectina com propriedades adicionais, como proteção contra radiação UV, além de atividade antioxidante, antimicrobiana e caráter hidrofóbico, tem atraído grande interesse (4).

A combinação de nanopartículas de lignina com filmes de pectina oferece uma abordagem eficaz para aprimorar as propriedades do material. Devido à boa compatibilidade com a matriz polimérica e à estabilidade morfológica, as NPLs contribuem significativamente para a melhoria das características desses filmes. Essa incorporação resulta em materiais com propriedades mecânicas otimizadas, maior hidrofobicidade, bioatividade e resistência à radiação ultravioleta. Neste trabalho, foram produzidas nanopartículas de lignina Kraft (NPLKs) por meio de precipitação antissolvente, e utilizadas na formulação de filmes à base de pectina. As propriedades hidrofóbicas dos filmes compósitos foram avaliadas por meio do ângulo de contato com água.

Experimental

Síntese das nanopartículas

Para a síntese das nanopartículas de lignina Kraft (NPLKs) foi utilizada lignina Kraft, obtida da indústria de polpação da madeira de eucalipto. As nanopartículas foram obtidas a partir da metodologia de Li et al. adaptada (5)(6). A lignina coloidal aquosa resultante, com concentração de 3,2 mg/mL, foi submetida ao ultrassom.

Preparo dos filmes

Para a obtenção dos filmes foram utilizados pectina cítrica (Êxodo Científica), glicerol (85%) (Merck KGaA) e as NPLKs. A síntese dos filmes à base de pectina com nanopartículas de lignina seguiu a metodologia proposta por Zhang et al. adaptada (3)(6). As concentrações de NPLKs encontram-se na Tabela 1.



Tabela 1. Concentração de NPLK dos filmes produzidos

FILME	NPLKs (mg/mL)
NK0	0
NK04	0,00475
NK09	0,00950
NK19	0,01900
NK38	0,03800
NK76	0,07600

Ângulo de contato com água (AC)

O ângulo de contato dos filmes foi avaliado de acordo com a norma TAPPI T 458 cm-14. As medidas foram conduzidas em um goniômetro Krüss DSA30 e os ângulos de contato entre a gota de água e a superfície foram medidos em 1 s, 5 s e 60 s.

Resultados e Discussão

Os valores de ângulo de contato são fundamentais para avaliação da resistência à água, a hidrofobicidade e molhabilidade dos filmes. Para avaliação dessas propriedades, é adotado como limite $\theta = 65^\circ$, em que valores inferiores indicam hidrofiliabilidade e superiores características de hidrofobicidade (3). A pectina é um polissacarídeo rico em hidroxilas, resultando em forte hidrofiliabilidade e polaridade. Neste trabalho, o ângulo de contato para os filmes de pectina foi de $56,54^\circ$, indicando hidrofiliabilidade. A adição de NPLKs conferiu propriedades hidrofóbicas significativas aos filmes. Os filmes já atingiram características de superfície hidrofóbica a partir da amostra NK09, com AC de $66,87^\circ$. O filme NK38 teve a maior mudança, com aumento de 38,52% no AC. Há o indicativo de aumento do número de ligações de hidrogênio entre a pectina e as NPLKs, interferindo na formação de ligações de hidrogênio entre a matriz do filme e água. Dessa forma, é evidente que a adição de NPLKs aos filmes de pectina pode melhorar significativamente a hidrofobicidade. A mudança do AC também foi avaliada em 5 s e 60 s, sendo possível perceber comportamento hidrofóbico para os filmes NK19, NK38 e NK76 após 60 s, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores para os ângulos de contato em 1, 5 e 60 s para os filmes produzidos

Filme	AC ($^\circ$) em 1s	AC ($^\circ$) em 5s	AC ($^\circ$) em 60s
NK0	$56,54 \pm 7,56^c$	$55,38 \pm 7,22^c$	$51,52 \pm 6,95^d$
NK04	$64,05 \pm 4,25^d$	$62,32 \pm 4,04^d$	$58,45 \pm 4,17^c$
NK09	$66,87 \pm 4,95^{cd}$	$64,45 \pm 4,14^{cd}$	$55,94 \pm 5,45^{cd}$
NK19	$76,43 \pm 2,27^{ab}$	$73,49 \pm 2,09^{ab}$	$68,01 \pm 2,11^{ab}$
NK38	$78,32 \pm 4,84^a$	$76,45 \pm 4,07^a$	$71,40 \pm 4,10^a$
NK76	$72,89 \pm 1,78^{bc}$	$70,46 \pm 1,89^{bc}$	$65,14 \pm 1,53^b$

Conclusões

A adição de nanopartículas de lignina Kraft (NPLKs) aos filmes de pectina contribuiu significativamente para o aumento da hidrofobicidade do material. Esse resultado evidencia o potencial das NPLKs como modificadores de superfície, promovendo maior resistência à passagem de água e, consequentemente, ampliando a aplicabilidade dos filmes em contextos que exigem barreira à umidade, como embalagens alimentícias sustentáveis.

Agradecimentos

UFLA, CAPES, CNPq, FAPEMIG e CAPQ-UFLA

Referências

- MOREIRA, W. M.; MOREIRA, P. V. V.; DOS SANTOS, D. F.; GIMENES, M. L. et al. Environmental Science and Pollution Research, **2023**, 8, 19564-19591.
- SETHUPATHY, S.; MURILLO MORALES, G.; GAO, L.; WANG, H. et al. Bioresource Technology, **2022**, 347, 126696.
- ZHANG, S.; CHENG, X.; FU, Q.; LI, Y. et al. Food Hydrocolloids, **2023**, 143, 108783.
- MIAO, W.; TIAN, Y.; JIANG, L. Accounts of Chemical Research, 2022, 11, 1467-1479
- LI, X.; SHEN, J.; WANG, B.; FENG, X. et al. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, **2021**, 15, 5470-5480.
- SILVA, Karina T. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, **2025**. 77.