



ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MEMBRANA CERÂMICA DO TIPO FIBRA OCA NA REMOÇÃO DE CORANTE VERMELHO DE CONGO DE SOLUÇÕES AQUOSAS

Warlen Agnelo Dias¹
Mayara Teixeira da Silva²
Juliana de Souza Ferreira³
Miria Hespanhol Miranda Reis⁴

Reaproveitamento, Reutilização e Tratamentos de Resíduos

Resumo

Os corantes sintéticos estão presentes em vários segmentos industriais, como nas indústrias têxtil, química, farmacêutica, entre outras. Entretanto, a falta de tratamento ou o descarte incorreto desses pigmentos podem gerar graves problemas ambientais, afetando os organismos presentes nos corpos hídricos e a cadeia alimentar humana. Sendo assim, este trabalho propõe a utilização de membranas cerâmicas do tipo fibra oca como processo de remoção do corante vermelho de congo de soluções aquosas. A permeabilidade hidráulica da membrana foi de $2,445 \pm 0,064 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kPa}^{-1}$. O fluxo de permeado estabilizado foi de $233,07 \pm 1,307 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. O fator de incrustação da membrana foi 74,8079%. O ajuste ao modelo de Hermia indicou que houve uma combinação dos mecanismos de incrustação, entretanto o que predominou foi a formação de torta com $R^2=0,9713$. A análise de colorimetria indicou que houve a remoção do corante através dos parâmetros de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^* e b^*), onde houve um aumento do valor de L^* da alimentação de $82,3167 \pm 0,0666$ para $85,6667 \pm 0,1415$ do permeado e uma queda nos valores de a^* e b^* , onde na alimentação esses valores eram, respectivamente, $31,9500 \pm 0,0954$ e $19,6900 \pm 0,1217$ e no permeado esses parâmetros caíram para $26,0933 \pm 0,2194$ e $14,5600 \pm 0,1136$, respectivamente. Por meio dessa tecnologia foi possível remover 27,1361% do corante vermelho de congo. Portanto, o processo de filtração com membrana cerâmica do tipo fibra oca é capaz de remover o corante vermelho de congo de soluções aquosas.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Membranas; *Dead-end*; Vermelho de congo; Fibras.

¹Mestrando em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, warlen.dias@ufu.br

²Doutoranda em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, mayara.silva@ufu.br

³Profª. Drª. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química - FEQUI, julianasf@ufu.br

⁴Profª. Drª. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química - FEQUI, miria@ufu.br



INTRODUÇÃO

Devido às suas propriedades de coloração, os corantes sintéticos são uma necessidade em vários segmentos industriais importantes, como indústrias têxtil, papel, couro, entre outras. Estima-se que 700.000 toneladas de corantes, dentre 100.000 tipos de corantes disponíveis no mercado, são fabricadas a cada ano (Katheresan et al., 2018). Entretanto, o descarte incorreto dessas substâncias no ambiente pode desencadear graves problemas ambientais.

Apesar de serem fáceis de detectar graças as suas propriedades de coloração, os corantes sintéticos apresentam estrutura química aromática, o que dificulta sua remoção dos ecossistemas de águas residuais. Devido à sua natureza tóxica, mutagênica e carcinogênica, os corantes sintéticos podem gerar problemas ecológicos e de saúde, além de apresentarem estabilidade relativamente alta (Piaskowski et al., 2018). Nesse contexto, várias tecnologias de tratamento de águas residuais foram desenvolvidas, incluindo: biorremediação aeróbica ou anaeróbica, oxidação química, troca iônica, ozonização, processo Fenton, adsorção, coagulação eletrocinética, irradiação, degradação eletroquímica e filtração com membranas (Bhagat et al., 2023).

Cada um desses métodos de tratamento de águas residuais apresenta vantagens e desvantagens específicas. Entre eles, destacam-se os processos de filtração com membranas devido à sua facilidade de operação, eficiência energética, compactidade e modularidade (Liang et al., 2021). A filtração com membranas utiliza a pressão para realizar a separação e baseia-se na permeabilidade e seletividade da barreira. A tecnologia é vantajosa para a remoção de corantes de efluentes industriais porque pode operar em temperatura ambiente, existe a possibilidade de aumento de escala e não é necessário a adição de compostos químicos no processo (Lu et al., 2021).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar a aplicação de uma membrana cerâmica do tipo fibra oca, composta de α -alumina, na remoção do corante vermelho de congo de soluções aquosas. De acordo com o conhecimento dos autores, esse é o primeiro estudo relacionado à aplicação de uma membrana de fibra oca, composta de α -alumina, na remoção do corante vermelho de congo de soluções aquosas, operando no modo *dead-end*

Realização



ou seja, escoamento perpendicular à membrana e seguindo fluxo de fora para dentro.

METODOLOGIA

A solução aquosa foi preparada sinteticamente como sendo uma mistura de água ultrapura (Milli-Q[®]) e corante vermelho de congo (C.I.22120, P.M: 696,66, Neon Comercial, Brasil), na concentração de $92,1493 \pm 0,0004 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A fibra oca cerâmica utilizada neste trabalho é uma membrana de microfiltração, composta de α -alumina (Al_2O_3), produzida pelo grupo de pesquisa em Processos de Separação por Membranas, da Faculdade de Engenharia Química (FEQUI), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e, gentilmente, doada para os ensaios desse trabalho. Características e detalhes sobre o processo de fabricação das membranas cerâmicas do tipo fibra oca podem ser consultados em Binds et al. (2020) e Terra et al. (2019).

Com o intuito de investigar a eficácia da tecnologia em relação à remoção do corante vermelho de congo de soluções aquosas, o ensaio consistiu de três etapas experimentais: (i) ensaio de filtração de água ultrapura na membrana “limpa” para medir a permeabilidade da membrana antes da filtração (L_{P0}); (ii) ensaio de filtração com a solução aquosa para medir a eficiência de remoção a partir das concentrações de permeado e alimentação (C_P e C_F) e (iii) ensaio de filtração de água ultrapura na membrana “suja” para estimar a permeabilidade depois da filtração (L_{P1}).

As concentrações das correntes de alimentação e permeado foram aferidas por meio de espectrofotometria UV-VIS. Para isso foi feito uma curva de calibração no espectrofotômetro (PerkinElmer, PDA UV/VIS Lambda 265), disponível na FEQUI-UFU, nas concentrações de 30, 20, 10, 5, 2,5 e 0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O comprimento de onda usado foi estimado por varredura e igual a 496 cm^{-1} . Para determinar o grau de remoção, utilizou-se a Equação (1):

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_F}\right) \times 100 \quad (1)$$

Sendo que R é a retenção do corante (%), C_P e C_F são as concentrações das soluções do permeado e alimentação ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), respectivamente (Soulaïman et al., 2021).

A quantificação das cores das soluções de alimentação e permeado foi determinada

Realização

através de um colorímetro (Konica Minolta Chroma Meter CR-5), disponível na FEQUI-UFU, no espaço de cores L^*a^*b , onde as medidas foram expressas em termos de luminosidade L^* e os parâmetros de cromaticidade a^* e b^* .

Todas as etapas foram realizadas no sistema ilustrado na Figura 1, operando no modo *dead-end*, seguindo fluxo na membrana de fora para dentro.

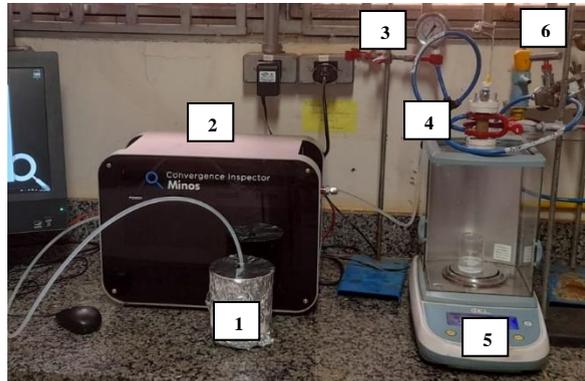


Figura 1. Sistema de permeação e filtração, composto por: (1) tanque de alimentação; (2) equipamento *Convergence Inspector Minos*; (3) manômetro; (4) módulo de PVC que suporta a fibra; (5) balança de precisão da marca BEL e (6) válvula de regulagem de pressão totalmente fechada. Fonte: Os autores.

A força motriz responsável pela passagem da alimentação no módulo ocorre pela pressão aplicada, controlada manualmente no sistema do equipamento *Convergence Inspector Minos*, um sistema padrão mundial para estudos com membranas em operações *dead-end*.

No ensaio de permeabilidade hidráulica utilizou-se água ultrapura (Milli-Q®). Variando a pressão de 0,7 – 2,5 bar, a leitura da massa de água em cada pressão foi feita em triplicata e, posteriormente, calculou-se o fluxo de água considerando a média das leituras para cada pressão. De acordo com o fluxo da Lei de Darcy, a permeabilidade hidráulica (PWP , $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot kPa^{-1}$) é estimada como sendo o coeficiente angular da reta ajustada da regressão linear dos dados de fluxo \times pressão, quando o coeficiente linear é igual a 0, podendo ser representada pela Equação (2) (Cardoso, 2023):

$$PWP = \frac{Q}{A_m \times t \times \Delta P} \quad (2)$$

sendo que Q é o volume de água ultrapura (Milli-Q®) permeada (L), A_m é a área efetiva de filtração da membrana (m^2), t é o tempo da permeação (h) e ΔP é a pressão

Realização



transmembrana (kPa). A área efetiva de filtração da membrana (A_m) foi de $4,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

A filtração foi realizada sob pressão de 2 bar e temperatura ambiente até alcançar a estabilização do fluxo. O fluxo de permeado (J_V) foi calculado pela Equação (3):

$$J_V = \frac{Q}{A_m \times t} \quad (3)$$

em que Q é o volume de permeado (L), A_m é a área efetiva de filtração da membrana (m^2) e t o tempo de permeação (h).

O fluxo foi registrado em função do tempo de filtração e a corrente de permeado foi coletada para análises de concentração do corante e de cor. A filtração foi realizada até atingir um fator de concentração igual a 2.

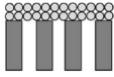
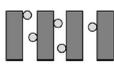
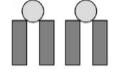
A queda da permeabilidade da membrana durante a filtração foi investigada através do índice de entupimento (*fouling index*) expresso pela Equação (4) (Lu et al., 2021), considerando a mesma área de filtração, pressão e temperatura da filtração da solução aquosa.

$$FI = \left(1 - \frac{L_{P1}}{L_{P0}}\right) \times 100 \quad (4)$$

sendo L_{P0} e L_{P1} a permeabilidade da membrana à água ultrapura antes e depois da filtração, respectivamente, expressas em $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{bar}^{-1}$.

O modelo de Hermia foi utilizado para analisar os mecanismos de incrustação na membrana (Hermia, 1982). A Tabela 1 apresenta as equações linearizadas para cada situação (Equações 5-8). O ajuste linear foi realizado no *software Origin®*.

Tabela 1. Modelos de entupimento segundo o modelo de Hermia. Fonte: Pertile (2013)

	Nome do modelo	Fenômeno	Equação linearizada	
n=0	Formação de torta		$\frac{1}{J_P^2} = \frac{1}{J_0^2} + k_t t$	(5)
n=1	Bloqueio intermediário		$\frac{1}{J_P} = \frac{1}{J_0} + k_t t$	(6)
n=1,5	Bloqueio padrão		$\frac{1}{J_P^{0,5}} = \frac{1}{J_0^{0,5}} + k_t t$	(7)
n=2	Bloqueio completo		$\ln J_P = \ln J_0 - k_c t$	(8)

Realização



Na Tabela 1, J_P e J_0 são os fluxos de permeado e inicial, respectivamente, k é o coeficiente de transferência de massa e t é o tempo do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A permeabilidade hidráulica foi medida com o intuito de verificar a influência da membrana em relação ao fluxo de água pressurizado no sistema. Nesse estudo, a fibra oca cerâmica apresentou permeabilidade hidráulica (PWP) de $2,445 \pm 0,064 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{kPa}^{-1}$, de acordo com a Figura 2.

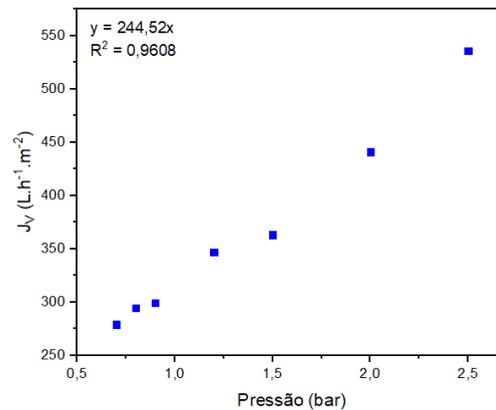


Figura 2. Permeabilidade hidráulica da membrana à água. Fonte: Os autores.

A permeabilidade hidráulica é uma medida de caracterização da membrana e serve também para investigar o grau de integridade dela (Mulder, 1996). Cardoso (2023) produziu fibras de alumina pelo mesmo método de fabricação da membrana utilizada neste trabalho e encontrou uma permeabilidade hidráulica de $2,47 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{kPa}^{-1}$. Chee et al. (2020) estudaram a influência do tamanho de partícula de alumina nas propriedades e desempenho das fibras ocas produzidas e alcançaram resultados de permeabilidade próximos aos encontrados nesse estudo, na faixa de $3,22$ a $3,24 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{kPa}^{-1}$.

Sendo assim, como a permeabilidade hidráulica da membrana está de acordo com os dados encontrados na literatura, a fibra cerâmica foi utilizada na remoção do corante vermelho de congo de solução aquosa. Os resultados da permeabilidade da membrana antes e depois da filtração, à 2 bar e temperatura ambiente, são apresentados na Tabela 2:



Tabela 2. Permeabilidade da membrana à água antes (L_{P0}) e depois (L_{P1}) da filtração

L_{P0} ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$)	L_{P1} ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$)
$220,4861 \pm 0,0000$	$55,5451 \pm 0,0709$

Com os valores apresentados na Tabela 2 e a Equação (4) é possível estimar o *fouling index* (FI). O FI trata-se de um parâmetro operacional que permite investigar o grau de entupimento dos poros da membrana e, conseqüentemente, ajuda na determinação de propriedades anti-entupimento para a filtração (Dorneles et al., 2022). Neste trabalho, o FI obtido foi de 74,8079%, o que representa um decaimento considerável no fluxo do processo. De fato, esse FI alto era esperado uma vez que a operação foi realizada no modo *dead-end* e, nesse modo de operação, o entupimento dos poros é maior (Hermia, 1982).

O decaimento do fluxo pode ser visualizado na Figura 3, onde são apresentados os dados de fluxo de permeado (J_V) ao longo do tempo de filtração da solução com corante.

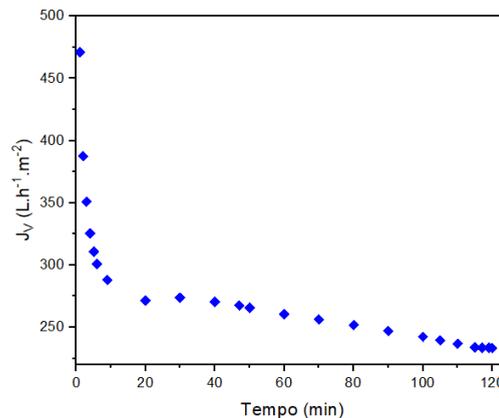


Figura 3. Fluxo de permeado x tempo de filtração da solução de vermelho congo. Fonte: Os autores.

A Figura 3 ilustra o decaimento do fluxo de permeado ao longo do tempo de filtração até atingir o estado estacionário em, aproximadamente, 115 min. Conforme dito anteriormente, isso acontece devido ao entupimento dos poros da membrana, gerado à medida em que as partículas de corante são retidas e acumuladas no meio filtrante. O fluxo de permeado estabilizado foi de $233,07 \pm 1,307 L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$.

Os valores encontrados para o comportamento do fluxo com o tempo foram ajustados ao modelo de Hermia, conforme descrito na Tabela 1. O objetivo dessa análise foi avaliar, a partir do coeficiente de correlação R^2 , qual mecanismo explica melhor o tipo

Realização

de incrustação dos poros da membrana. A Figura 4 apresenta os resultados do ajuste linear e a Tabela 3 apresenta os resultados de R^2 para cada mecanismo.

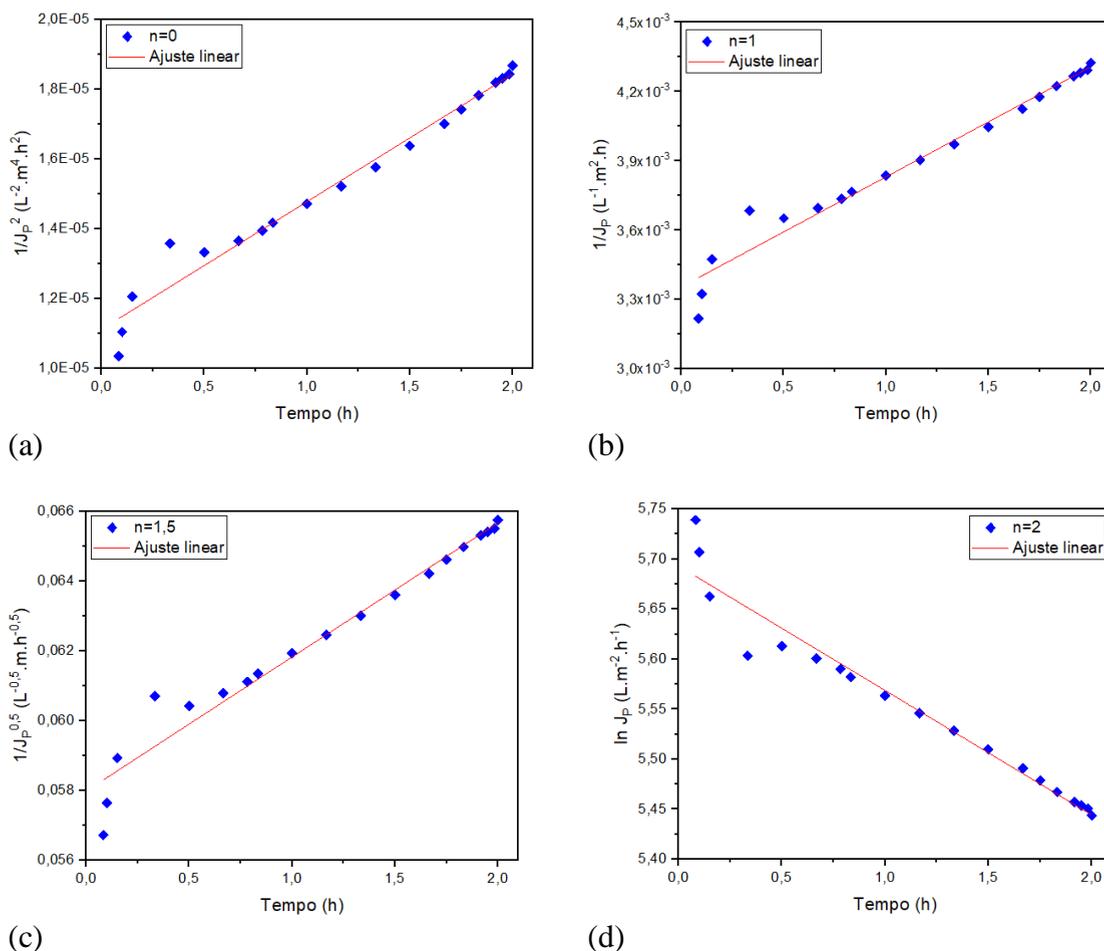


Figura 4. Ajuste dos dados experimentais ao modelo de Hermia: (a) Formação de torta ($n=0$); (b) Bloqueio intermediário ($n=1$); (c) Bloqueio padrão ($n=1,5$); e (d) Bloqueio completo ($n=2$). Fonte: Os autores.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (R^2) do ajuste do modelo de Hermia

$n=0$	$n=1$	$n=1,5$	$n=2$
0,9713	0,9633	0,9578	0,9511

Segundo Pertile (2013), a formação de torta ($n=0$) ocorre quando as partículas da solução são maiores do que os poros da membrana, resultando na deposição de partículas na superfície do meio filtrante e, conseqüentemente, formando a torta. O bloqueio de poros intermediário ($n=1$) acontece quando a dimensão das partículas em solução é semelhante



ao tamanho dos poros da membrana, acontecendo o entupimento na superfície da membrana. Nesse modelo, é considerado que as partículas se juntam umas às outras, sendo que nem todas as moléculas que chegam à superfície contribuem para o bloqueio dos poros. O modelo de bloqueio de poros padrão ($n=1,5$) ocorre quando as moléculas de soluto são menores que os poros da membrana, sendo depositadas no interior dos poros. Por fim, o bloqueio completo dos poros ($n=2$) é formado quando as partículas são muito maiores do que os poros da membrana, provocando o bloqueio completo.

Os resultados da Tabela 3 indicam que, no caso dessa filtração, pode ter ocorrido uma combinação dos mecanismos porque os valores de R^2 ficaram muito próximos. Entretanto, o mecanismo com o maior R^2 foi o de formação de torta, indicando que esse bloqueio pode ter prevalecido em relação aos demais. De fato, Hermia (1982) afirma que isso acontece porque, ao realizar a alimentação perpendicularmente à superfície da membrana, as partículas em suspensão vão se acumulando, gerando uma “torta” de filtração e uma queda no fluxo do processo. Vela et al. (2008) verificaram em seu estudo que os modelos de formação de torta e bloqueio intermediário ajustam melhor os dados quando se trata de fluxos em membranas cerâmicas de microfiltração, coerente com o resultado encontrado nesse trabalho.

A quantificação das cores das correntes de alimentação e permeado foi aferida por análise de colorimetria, cujos resultados são expressos na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de colorimetria das amostras de alimentação e permeado.

Parâmetro	Alimentação	Permeado	
Luminosidade (L)	$82,3167 \pm 0,0666$	$85,6667 \pm 0,1415$	
Cromaticidade	a*	$31,9500 \pm 0,0954$	$26,0933 \pm 0,2194$
	b*	$19,6900 \pm 0,1217$	$14,5600 \pm 0,1136$

Pelos dados da Tabela 4 é possível verificar que a membrana foi capaz de reter o corante da água principalmente pelos parâmetros de luminosidade L^* e cromaticidade a^* . Isso porque a luminosidade está relacionada ao quanto uma cor é clara ou escura, sendo que quanto mais próximo de 100%, mas clara é a cor. Assim, percebe-se que a luminosidade do permeado é maior que a da alimentação, uma vez que houve um aumento do valor de L^* de $82,3167 \pm 0,0666$ para $85,6667 \pm 0,1415$. Os parâmetros a^* e b^* indicam as direções das



cores, sendo que +a* representa o sentido do vermelho e +b* o sentido do amarelo. Pela Tabela 4 verifica-se que houve uma queda nos valores de a* e b*, sendo que na alimentação esses valores foram, respectivamente, $31,9500 \pm 0,0954$ e $19,6900 \pm 0,1217$; e no permeado esses parâmetros caíram para $26,0933 \pm 0,2194$ e $14,5600 \pm 0,1136$, respectivamente. Sendo assim, infere-se que a solução de permeado é mais luminosa, mais clara e menos vermelha que a alimentação.

As concentrações das correntes de alimentação e permeado são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Concentrações ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) da solução aquosa antes e depois da filtração

Alimentação ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Permeado ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
$92,1493 \pm 0,0003$	$67,1436 \pm 0,0001$

De posse da Equação (1) e os dados apresentados na Tabela 5 é possível estimar o grau de rejeição (%R) do corante vermelho de congo, obtendo um percentual de 27,1361%. Na literatura, é possível encontrar valores maiores de %R de vermelho de congo a partir de membranas de microfiltração produzidas por outros materiais cerâmicos, como descrito por Beqqour et al. (2021), Li et al. (2021), Soulaïman et al. (2021) e Li et al. (2023). Entretanto, conforme citado anteriormente, de acordo com o conhecimento dos autores esse é o primeiro estudo relacionado à remoção do corante vermelho de congo de soluções aquosas a partir de fibra oca cerâmica composta de α -alumina pura, operando no modo *dead-end*, seguindo fluxo de fora para dentro. Ademais, os estudos citados da literatura executaram o processo de separação em pressões mais baixas, na faixa de 1 – 1,5 bar, e no modo de operação *cross-flow*. Os resultados apresentados nesse estudo comprovaram que o fluxo em *dead-end* proporcionou um maior entupimento dos poros, logo a realização da operação em uma pressão mais alta, de 2 bar, pode ter forçado as moléculas de corante depositadas na superfície a passar pelos poros da membrana.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados citados anteriormente é possível inferir que membranas cerâmicas de fibra oca são capazes de remover corante vermelho de congo de soluções

Realização



aquosas, entretanto estudos de otimização da tecnologia devem ser estudados para aumentar o grau de remoção. A análise dos modelos de incrustação e o cálculo do FI mostraram ser parâmetros interessantes para investigar o grau de entupimento dos poros, sendo critérios que podem ser usados na busca por propriedades anti-entupimento para o processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro e a Faculdade de Engenharia Química, da Universidade Federal de Uberlândia, pelo suporte e infraestrutura necessária para a realização dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

BHAGAT, S. K.; PILARIO, K. E.; BABALOLA, O. E.; TIYASHA, T.; YAQUB, M.; ONU, C. E.; PYRGAKI, K.; FALAH, M. W.; JAWAD, A. H.; YASEEN, D. A. Comprehensive review on machine learning methodologies for modeling dye removal processes in wastewater. **Journal Of Cleaner Production**, v. 385, p. 1 - 64, 2023.

BINDES, M. M. M.; TERRA, N. M.; PATIENCE, G. S.; BOFFITO, D. C.; CARDOSO, V. L.; REIS, M. H. M. Asymmetric Al₂O₃ and PES/Al₂O₃ hollow fiber membranes for green tea extract clarification. **Journal Of Food Engineering**, v. 277, p. 1 - 10, 2020.

BEQQOUR, D.; DEROUICHA, G.; TAANAOUIA, W.; ESSATEA, A.; OUAMMOUA, M.; YOUNSSIA, S. A.; BENNAZHAA, J.; CODYB, J. A.; RHAZIA, M. E. Development of composite ultrafiltration membrane made of PmPD/PVA layer deposited on ceramic pozzolan/micronized phosphate support and its application for Congo red dye removal. **Desalination and Water Treatment**, v. 240, p. 152–164, 2021.

CARDOSO, A. M. de J. M. **Membranas compósitas de óxido de grafeno depositadas em fibras ocas cerâmicas para purificação de efluentes contaminados com fármacos**. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

CHEE, D. N. A.; ISMAIL, A. F.; AZIZ, F.; AMIN, M. A. M.; ABDULLAH, N. The influence of alumina particle size on the properties and performance of alumina hollow fiber as support membrane for protein separation. **Separation And Purification Technology**, v. 250, p. 117147, 2020.

DORNELES, K. R.; SILVA, W. R.; REIS, M. H. M. Purificação de compostos fenólicos do extrato de alfavaca (*Ocimum Basilicum L.*) por filtração com membrana. **Anais do Congresso**

Realização





Brasileiro de Sistemas Particulados, Ubelândia, v. XL, n. 159174, p. 1 - 6, 2022.

HERMIA, J. “Constant pressure blocking filtration laws—application to power-law non-newtonian fluids”, **Trans. Inst. Chem. Eng.**, v. 60, pp. 183-187, 1982.

KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4676-4697, 2018.

LIANG, F.; ZHENG, J.; HE, M.; MAO, Y.; LIU, G.; ZHAO, J.; JIN, W. Exclusive and fast water channels in zwitterionic graphene oxide membrane for efficient water–ethanol separation. **Aiche Journal**, v. 67, n. 7, p. 1-13, 2021.

LI, B.; YANG, H.; LI, C.; HE, X.; ZHANG, Y. Preparation of novel (MgCoNiCuZn)O high-entropy ceramic membrane and its dye separation. **Journal Of The European Ceramic Society**, v. 43, n. 8, p. 3437-3446, 2023.

LI, Y.; WANG, Y.; LIU, Z.; JIANG, L.; YANG, H.; XU, Z. Separation of anionic dye mixtures by Al-metal-organic framework filled polyacrylonitrile-ethanolamine membrane and its modified product. **Journal Of Cleaner Production**, v. 284, p. 124778, 2021.

LU, C.; BAO, Y.; HUANG, J. Fouling in membrane filtration for juice processing. **Current Opinion In Food Science**, v. 42, p. 76-85, 2021.

MULDER, M. Basic principles of membrane technology. 2ª ed. **Kluwer Academic Publishers**, 1996

PERTILE, C. **Avaliação de processos de separação por membranas como alternativas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PIASKOWSKI, K., ŚWIDERSKA-DABROWSKA, R., PAWEL K. Z. Dye Removal from Water and Wastewater Using Various Physical, Chemical, and Biological Processes. **Journal of AOAC International**, v. 101, p. 1371–1384, 2018.

SOULAIMAN I.; MIYAHC, Y.; ELAZHARD, F.; LAGDALIA, S.; EL-HABACHAA, M. Low-cost ceramic microfiltration membranes made from Moroccan clay for domestic wastewater and Congo Red dye treatment. **Desalination and Water Treatment**, vol 235, p. 251–271, 2021.

TERRA, N. M.; MADRONA, G. S.; FERREIRA, F. B.; CARDOSO, V. L.; REIS, M. H. M. High Performance of Asymmetric Alumina Hollow Fiber Membranes for the Clarification of Genipap (*Genipa americana L.*) Fruit Extract. **Food And Bioprocess Technology**, v. 12, n. 1, p. 27-38, 2018.

VELA, M. C. V.; BLANCO, S. A.; GARCÍA, J. L.; RODRÍGUEZ, E. B. Analysis of membrane pore blocking models applied to the ultrafiltration of PEG. **Separation And Purification Technology**, v. 62, n. 3, p. 489-498, 2008.

Realização