

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ELETROFIADOS INCORPORADOS COM ZEÓLITAS NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM MEIOS FILTRANTES

Gabriela Ayumi Kishimoto (PIC/CNPq/FA/UEM), Mara Heloisa Neves Olsen
Scaliante (Orientador). E-mail: mhnoscaliante2@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Química / Tecnologia Química.

Palavras-chave: Zeólita clinoptilolita; Adsorção; Eletrofiação.

RESUMO

Com a preocupação do tratamento de contaminantes emergentes, evidencia-se a preocupação para seu tratamento, diante disso, o seguinte trabalho desenvolveu novos meios filtrantes incorporados com zeólita natural por meio da técnica de eletrofiação, a fim de lidar com os contaminantes emergentes. Através dos estudos de permeabilidade hidráulica realizados, verificou-se que com a adição de zeólita na sua composição houve uma diminuição nos valores de fluxo médio em comparação com as membranas sem a zeólita, devido às suas propriedades hidrofílicas. E os resultados para o estudo de adsorção, verifica-se um aumento de 0,793% em relação à porcentagem de remoção do fármaco fluoxetina (um CE presente na água). Portanto, a membrana polimérica eletrofiada, composta por PVDF/PAN e zeólita incorporada no seu interior, apresentam uma solução acessível para o tratamento do contaminante emergente por meio da adsorção.

INTRODUÇÃO

Com o avanço de novas tecnologias, denota-se a preocupação com relação ao consumo de água, em decorrência ao crescimento populacional, bem como às mudanças climáticas. Uma das preocupações é como lidar com os contaminantes emergentes (CE). Portanto, faz-se necessário o uso de novas tecnologias a fim de um tratamento eficaz para lidar com os contaminantes orgânicos, de maneira a reduzir e/ou a remoção da concentração desses contaminantes presentes na água (Rathi, Kumar & Show 2020).

Há diversas técnicas que realizam o tratamento de contaminantes emergentes, uma das técnicas que se sobressai é por meio da adsorção. Além de apresentar baixo custo operacional, em diversas pesquisas visualizou-se que o tratamento por adsorção possui alta eficiência em relação ao tratamento de contaminantes emergentes (Rathi, Kumar & Show 2020).

Um dos componentes que está ganhando destaque no processo de adsorção são o uso de membranas eletrofiadas, onde o processo de eletrofiação trata-se da formação de nanofibras, baseada na ação de uma força eletrostática de atração

para a formação dessas fibras. Por meio de ajustes nos parâmetros durante a eletrofiação, acaba influenciando na formação de nanofibras, ou seja, ocasionando num aumento de suas propriedades adsorptivas, como a presença de polímeros, aditivos como zeólita, metais, biochar, entre outros (Y. Zhang et al., 2021).

Dessa forma, pode-se fazer modificações nos materiais eletrofiados a fim de melhorar suas propriedades de adsorção, no qual o uso de zeólita como aditivo é viável pelo fato de que suas capacidades de adsorção e purificação, bem como seu custo que é economicamente viável por tratar-se de um mineral que é encontrado de maneira abundante (Caovilla et. al. 2009).

Diante dessas circunstâncias, com a dificuldade para obtenção de água potável, os materiais eletrofiados têm ganhado cada vez mais destaque por suas excelentes propriedades adsorptivas, onde o objetivo deste trabalho é desenvolver novos meios filtrantes incorporados com zeólita natural pela técnica de eletrofiação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Eletrofiação

O módulo para eletrofiação é composto por uma fonte de alta tensão HSensor® (Brasil), uma bomba de vazão de seringa e uma placa coletora, a qual foi revestida por uma camada de papel alumínio. Foi utilizado a zeólita natural da marca Celta que foi moída e padronizada e, após isso, foi adicionado a uma solução polimérica de Fluoreto de Polivinilideno (PVDF, 530.000 g mol⁻¹, Sigma-Aldrich) e Poliacrilonitrila (PAN, 150.000 g mol⁻¹, Sigma-Aldrich). N, N-Dimetilformamida (DMF, >99,8%, Sigma-Aldrich), como solvente dos polímeros, sendo utilizado 1g de PVDF, 0,150g de PAN dissolvido em 10 mL de DMF e zeólita variando de 0 a 0,100 g. A solução foi agitada constantemente a 600 rpm a 80 °C por cerca de 1 hora, posteriormente, a solução foi transferida para uma seringa de 10 mL e conduzida para o módulo de eletrofiação. E os parâmetros utilizados no projeto foram ajustados: tensão de 20 kV, vazão de 1,0 mL h⁻¹ e distância da agulha e o coletor de 10 cm. As nanofibras eletrofiadas foram recolhidas numa placa metálica coberta por folha de alumínio. Todos os processos de eletrofiação foram realizados a 23 ± 1 °C sob a umidade relativa de aproximadamente a 60 ± 5 %.

Caracterização e avaliação do meio filtrante

Após a síntese das nanofibras, elas foram avaliadas quanto à sua permeabilidade hidráulica conforme o modelo de Kozeny-Carman reportado por Brauns et al. (2005).

Remoção do fármaco (fluoxetina) por meio das nanofibras produzidas

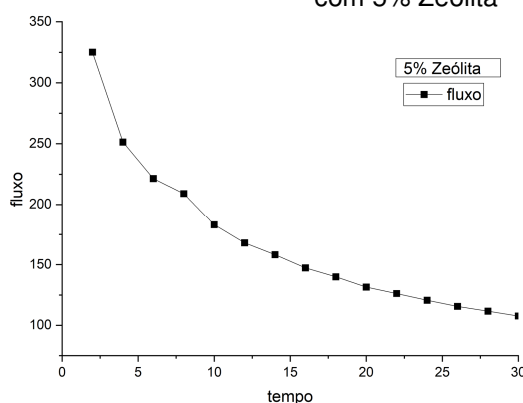
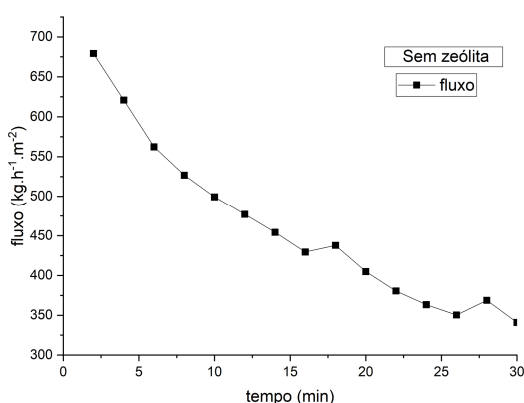
Para o estudo de adsorção, foi produzida uma solução da fluoxetina de 200 mg/L, onde posteriormente empregou-se 200 mL da solução em um módulo cilíndrico de material inox (com diâmetro interno de 3,8 cm e diâmetro externo de 24 cm) em uma pressão padrão de 4 bar, onde está localizada a membrana sintetizada. A solução

filtrada foi lida em um espectrofotômetro (UV-VIS DR 500 marca HACH) em um comprimento de onda a 226 nm na qual foi construída uma curva de calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Permeabilidade Hidráulica

Figura 2—Permeabilidade hidráulica da membrana sem Zeólita **Figura 3**—Permeabilidade hidráulica da membrana com 5% Zeólita



De acordo com as Figuras 2 e 3, denota-se uma diminuição no fluxo médio das membranas após adição da zeólita, e a partir de estudos realizados por He et al. (2023), verificou-se que houve uma diminuição para o fluxo da solução devido à resistência obtida através da adição de nano zeólitas NaX nas membranas fabricadas no estudo. Bem como um aumento na sua capacidade hidrofílica devido sua absorção de água, após estudos de permeabilidade hidráulica.

Estudos de remoção do fármaco (fluoxetina) por meio das nanofibras produzidas

Tabela 1 – Dados sobre o fluxo, remoção e composição das membranas.

Membrana	Composição	Fluxo (kg.h ⁻¹ .m ⁻²)	Remoção (%)	Remoção (mg)
1º	10% PVDF; 1,5% PAN	459,76	0,693	1,386
2º	10% PVDF; 1,5% PAN; 0,05g Zeólita	167,78	0,793	1,586

Por meio dos dados da Tabela 1, identifica-se um aumento na taxa de remoção do fármaco após a adição de zeólita, onde ocorreu um acréscimo na capacidade adsorviva em virtude de suas propriedades hidrofílicas, de maneira análoga com estudos realizados por Isawi, Abulyazied e Alsharif (2025), empregando nanopartículas de zeólitas, abordando-se a presença de sítios ativos, e consequentemente, promovendo as interações adsorvivas de caráter químico com o fármaco utilizado.

CONCLUSÕES

Desse modo, as membranas poliméricas eletrofiadas de PVDF e PAN, incorporadas com a zeólita natural clinoptilolita, demonstraram um aumento na redução do contaminante emergente, auxiliando o desenvolvimento de materiais para a demanda de processos sustentáveis. Além da zeólita ser um material economicamente viável e com propriedades adsorptivas durante o presente estudo.

REFERÊNCIAS

BRAUNS, E. et al. Dead-end filtration experiments on model dispersions: comparison of VFM data and the KozenyCarman model. **Desalination**, vol. 177, no 1–3, p. 303–315, jun. 2005. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

CAOVILLA, A.; RIGO, R. T.; PENHA, F. G.; PERGHER, S. B. C. Estudo e caracterização da zeólita OFF tipo T empregando diferentes fontes de silício. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1818-1821, março 2009. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

HE, W. et al. Anchoring nano-zeolite NaX particles on polydopamine-modified PVDF/PAN electrospun membranes for enhancing interception, adsorption and antifouling performance. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 670, p. 131587, ISSN 0927-7757, ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131587>. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

ISAWI, H.; ABULYAZIED, D. E.; ALSHARIF, M. A. Improvement of poly(vinylidene fluoride) electrospun nanofiber membrane via grafting polymerization with AMPS and zeolite nanoparticles for potential uses in water treatment. **Surfaces and Interfaces**, v. 72, p. 107226, set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.107226>. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

RATHI, B.S.; KUMAR, P.S.; SHOW, P. L.. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: current trends and scope for further research. **Journal of Hazardous Materials**, v. 409, p. 124413, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413>. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

ZHANG, Y. et al. Immobilization of Copper from Aqueous Solution and Contaminated Sediment Using Modified Clinoptilolite. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, p. 184, jul. 2019. Disponível em: doi.org/10.1007/s11270-019-4231-9. Acesso em: 21 de agosto de 2025.