



## Preparação de membrana eletrofiada de poliestireno expandido a partir de resíduos descartáveis

Célio dos Santos Almeida<sup>1\*</sup>(PQ), Marcos Marques da Silva Paula<sup>1</sup>(PQ), Maria Gabriele Meirellis dos Santos<sup>1</sup>(PQ), Wisley Prata Lima<sup>1</sup>(PQ), José Victor Bezerra Teixeira<sup>1</sup>(PQ), Camila Macena Ruzo<sup>1</sup>(PQ), Luciano da Silva<sup>2</sup>(PQ), Guilherme Moura Brandão<sup>1</sup>(PQ).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Física de Materiais, Laboratório de Materiais Nanoparticulados, Av. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Setor Norte, Coroado I, 69077-000, Manaus AM, Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Química Aplicada. Av Enrique Reyna, 140, San Jose de los Serritos, 25294, Saltillo, México.

\* celioalmeida08@gmail.com

**Palavras-Chave:** Eletrofição, membrana, poliestireno expandido.

### Introdução

O poliestireno expandido (EPS), conhecido popularmente como isopor, é um termoplástico derivado do petróleo. Este material é notável por ser composto majoritariamente por cerca de 98% de ar e apenas 2% de massa polimérica, o que lhe confere leveza, baixa densidade e aplicabilidade em setores como embalagens, construção civil e produtos descartáveis. No entanto, o elevado consumo de EPS tem gerado um volume expressivo de resíduos, configurando um grave problema ambiental devido à sua baixa biodegradabilidade [1]. Embora seja reciclável, a gestão de seus resíduos é particularmente desafiadora em função dos altos custos de armazenamento, transporte e reciclagem, o que muitas vezes inviabiliza sua destinação final adequada. Como consequência, grande parte desses resíduos é descartada de forma inadequada, contribuindo para a poluição da água, do solo e dos lençóis freáticos. Além disso, sua decomposição ou queima libera gases de efeito estufa, agravando o aquecimento global [1,2]. Apesar desse cenário, a busca por alternativas sustentáveis voltadas ao reaproveitamento de resíduos plásticos tem aumentado. Entre as abordagens de reciclagem, destaca-se a eletrofição, um método que permite converter soluções poliméricas em membranas fibrosas ultrafinas passíveis de funcionalização para diversas aplicações de alto valor agregado, como a filtração de contaminantes [3,4]. Diante dessa lacuna e na necessidade de dar uma destinação nobre a este resíduo, este trabalho teve como objetivo reaproveitar resíduos de EPS pós-consumo para a produção de membranas eletrofiadas voltadas à filtração. O estudo concentra-se na reciclagem e otimização dos parâmetros de processamento, visando à posterior funcionalização química da membrana por meio da inserção de grupos de ácido sulfônico para adsorção e remoção de íons metálicos no tratamento de água contaminada por metais pesados.

### Material e Métodos

A metodologia consistiu em quatro etapas: coleta e preparação do EPS residuário; preparação da solução polimérica; eletrofição e preparação da membrana; e caracterização. Na primeira etapa, bandejas de EPS pós-consumo foram coletadas seletivamente na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Os resíduos foram lavados, secos por 24

horas à temperatura ambiente e fragmentados. Para a preparação da solução, 2 g de material foram dissolvidos em 10 mL de uma mistura de solventes (acetona:tolueno, proporção 3:2 v/v), resultando em uma concentração final de 20% (m/v). Esta solução foi posteriormente eletrofiada, utilizando o sistema ilustrado na Figura 1.

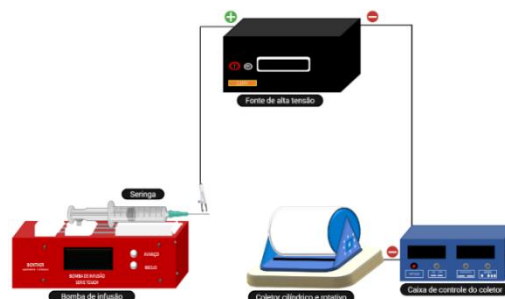


Figura 1 - Sistema de eletrofição utilizado na preparação da membrana polimérica. Fonte: autor, 2025.

Esse processo foi realizado empregando os seguintes parâmetros: volume de solução de 10 mL, tensão de 12,42 kV, vazão de 400  $\mu\text{L}/\text{min}$  e distância agulha-coletor de 12 cm. A caracterização morfológica foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (JSM-IT500HR), no Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos (CMABIO) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). As amostras foram previamente recobertas com uma fina camada de platina por *sputtering*, utilizando um metalizador (LEICA, EM ACE600). A distribuição do diâmetro das fibras foi determinada pelo *software ImageJ*, analisando 100 fibras aleatoriamente. A estrutura química foi avaliada por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) com módulo de reflexão total atenuada (ATR) no Laboratório de Materiais de Polímeros Nanoestruturados (NANOPOL/UFAM). As medidas foram realizadas no espectrômetro Cary 630, na faixa espectral de 680-4.000  $\text{cm}^{-1}$  e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 8 varreduras, tanto para a amostra quanto para a linha de base.

### Resultados e Discussão

As micrografias MEV revelaram que a membrana eletrofiada possui uma morfologia homogênea, caracterizada por fibras cilíndricas bem definidas e estrutura uniforme (Figura 2).

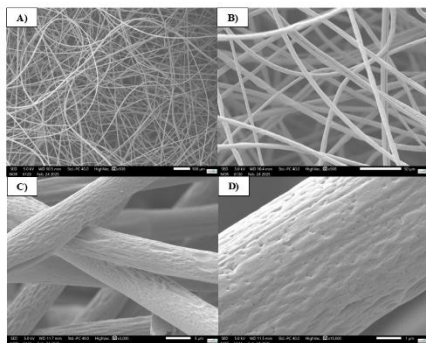


Figura 2 - Micrografias MEV das membranas de EPS não sulfonado: A) Ampliação 100x; B) Ampliação 500x; C) Ampliação 3.000x; D) Ampliação 15.000x. Fonte: autor, 2025.

Em ampliação (Figura 2-A), observa-se uma rede tridimensional de fibras orientadas aleatoriamente, que é uma característica típica da eletrospiação. O entrelaçamento das fibras é uniforme, com ausência de estruturas irregulares (Figura 2-B). Em maiores ampliações (Figura 2 C-D), verifica-se que as fibras têm uma superfície levemente rugosa, com poros finos distribuídos de maneira homogênea. O histograma mostra a distribuição dos diâmetros das fibras, corroborando com essa uniformidade estrutural (Figura 3).

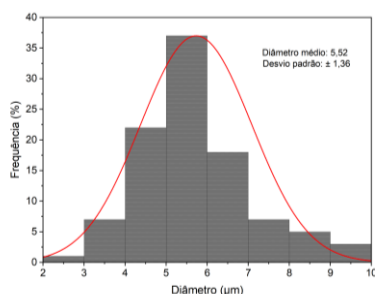


Figura 3 - Distribuição de diâmetros das fibras de EPS. Fonte: autor, 2025.

As fibras apresentaram diâmetros que variam entre 2,79  $\mu\text{m}$  e 9,88  $\mu\text{m}$ , com maior prevalência concentrada entre 5  $\mu\text{m}$  e 6  $\mu\text{m}$ . O diâmetro médio é de 5,52  $\mu\text{m}$  com desvio padrão de  $\pm 1,36 \mu\text{m}$ . A variação estreita e o perfil aproximadamente gaussiano demonstram que o processo de eletrospiação foi estável e bem controlado, refletindo a otimização dos parâmetros [5].

Os espectros vibracionais (FTIR) do filme de EPS puro e da membrana revelaram as bandas características do poliestireno, conforme ilustrado na Figura 4.

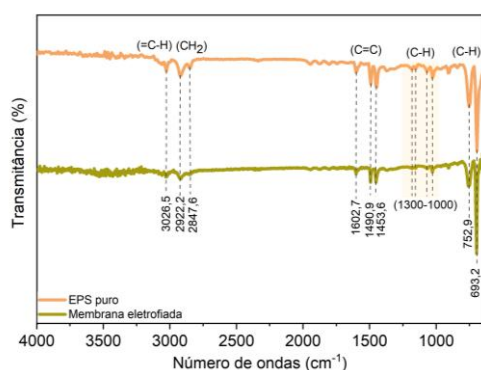


Figura 4 - Espectro FTIR do EPS e da membrana eletrofiada. Fonte: autor, 2025.

A banda em 3024,7  $\text{cm}^{-1}$  é associada ao modo de vibração de estiramento da ligação (=C-H) no anel aromático. As bandas em 2920,3  $\text{cm}^{-1}$  e 2849,5  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente, referem-se à vibração de estiramento assimétrica e simétrica da ligação (C-H) do grupo metileno ( $\text{CH}_2$ ). As vibrações de estiramento da ligação (C=C) do anel benzênico são evidenciadas pelas bandas em 1600,8  $\text{cm}^{-1}$ ; 1492,7  $\text{cm}^{-1}$  e 1451,7  $\text{cm}^{-1}$ . A região entre 1300 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  apresenta bandas atribuídas às vibrações de flexão no plano das ligações (C-H), enquanto as bandas em 751  $\text{cm}^{-1}$  e 695  $\text{cm}^{-1}$  indicam deformações fora do plano das ligações (C-H) do anel benzênico mono-substituído. A presença de todas as bandas características na membrana eletrofiada é uma evidência de que não ocorreram reações de degradação química ou modificações significativas na estrutura do polímero após a solubilização e eletrospiação. Contudo, foram observadas reduções de intensidade em algumas regiões e pequenos deslocamentos para números de ondas mais baixos, sugerindo que estas alterações espectrais podem estar associadas à reorganização molecular induzida das cadeias poliméricas. Os espectros vibracionais obtidos corroboram com aqueles reportados na literatura para o poliestireno, validando a identidade química e a preservação do material [6,3].

## Conclusões

O estudo demonstrou a viabilidade de transformar resíduos de EPS em membranas de alto valor agregado. Os aspectos morfológicos, como estrutura fibrosa microporosa e elevada área superficial, indicam que a membrana eletrofiada possui características físicas adequadas para processos de adsorção e filtração. O trabalho contribuiu diretamente para a redução do impacto ambiental e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de filtração.

## Agradecimentos

À FAPEAM pelo suporte financeiro, ao LAMAN e NANOPOL da UFAM, bem ao CMABIO/UEA pelo apoio técnico na realização dessa pesquisa.

## Referências

- [1] LIMA, Felipe de Aquino et al. Analysis of recycled polystyrene electrospinning process: Fiber diameter, morphology, and filtration applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 13, n. 2, p. 115435, abr. 2025.
- [2] VARYAMBATH, Anuraj et al. Upcycling of Expanded Polystyrene Wastes into Reusable High-Performance Volatile Organic Compound Adsorbents. *ACS Sustainable Resource Management*, v. 2, n. 5, p. 815–824, 22 maio 2025.
- [3] RAJAK, Abdul et al. Electrospun nanofiber from various source of expanded polystyrene (EPS) waste and their characterization as potential air filter media. *Waste Management*, v. 103, p. 76–86, 2020.
- [4] WU, Yuanquan et al. Turning waste into wealth: bifunctional electrospun membrane based on waste expanded polystyrene for oil-water separation and anti-counterfeiting. *Chemical Engineering Journal*, v. 506, p. 160165, jan. 2025.
- [5] SINGH, Rahul Kumar; LYE, Sun Woh; MIAO, Jianmin. Holistic investigation of the electrospinning parameters for high percentage of  $\beta$ -phase in PVDF nanofibers. *Polymer*, v. 214, p. 123366, 2021.
- [6] ARROSYID, Bagas Haqi et al. High-efficiency water filtration by electrospun expanded polystyrene waste nanofibers. *ACS Omega*, v. 8, n. 26, p. 23664–23672, 4 jul. 2023.