



Nanofibras Eletrofiadas com Óleo de Copaíba: Análise Morfológica e Estrutural

Lana Cavalcante Ramos¹ João Victor Marques Seixas¹, Andrey Marcos P. da Silva².

¹Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Tecnologia, Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, 69080-900, Manaus AM, Brasil.

²Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Laboratório Temático de Microscopia e Nanotecnologia.

* lana.ramos@ufam.edu.br

Palavras-Chave: nanofibras, eletrofição, óleo de copaíba.

Introdução

Nas últimas décadas, a engenharia de materiais tem avançado significativamente no desenvolvimento de biomateriais funcionais, com destaque para a utilização de nanofibras obtidas por eletrofição. Essa técnica tem se consolidado como uma abordagem versátil e eficiente para a produção de estruturas em nanoescala com elevada área superficial, alta porosidade e excelente controle morfológico. Tais características tornam essas membranas promissoras para diversas aplicações tecnológicas, incluindo o setor de embalagens ativas e inteligentes. Nesse contexto, as embalagens não apenas atuam como barreiras físicas contra contaminantes externos, mas também podem desempenhar funções adicionais, como controle da atmosfera interna e liberação controlada de compostos ativos que contribuem para a conservação de alimentos. Uma estratégia inovadora consiste na incorporação de moléculas bioativas naturais em membranas eletrofiadas, uma área ainda pouco explorada, mas de alto potencial científico e tecnológico. Entre os bioativos de origem natural, destaca-se o óleo de copaíba (*Copaifera sp.*), uma oleoresina extraída de espécies nativas da Amazônia, amplamente reconhecida por suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e antioxidantes. Quando incorporado a matrizes poliméricas, como a policaprolactona (PCL), o óleo de copaíba pode conferir propriedades funcionais às membranas, ampliando sua aplicação como barreira ativa contra microrganismos patogênicos e agentes oxidantes. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a morfologia e a estrutura de nanofibras eletrofiadas de PCL incorporadas com óleo de copaíba, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de embalagem ativos e sustentáveis, alinhados às demandas tecnológicas e ambientais atuais.

Material e Métodos

Para a preparação das soluções poliméricas, 1,01 g de policaprolactona (PCL) foram inicialmente submetidos à secagem em estufa a 50–60 °C por 10 minutos, com o objetivo de eliminar traços de umidade. Em seguida, o polímero seco foi dissolvido em uma mistura binária composta por tetraidrofurano (THF) e dimetilformamida (DMF). O processo de dissolução foi conduzido sob agitação magnética constante por um período de 4 horas, até a obtenção de uma solução homogênea.

Foram preparadas soluções de PCL pura e de PCL incorporada com óleo de copaíba (*Copaifera sp.*) nas proporções de 5%, 10% e 15% (v/v), com base no volume total da solução polimérica. As soluções resultantes foram submetidas ao processo de eletrofição sob condições controladas, utilizando um sistema de bobinagem para a coleta das nanofibras sobre substratos de papel alumínio.

As amostras obtidas foram caracterizadas quanto às propriedades físico-químicas e morfológicas. A morfologia superficial e o diâmetro das fibras foram avaliados por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), enquanto a composição química e os grupos funcionais presentes nas nanofibras foram analisados por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

Resultados e Discussão

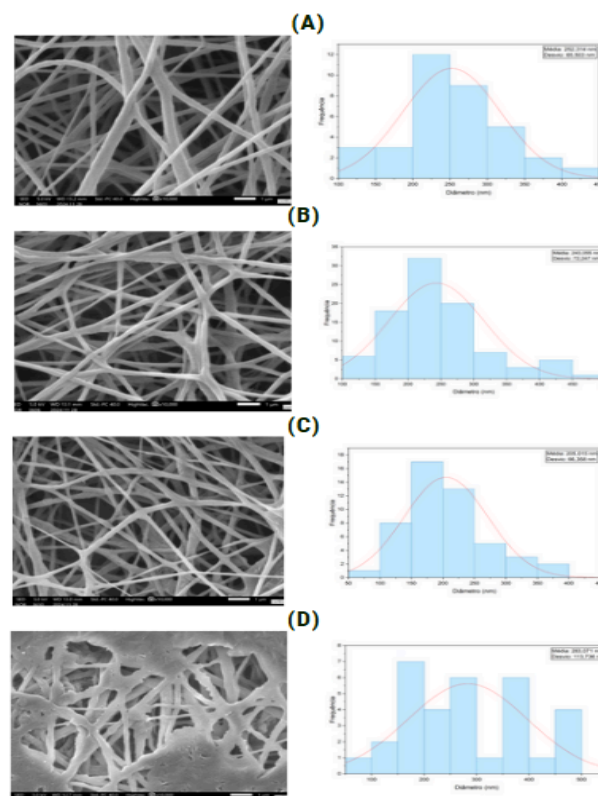
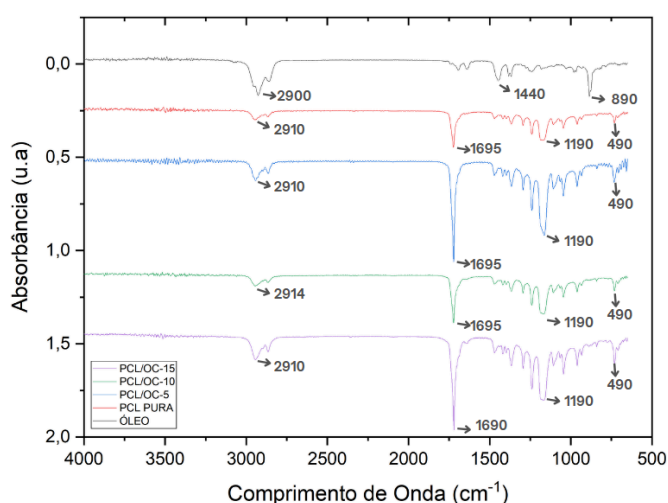


Figura 1. Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e respectivos histogramas de distribuição de diâmetro das nanofibras, referentes às amostras de (A) PCL puro, (B)

PCL incorporado com 5% de óleo de copaíba, (C) PCL incorporado com 10% de óleo de copaíba e (D) PCL incorporado com 15% de óleo de copaíba.

A análise morfológica evidencia variações significativas no diâmetro médio das nanofibras em função da concentração de óleo de copaíba incorporada à matriz polimérica. O PCL puro apresentou diâmetro médio de $252,31 \pm 65,50$ nm, enquanto as amostras contendo 5%, 10% e 15% de óleo de copaíba exibiram médias de $243,06 \pm 72,25$ nm, $205,02 \pm 66,36$ nm e $283,07 \pm 113,74$ nm, respectivamente.

Observa-se que a incorporação de óleo de copaíba influencia diretamente a morfologia e o diâmetro das fibras, sendo que concentrações intermediárias (10%) favorecem a formação de estruturas mais homogêneas e de menor diâmetro. Esses resultados sugerem que a proporção de óleo bioativo atua como fator determinante na estabilidade da solução polimérica e, consequentemente, na uniformidade das nanofibras eletrofiadas.



A Figura 2 apresenta os espectros obtidos por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras analisadas. O gráfico exibe os espectros de absorção correspondentes ao óleo de copaíba puro (linha preta), à poli(ϵ -caprolactona) (PCL) pura (linha vermelha) e às amostras híbridas de PCL incorporadas com 5%, 10% e 15% de óleo de copaíba, representadas pelas linhas azul, verde e roxa, respectivamente.

Conforme observado, o espectro do óleo de copaíba exibe bandas características em 2900 cm^{-1} , atribuídas aos modos de alongamento C–H, bem como bandas de menor intensidade em 1440 cm^{-1} e 890 cm^{-1} , correspondentes às deformações C–H. Essas vibrações refletem a natureza alifática e hidrocarbonada do óleo.

O espectro da PCL pura (curva vermelha) apresenta as bandas vibracionais típicas do polímero, incluindo 1695 cm^{-1} (alongamento C=O do grupo éster), 2910 cm^{-1} (alongamentos de CH_2 e CH_3) e 1190 cm^{-1} (alongamento C–O–C do grupo éster). Nas amostras contendo óleo de copaíba (curvas azul, verde e roxa), observa-se a manutenção de todas as bandas características da PCL, indicando que o processo de incorporação não promoveu degradação química ou alteração significativa na estrutura do polímero.

Contudo, nota-se uma redução gradual na intensidade das bandas da PCL em 1695 cm^{-1} (C=O) e 1190 cm^{-1} (C–O–C) com o aumento da concentração de óleo, efeito associado à menor fração relativa de PCL na matriz. Em contrapartida, a intensidade da banda de alongamento C–H em 2910 cm^{-1} aumenta proporcionalmente à concentração do óleo, resultado da contribuição das vibrações das cadeias alifáticas presentes na oleoresina.

Além disso, pequenas variações de intensidade e leves deslocamentos observados no espectro da amostra contendo 15% de óleo sugerem a ocorrência de interações físicas entre as cadeias poliméricas da PCL e os componentes do óleo de copaíba, possivelmente mediadas por forças intermoleculares de natureza dipolo-dipolo ou de dispersão de London.

Conclusões

A técnica de eletrofição demonstrou a viabilidade de desenvolvimento de um material polimérico ativo por meio da incorporação de óleo de copaíba em uma matriz de poli(ϵ -caprolactona) (PCL). A presença do óleo confere ao material potencial para aplicações em sistemas com propriedades antimicrobianas e antioxidantes, em função das características bioativas de seus constituintes naturais. Os resultados morfológicos obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) indicam que a concentração de óleo de copaíba é um fator determinante para o controle da estrutura e uniformidade das fibras formadas. Por sua vez, a análise por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) confirmou a incorporação do óleo na matriz polimérica da PCL, sem evidências de degradação química do polímero.

Agradecimentos

LAMAM e CMABio por apoiar o GPIMP.

Referências

- [1] S. Guo, P. Wang, P. Song, N. Li, *Electrospinning of botanicals for skin wound healing*, *Curr. Opin. Biotechnol.* 10 (2022) 1006129, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1006129>.
- [2] C. Xu, J. Ma, W. Wang, Z. Liu, L. Gu, S. Qian, J. Hou, Z. Jiang, *Preparation of pectin-based nanofibers encapsulating lactobacillus rhamnosus 1.0320 by electrospinning*, *Food Hydrocoll.* 124 (2022) 107216, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107216>.