

NANOFILTRAÇÃO PARA REMOÇÃO DE MEDICAMENTOS DA ÁGUA

Luis Guillermo Hammes Varela – e-mail: lghvarela5@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M
Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, CEP 91509-900 – Porto Alegre – RS

Amanda Callegari – e-mail: amanda.callegari789@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M

Alexandre Giacobbo – e-mail: alexandre_giacobbo@yahoo.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M

Marco Antônio Siqueira Rodrigues – e-mail: marcor@feevale.br
Universidade Feevale, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas

Andréa Moura Bernardes – e-mail: amb@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M

Resumo: As estações de tratamento de efluentes (ETEs) e as estações de tratamento de água (ETAs) usualmente utilizam sistemas convencionais, os quais não têm sido efetivos na remoção de antibióticos, hormônios e demais contaminantes de preocupação emergente (CPE), o é alarmante face os possíveis efeitos nocivos que essas substâncias podem apresentar. Sob este aspecto, torna-se necessária a investigação de tecnologias avançadas que promovam uma remoção efetiva destes contaminantes de águas e efluentes. No presente estudo, duas membranas de nanofiltração (NF270 e NF90) foram avaliadas quanto aos seus fluxos de permeado e capacidade de remoção do antibiótico trimetoprima em diferentes pressões (2, 4, 6 e 8 bar), temperatura constante de 25°C, e com uma vazão de 480 L/h. As duas membranas apresentaram resultados promissores na filtragem da solução com trimetoprima. Foram obtidas rejeições médias de 97% e 93% e fluxos de permeado médios (na pressão de 8 bar) de 93 e 34 kg/(h m²) para as membranas NF270 e NF90, respectivamente. Nas condições avaliadas no presente trabalho, a membrana NF270 mostrou-se a mais adequada para o tratamento de água contendo trimetoprima, devido aos maiores fluxos de permeado e elevadas rejeições. No entanto, estudos adicionais, avaliando poluentes com massas moleculares menores e amostras de água e efluentes reais, são recomendados para aprofundar o conhecimento acerca da nanofiltração – uma tecnologia promissora para a remoção de medicamentos e outros CPE de águas e efluentes.

Palavras-chave: Trimetoprima, Antibióticos, Contaminantes de Preocupação Emergente, Tecnologias de Membranas.



NANOFILTRATION FOR REMOVING DRUGS FROM WATER

Abstract: Wastewater treatment plants (WWTPs) and water treatment plants (WTPs) typically use conventional systems, which have not been effective in removing antibiotics, hormones, and other contaminants of emerging concern (CEC). This is alarming given the possible harmful effects that these substances can have. In this regard, it is necessary to investigate advanced technologies that promote the effective removal of these contaminants from water and wastewater. In the present study, two nanofiltration membranes (NF270 and NF90) were assessed for their productivity (permeate fluxes) and removal capacity of the antibiotic trimethoprim at different pressures (2, 4, 6 and 8 bar), constant temperature 25°C, and with a flow rate of 480 L/h. The two membranes showed promising results in filtering the trimethoprim solution. Average rejections of 97% and 93% and average permeate fluxes (at 8 bar pressure) of 93 and 34 kg/(h m²) were obtained for the NF270 and NF90 membranes, respectively. Under the conditions evaluated in the present work, the NF270 membrane proved to be the most suitable for treating water containing trimethoprim, due to the higher permeate fluxes and high rejections it presented. However, additional studies, evaluating pollutants with lower molecular masses and samples of real water and wastewater, are recommended to deepen knowledge about nanofiltration – a promising technology for removing medicines and other CEC from water and wastewater.

Keywords: Trimethoprim, Antibiotics, Contaminants of Emerging Concern, Membrane Technologies.

1. INTRODUÇÃO

A poluição dos recursos hídricos com antibióticos, medicamentos e outros contaminantes de preocupação emergente (CPE) tem crescido progressivamente ao longo dos anos. Isso tem gerado preocupações tanto em questões ambientais quanto sociais, devido à toxicidade, potencial carcinogênico e riscos associados ao desenvolvimento de bactérias super-resistentes a antibióticos, bem como à desregulação endócrina que podem ser causadas pelos CPE (BATTAGLIN & KOLOK, 2014; SANTOS et al., 2022). Portanto, é crucial monitorar a ocorrência de CPE e principalmente antibióticos no ambiente aquático para entender plenamente suas implicações na saúde humana e ambiental, especialmente à medida que a concentração desses contaminantes aumentam com o tempo nos corpos hídricos.

De fato, desde a descoberta da penicilina por Alexandre Fleming, em 1928, tem havido um aumento progressivo e expressivo no consumo de antibióticos (TULCHINSKY, VARAVIKOVA & COHEN, 2023). Atualmente, existem mais de 10 classes de antibióticos, incluindo β -lactâmicos, macrolídeos, fluoroquinolonas, aminoglicosídeos, sulfonamidas e tetraciclina. Alguns, como amoxicilina e penicilina, são largamente utilizados para tratamento humano (LI, 2014). Outros, como as tetraciclina, têm um grande consumo também na medicina veterinária (QUOCTUC et al., 2017).

Nesse contexto, o Brasil figura entre os 10 países que mais consomem medicamentos no mundo, com uma farmácia para cada 3.300 habitantes (CNS, 2024). Esse alto consumo e fácil acesso aos medicamentos contribuem para o aumento da concentração de fármacos na água, inclusive de antibióticos. Essa relação existe pois os medicamentos são apenas parcialmente absorvidos pelo corpo do paciente, sendo o restante excretado via urina ou fezes, muitas vezes eliminados ainda em sua forma original, ou seja, sem que ocorra sua degradação (SOUZA et al., 2020). Subsequentemente, esses medicamentos ou seus metabólitos (produtos de degradação) são introduzidos nas redes coletoras de esgoto, chegando às estações de tratamento de efluentes (ETE) e, finalmente, nos corpos hídricos (BILA & DEZOTTI, 2003; MACHADO et al., 2016).

Esses medicamentos, como contaminantes majoritariamente sintéticos e de baixa biodegradabilidade, representam desafios significativos para os sistemas de tratamento de água e efluentes, tendo em vista que as tecnologias usualmente instaladas não são eficazes em removê-los (SIMÕES, 2016). Após sua liberação no meio ambiente, essas substâncias podem persistir e ser



reintroduzidas nas estações de tratamento de água devido ao reúso indireto de efluentes praticado atualmente (GIACOBBO, VARELA & BERNARDES, 2023). Considerados pseudo-persistentes estes compostos não são facilmente degradados no meio ambiente. Por consequência, eles ficam circulando nas águas de rios e mananciais, e também dentro dos sistemas de tratamento e distribuição de água das cidades, mantendo-se permanentemente presentes (SOUZA, 2020). Portanto, o ciclo de ingestão inadvertida desses compostos por animais e seres humanos torna-se uma preocupação crescente, dada a resistência bacteriana provocada por antibióticos e outros potenciais impactos à saúde (SOUZA *et al.*, 2018).

Há relatos que as ETEs enfrentam dificuldades para remover os CPE, inclusive os antibióticos, uma vez que poucas incorporam tecnologias avançadas capazes de efetivamente eliminar esses contaminantes específicos (SIMÕES, 2016). A falta de métodos eficazes para a remoção de antibióticos destaca a necessidade urgente de desenvolver e implementar tecnologias mais avançadas e sustentáveis para tratamento de efluentes e também de água, visando a proteção dos mananciais e da qualidade da água distribuída à população.

Como alternativa, Pessanha (2021) menciona em seu estudo de revisão sistemática da literatura sobre CPE que a nanofiltração (NF) “*destaca-se por promover a remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos dissolvidos na água*”. Além disso, a nanofiltração é uma tecnologia de membranas reconhecida por sua eficiência de separação, baixo consumo de energia, condições operacionais amenas, e fácil escalonamento, ou seja, apresenta características que estão de acordo com os princípios de ESG - *Environmental, Social, and Governance* (ambiental, social, e de governança) e também com os objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas.

Nesse mesmo contexto, BELLONA *et al.* (2012) conduziram estudos para comparar o desempenho de membranas de nanofiltração (NF270 e TFC-SR3) com a membrana de osmose reversa (OR) ESPA2 em aplicações de reúso de água, com foco na remoção de medicamentos e na recuperação da água. Eles avaliaram a remoção dos medicamentos carbamazepina, sulfametoxazol e atenolol. A membrana NF270 destacou-se com alta recuperação de água (cerca de 88%) e mínimo declínio de fluxo, superando a ESPA2, cujo declínio de fluxo foi atribuído, possivelmente, à incrustação da membrana. As taxas de rejeição da NF270 foram de 78,9% para atenolol, 88,0% para carbamazepina e 98,0% para sulfametoxazol. Embora o permeado da NF270 tenha mostrado maiores quantidades de contaminantes que o permeado da ESPA2, as concentrações permaneceram abaixo de 100 ng/L, exceto para o atenolol, o que não representou riscos toxicológicos.

Simões (2016) verificou que a membrana NF90 e a de OR (TW30) demonstraram uma eficácia praticamente total na remoção do bisfenol-A, atingindo quase 100% de remoção, enquanto a membrana NF270 apresentou uma taxa de remoção variando entre 43% e 54%. Em contrapartida, a membrana de UF, com poro nominal de 0,02 µm, mostrou-se praticamente ineficaz na remoção do bisfenol-A. Conforme destacado pelo autor, dentre as membranas de alta pressão investigadas, a membrana NF90 emerge como a mais adequada para o tratamento avançado de águas destinadas ao consumo humano contaminadas com bisfenol-A. Isso se deve à sua eficiência excepcional na remoção deste contaminante, quase atingindo 100%, e à sua superioridade em termos de desempenho operacional.

Dado o contexto apresentado, o presente estudo tem como propósito investigar a performance de duas membranas de nanofiltração, NF90 e NF270, na remoção de trimetoprima – um antibiótico largamente consumido – da água e assim contribuir para o avanço do conhecimento sobre tecnologias ainda pouco difundidas, que carecem mais estudos para possibilitar um aumento em sua implementação em sistemas de tratamento de água e efluentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

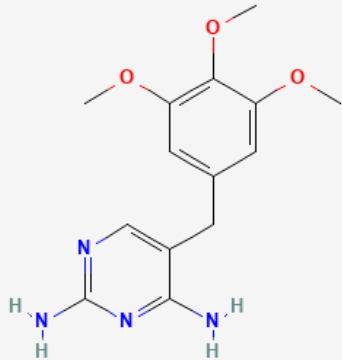
Neste estudo foram realizados ensaios de nanofiltração para remoção do antibiótico trimetoprima (TRI), utilizando as membranas NF90 e NF270 sob diferentes condições operacionais. Essas membranas possuem massa molecular de corte (*molecular weight cutoff – MWCO*) de



aproximadamente 200 e 400 Da, respectivamente, e são fabricadas pela FilmTec/DuPont (EUA) (GIACOBBO, PASQUALOTTO, et al., 2023).

Para avaliar os mecanismos envolvidos na nanofiltração de trimetoprima foram utilizadas soluções aquosas do medicamento com uma concentração semelhante à encontrada em efluentes da indústria farmacêutica, 5 mg/L (LARSSON, 2014). Todas as soluções foram preparadas apenas com o fármaco e água destilada e deionizada (condutividade $\leq 2 \mu\text{S/cm}$). A Tabela 1 mostra dados do fármaco estudado.

Tabela 1 - Características físico-químicas da trimetoprima.

Característica	Descrição
Fórmula Molecular	$\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}_3$
Massa Molecular (Da)	290
Solubilidade a 25°C (mg/L)	400
Log K_{OW}	0,91
pKa	7,12
Estrutura Molecular	

Fonte: PubChem (2024).

Os experimentos foram realizados em uma unidade de filtração piloto projetada para membranas planas, modelo LabUnit M20 (Alfa Laval, Dinamarca), utilizando-se uma área útil de membrana de $3,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

Inicialmente, as membranas foram submetidas a uma etapa de limpeza com uma solução de hidróxido de sódio com pH 9, a uma temperatura de 30 °C, por 30 minutos. Isso teve como propósito remover os produtos químicos responsáveis pela conservação das membranas. Após a etapa de limpeza, as membranas foram pré-condicionadas. Isso foi feito circulando água deionizada pressurizada a 8 bar por 2 horas, mantendo a temperatura a 25 °C com auxílio de um banho ultra-termostático. Por fim, a caracterização das membranas foi realizada com o intuito de determinar as suas respectivas permeabilidades hidráulicas. Essa caracterização foi conduzida pelo processamento (filtração) de água destilada e deionizada em diferentes pressões, variando de 2 a 8 bar, e medindo o fluxo de permeado (equação 1). A permeabilidade hidráulica consiste no coeficiente angular da reta obtida na representação gráfica do fluxo de permeado em função da pressão de operação (TRINDADE et al., 2015) e também pode ser calculada através da equação 2.

$$J_P = \frac{m_f - m_i}{t A_m} \quad (1)$$

$$L_P = \frac{J_P}{\Delta P} \quad (2)$$

J_P representa o fluxo de permeado, m_f e m_i são a massa final (contendo o permeado) e a inicial (recipiente

Realização

ABES-RS

PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br



vazio) do recipiente de coleta de permeado, respectivamente. t é o tempo de coleta de permeado, A_m é área da membrana, L_P é a permeabilidade hidráulica e ΔP é a pressão de operação.

Foram realizadas duas sequências de experimentos: i) uma em modo de recirculação total, onde ambas as correntes de retido e de permeado são continuamente recirculadas ao tanque de alimentação, visando manter o volume e a concentração no tanque constantes; e ii) outra em modo de concentração, onde a corrente de retido é recirculada ao tanque de alimentação e o permeado é coletado. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Nos ensaios em modo de recirculação total, a solução de trimetoprima, com um volume de 6 litros, foi exposta a 4 pressões distintas (2, 4, 6 e 8 bar), a uma temperatura constante de 25 ± 1 °C e vazão de alimentação (Q_A) de 480 L/h. Estes ensaios foram realizados visando determinar qual pressão traria os melhores resultados em termos de eficiência de remoção (R) da trimetoprima e fluxos de permeado.

$$R (\%) = \frac{C_A - C_P}{C_A} \times 100 \quad (3)$$

onde C_A e C_P são as concentrações de trimetoprima na alimentação e no permeado, respectivamente.

Os ensaios em modo de concentração foram realizados com as duas membranas, nas condições ótimas de operação ($Q_A = 480$ L/h, $\Delta P = 8$ bar, $T = 25$ °C), partindo de um volume inicial da alimentação de 20L, e monitorando o fluxo de permeado, a remoção de trimetoprima e a taxa de recuperação de água (TRA).

$$TRA (\%) = \frac{V_P}{V_A} \times 100 \quad (4)$$

onde V_A e V_P são os volumes da alimentação e do permeado, respectivamente.

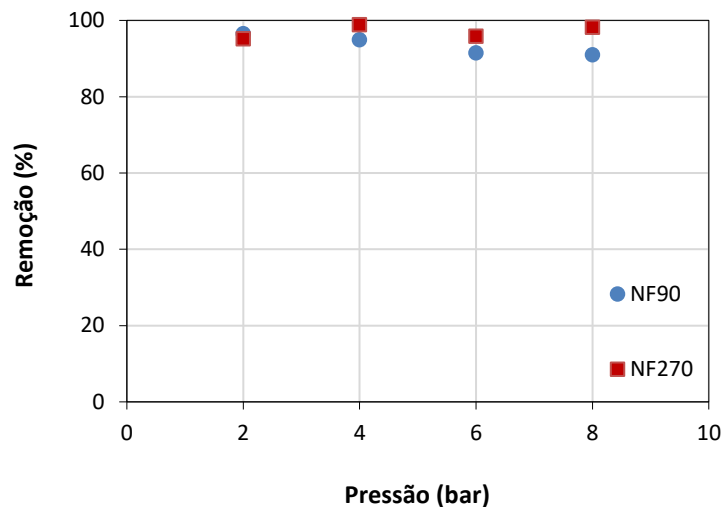
A concentração de trimetoprima foi determinada por análises de absorbância obtidas em um espectrofotômetro UV-Vis (PG Instruments, Reino Unido) no comprimento de onda de máxima absorção da TRI ($\lambda_{\text{máx}}$ 265 nm), por meio de uma curva de calibração: $[TRI] \text{ (mg/L)} = 52,761 \times \text{absorbância}$, $R^2 = 0,9972$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa das membranas NF90 e NF270, com foco em sua eficácia no tratamento de soluções contendo trimetoprima a uma concentração de 5 mg/L, revela aspectos fundamentais de suas performances nas diferentes pressões avaliadas. Através da observação da Figura 1, que ilustra a remoção, ou rejeição, da trimetoprima em função da pressão, percebe-se um comportamento parecido entre as duas membranas. Ambas apresentam elevadas rejeições, cujos valores variaram entre 90% e 99%, mas mostraram-se praticamente independentes da pressão de operação. No estudo em questão, a membrana NF270 apresentou rejeições médias à trimetoprima de $97 \pm 2\%$, sendo levemente superiores àquelas atingidas com a NF90 ($93 \pm 3\%$). Em estudos prévios, também usando as membranas NF90 e NF270, mas avaliando outros tipos de fármacos, também se constatou elevadas remoções, com a membrana NF90 atingindo $98,0 \pm 0,4\%$ e $94,7 \pm 1,1\%$ e a NF270 atingindo $97,2 \pm 1,7$ e $80,3 \pm 2,4$ de rejeição aos fármacos rosuvastatina e sulfametoxazol, respectivamente (GIACOBBO, PASQUALOTTO, *et al.*, 2023). Outro estudo com essas membranas, mas para o antibiótico norfloxacin, reportou remoções de $99,5 \pm 0,1\%$ com a membrana NF90 e $93,6 \pm 1,5\%$ com a NF270, isso em pH 6,5 (SOUZA *et al.*, 2018). Portanto, esses resultados indicam que ambas as membranas podem ser aplicadas para a remoção de antibióticos e outros CPE de águas e efluentes.

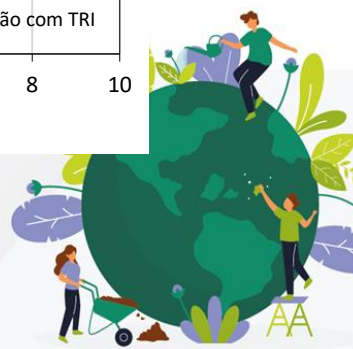
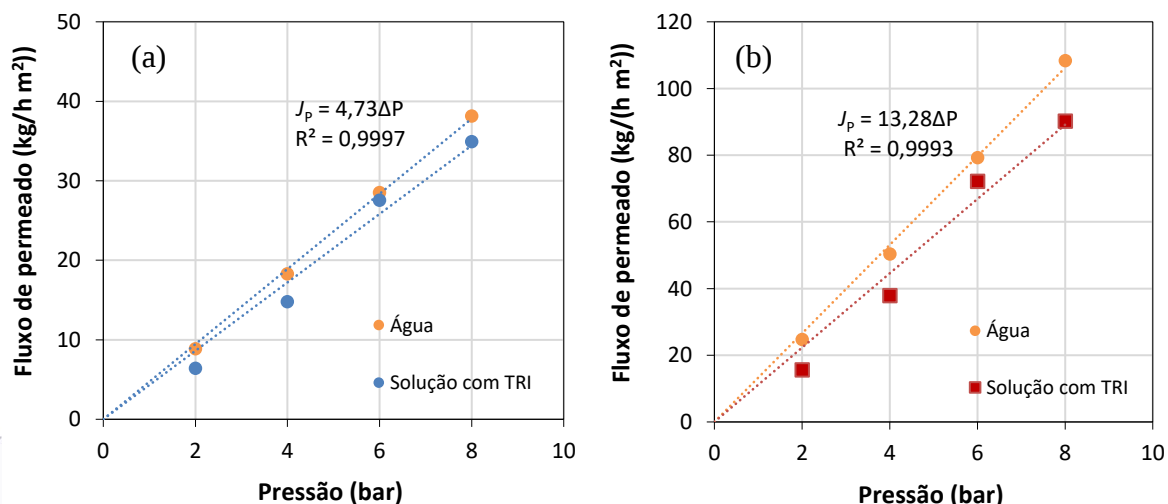


Figura 1 - Gráfico com resultados da remoção (%) de trimetoprima em função da pressão para as membranas NF90 e NF270 no ensaio em modo de recirculação total.



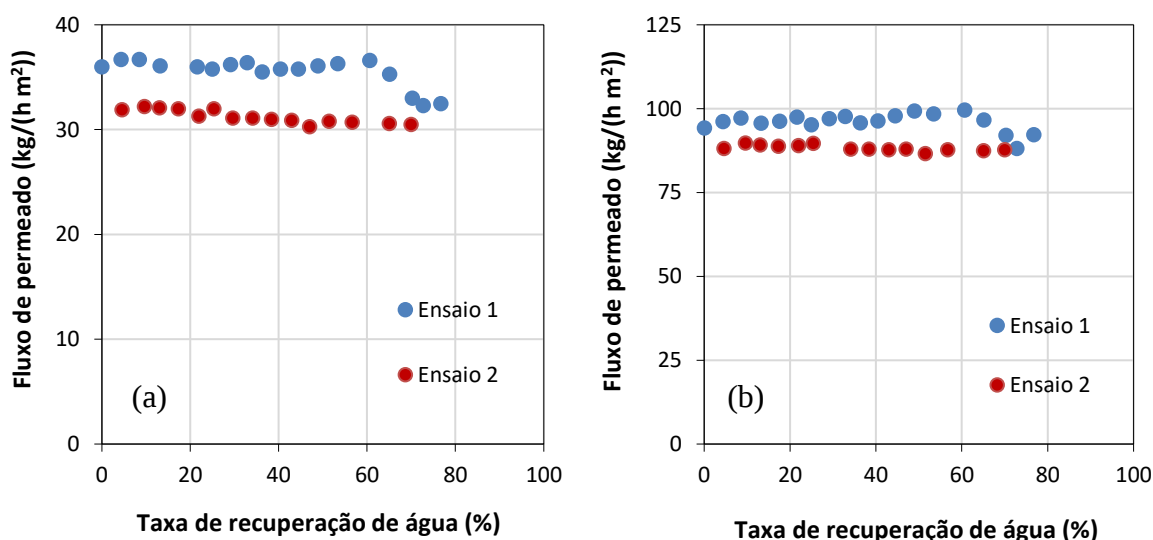
Na Figura 2 são ilustrados os fluxos de permeado e a permeabilidade hidráulica das membranas. A membrana NF270 apresentou permeabilidade hidráulica de 13,28 kg/(h m² bar), cujo valor é quase o triplo daquele observado para a membrana NF90, 4,73 kg/(h m² bar), e estes valores condizem com aqueles reportados na literatura (CABRERA-GONZÁLEZ et al., 2022; TRINDADE et al., 2015). Em uma comparação direta entre os fluxos de permeado obtidos com água deionizada (sem medicamento) e os fluxos observados nos ensaios em modo de recirculação total com a solução contendo trimetoprima revela que as variações são mínimas. Esta consistência sugere uma baixa incidência de polarização de concentração e ausência de incrustação (*fouling*) das membranas, fenômenos que podem comprometer a eficiência de filtragem ao longo do tempo devido ao acúmulo de materiais nos poros ou na superfície das membranas. O fato de os fluxos de permeado permanecerem estáveis e próximos aos valores observados com água deionizada reforça a eficácia e a resistência ao *fouling* das membranas, indicando que ambas mantêm sua integridade e desempenho frente à presença do contaminante estudado (trimetoprima). Considerando esses resultados, a pressão de 8 bar se mostrou como a mais adequada para o presente estudo pois resultou nos maiores fluxos de permeado para ambas as membranas, elevadas rejeições à trimetoprima e nenhuma indicação de incrustação.

Figura 2 - Fluxo de permeado em função da pressão para água e solução de 5 mg/L de trimetoprima para as membranas NF90 (a) e NF270 (b). Ensaios em modo de recirculação total.



Na Figura 3 é ilustrado o comportamento do fluxo de permeado como uma função da taxa de recuperação de água para as membranas NF90 (Figura 3a) e NF270 (Figura 3b). Ambas apresentaram fluxo constante ao longo dos ensaios, com a membrana NF90 mostrando fluxo de permeado médio de 34 ± 2 kg/(h m²) e a NF270 atingindo 93 ± 4 kg/(h m²). Notavelmente, a membrana NF270 demonstra um fluxo de permeado quase três vezes superior ao da NF90. Considerando que a taxa de recuperação é relativamente a mesma para ambas as membranas avaliadas essa diferença de fluxo se torna um critério decisivo na escolha da membrana mais adequada. A similaridade nas taxas de rejeição, combinada com um fluxo significativamente maior, posiciona a NF270 como a opção preferencial para processos que demandam não apenas alta eficiência de separação, mas também elevada capacidade de fluxo. Tendo em vista que a rejeição à trimetoprima é alta e o fluxo também, a NF270 se torna uma alternativa economicamente interessante, além do mais, a sua manutenção não seria grande, já que foi constatada a ausência de incrustação na membrana. Estes resultados estão em consonância com os reportados em outros estudos (GIACOBBO, SILVA, et al., 2023; SOUZA et al., 2020).

Figura 3 - Fluxo de permeado em função da taxa de recuperação de água para as membranas NF90 (a) e NF270 (b). Ensaios em modo de concentração com a solução de 5 mg/L de trimetoprima a 8 bar.



Em resumo, a análise detalhada das propriedades e performances das membranas NF90 e NF270 no contexto do tratamento de soluções com trimetoprima sublinha a importância de considerar tanto a eficiência de rejeição quanto a capacidade de fluxo na seleção de membranas para aplicações de filtração. A NF270, com sua rejeição consistente, superior capacidade de fluxo, e sob condições de *fouling* minimizadas, destaca-se como a escolha mais adequada para garantir a eficácia a longo prazo em processos de separação que envolvem antibióticos e outros contaminantes com tamanhos similares ou maiores que a trimetoprima.

4. CONCLUSÕES

Com base nas informações compiladas nos gráficos e resultados de ensaios de recirculação, é possível chegar a conclusões importantes sobre a eficácia das membranas NF90 e NF270 na filtração de soluções contendo trimetoprima a uma concentração de 5 mg/L, assim como suas características gerais de permeabilidade e rejeição.

A análise dos dados revela que ambas as membranas apresentaram elevadas remoções de trimetoprima em todas as pressões avaliadas e ausência de incrustações (*fouling*). No entanto, a membrana NF270 atingiu um fluxo de permeado superior ao da NF90 em toda a faixa de pressão testada. Essa diferença de desempenho pode ser atribuída à distinção na massa molecular de corte das duas



membranas, indicando que a NF270, com uma massa molecular de corte maior, possui poros de maior tamanho, que proporcionam um fluxo mais elevado.

Em suma, levando em conta tanto a taxa de rejeição quanto o fluxo de permeado, a membrana NF270 emerge como a opção mais vantajosa para a filtragem de soluções contendo trimetoprima. Sua capacidade de manter altas taxas de rejeição sob diversas pressões, juntamente com seu fluxo de permeado significativamente mais alto, a torna a escolha mais eficiente para processos de filtragem que requerem altos padrões de pureza e eficiência operacional. Estudos adicionais usando contaminantes com massas moleculares menores que a trimetoprima e com amostras de água e efluentes reais são necessários para aprofundar o conhecimento do comportamento da nanofiltração aplicada para a remoção de medicamentos e outros contaminantes de preocupação emergente de águas e efluentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FINEP e FAPERGS pelo suporte financeiro.

REFERENCIAS

BATTAGLIN, W. A.; KOLOK, A. Featured collection introduction: Contaminants of emerging concern II. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 2, p. 261–265, 1 abr. 2014.

BELLONA, C. *et al.* The pros and cons of using nanofiltration in lieu of reverse osmosis for indirect potable reuse applications. **Separation and Purification Technology**, v. 85, p. 69–76, 2012.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, 2003.

CABRERA-GONZÁLEZ, M. *et al.* Evaluation of nanofiltration membranes for pure lactic acid permeability. **Membranes**, v. 12, n. 3, 2022.

CNS. **Consumo de medicamentos: um autocuidado perigoso**. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2005/medicamentos.htm>. Acesso em: 5 mar. 2024.

GIACOBBO, A.; SILVA, S. W.; *et al.* Tecnologias avançadas para eliminação de antibióticos da água: um estudo de caso do sulfametoxazol. In: 32º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (CBESA). **Anais...**Belo Horizonte: ABES, 2023.

GIACOBBO, A.; PASQUALOTTO, I. F.; *et al.* Ultrafiltration and Nanofiltration for the Removal of Pharmaceutically Active Compounds from Water: The Effect of Operating Pressure on Electrostatic Solute—Membrane Interactions. **Membranes**, v. 13, n. 8, p. 743, 19 ago. 2023.

GIACOBBO, A.; VARELA, L. G. H.; BERNARDES, A. M. Remoção de antibióticos da água por nanofiltração. In: 7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. **Anais...**Bento Gonçalves: FIEMACON, 2023

LARSSON, D. G. J. Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 369, n. 1656, p. 20130571, 19 nov. 2014.



LI, W. C. Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. **Environmental Pollution**, v. 187, p. 193–201, 2014.

MACHADO, K. C. *et al.* A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 572, p. 138–146, 2016.

PUBCHEM. **Resumo do Composto Trimetoprima.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Trimethoprim>>. Acesso em: 19 fev. 2024.

QUOCTUC, D. *et al.* Fate of antibiotics from hospital and domestic sources in a sewage network. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 758–766, 2017.

SANTOS, D. F. *et al.* Non-conventional processes applied for the removal of pharmaceuticals compounds in waters: A review. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 307, 135763, 2022.

SIMÕES, C. P. P. **Avaliação operacional e remoção de bisfenol-A no tratamento de água por diferentes tipos de membranas: avaliação em escala piloto.** Brasília, 183 p., 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

SOUZA, D. I. *et al.* Nanofiltration for the removal of norfloxacin from pharmaceutical effluent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 6147–6153, 2018.

SOUZA, D. I. *et al.* **Remoção dos antibióticos norfloxacino e sulfametoxazol em águas através de processos de separação por microfiltração e nanofiltração.** Porto Alegre, 122 p., 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, D. I. *et al.* Experimental design as a tool for optimizing and predicting the nanofiltration performance by treating antibiotic-containing wastewater. **Membranes**, v. 10, n. 7, p. 156, 1 jul. 2020.

TRINDADE, C. D. M. *et al.* Membrane separation processes applied to the treatment of effluents from nanoceramic coating operations. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, n. 1, p. 28–38, 2015.

TULCHINSKY, T. H.; VARAVIKOVA, E. A.; COHEN, M. J. A history of public health. In: TULCHINSKY, T. H.; VARAVIKOVA, E. A.; COHEN, M. J. (Eds.). **The New Public Health (Fourth Edition)**. San Diego: Academic Press, 2023. p. 1–54.

