

PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS A PARTIR DE POLI(ÉTER IMIDA) PARA UTILIZAÇÃO EM TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CORANTES

Thays Pinheiro Machado¹

Carollina Marques²

Janice Souza Hamm³

Marcia Victória Silveira⁴

Letícia Zanchet⁵

Resumo: A indústria têxtil tem grande responsabilidade na degradação de corpos hídricos pela utilização intensa e inadequada de água e produtos químicos nos processos produtivos. Como resposta, surgiram técnicas de tratamento, como as membranas que consistem em uma barreira seletiva que separa fases, atuando como meio filtrante e restringindo a passagem de espécies químicas pela dimensão de poros ou afinidade química. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é o preparo de membranas poliméricas a partir do polímero PEI para a remoção de azo corante em efluentes. Para isso, preparou-se uma solução polimérica de 10% de PEI em solvente NMP. As membranas foram obtidas pela técnica de inversão de fases em um não-solvente água. A caracterização evidenciou membranas com estruturas assimétricas na forma de finger-like; ausência de poros na camada de topo; duas faixas de poros (mesoporos); material característico de isoterma do tipo II. Já a análise de FTIR destacou picos característicos do polímero precursor. Por fim, notou-se que a membrana não sofreu nenhuma variação na Tg, não havendo degradação do polímero por aquecimento, o que também demonstra o potencial de aplicação em processos que demandam alta temperatura.

Palavras-chave: Corantes. Membranas. Poli(éter imida)..

C
I
P
P
U
S

(ISSN2238-9032)

¹ Graduada em Química Bacharelado. Universidade La Salle. E-mail: thays_pinheiro@outlook.com

² Graduada em Engenharia Química. Universidade La Salle. E-mail: carollinafmarques1@hotmail.com

³ Prof. Dra. em Engenharia Química, Universidade La Salle. E-mail: hamm.jbs@gmail.com

⁴ Prof. Dra. em Química, Instituto Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: marciavictoria.furg@gmail.com

⁵ Doutora em Ciências dos materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail:

leticia_zanchet@hotmail.com

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYMERIC MEMBRANES FROM POLY(IMIDE ETHER) FOR USE IN THE TREATMENT OF EFFLUENTS CONTAINING DYES

Abstract: The textile industry is largely responsible for the degradation of water bodies due to the intense and inappropriate use of water and chemical products in production processes. As a response, treatment techniques have emerged, such as membranes, which consist of a selective barrier that separates phases, acting as a filtering medium and restricting the passage of chemical species by pore size or chemical affinity. In this context, the aim of this work is to prepare polymeric membranes from PEI polymer for the removal of azo dyes from effluents. To this end, a polymeric solution of 10% PEI in NMP solvent was prepared. The membranes were obtained using the phase inversion technique in a non-solvent water. Characterization showed membranes with asymmetrical finger-like structures; no pores in the top layer; two pore bands (mesopores); material characteristic of a type II isotherm. FTIR analysis highlighted peaks characteristic of the precursor polymer. Finally, it was noted that the membrane did not undergo any variation in T_g, and there was no degradation of the polymer due to heating, which also demonstrates its potential for application in processes that require high temperatures.

Keywords: Dyes, Membranes, Poly(ether imide).

INTRODUÇÃO

O uso de corantes é inerente à humanidade desde o início das civilizações. A prática de tingimento remonta de cerca de 2000 a.C., mas a utilização de corantes possui registros que datam do período pré-histórico, os quais, aproveitavam-se de diversas substâncias de origem natural. O método de obtenção é registrado até nos hieróglifos egípcios, detalhando desde a extração dos corantes até sua utilização no tingimento (YAMANAKA, 2016; PICCOLI, 2008).

Dados apontam que toneladas de corantes são produzidas anualmente, sendo que a classe de corante azo tem a maior parcela de produção, com cerca de 130 mil toneladas fabricadas por ano. No entanto, entre 30% a 50% dessa porção são descartados inadequadamente como resíduos da indústria têxtil (YAMANAKA, 2016).

Hoje em dia é possível encontrar mais de três mil corantes dessa classe utilizados e produzidos pela indústria, que se categorizam principalmente por conter um ou mais grupos azo (-N=N). Porém, sua alta toxicidade faz com que eles venham sendo cada vez menos explorados, já que sua constituição química é capaz de resistir ao ambiente e se acumular em níveis elevados com alto grau de persistência na natureza (PICCOLI, 2008).

Em ambientes aquáticos, os corantes podem levar à redução do oxigênio dissolvido na água e à limitação da penetração da luz solar em camadas mais profundas do leito, perturbando o equilíbrio da atividade fotossintética e prejudicando o funcionamento saudável da vida aquática, tanto fauna quanto flora (LALNUNHLIMI; VEENAGAYATHRI, 2018).

Com o intuito de resolver o problema ambiental causado pelos efluentes da indústria têxtil, que contêm corantes, uma variedade de técnicas de tratamento de resíduos tem sido desenvolvida e implementada. Estas incluem métodos físico-químicos como adsorção (TANZIFI et al., 2018), eletrocoagulação (ALGERI et al., 2018), floculação e flotação (GONÇALVES et al., 2014), ozonização (DOS

SANTOS et al., 2011), filtração com membranas (FELLENBERG, 2019), dentre outras. As membranas podem ser classificadas como orgânicas ou inorgânicas, e as membranas orgânicas - em específico as poliméricas - são as mais difundidas mundialmente (HABERT et al. 2006).

Diversos polímeros podem ser utilizados como precursores para preparação de membranas poliméricas, dentre eles podemos citar o Estireno Acrilonitrilo (SAN), Polietersulfona (PES), Polissulfona (PSO), Poliéter Imida (PEI), entre outros. A PEI se destaca por ser um polímero amorfo de alta performance, com alta estabilidade térmica, química e mecânica, e cuja aplicação é pouco difundida (MEDEIROS, 2012).

Considerando o apresentado, o objetivo principal deste estudo é desenvolver membranas poliméricas utilizando poli(éter imida) e avaliar sua estrutura física e química para potencial aplicação na purificação de efluentes têxteis que contenham corantes azoicos.

METODOLOGIA

Para facilitar a compreensão da sequência e organização deste estudo, foi elaborado um fluxograma que detalha as etapas realizadas, Figura 1.

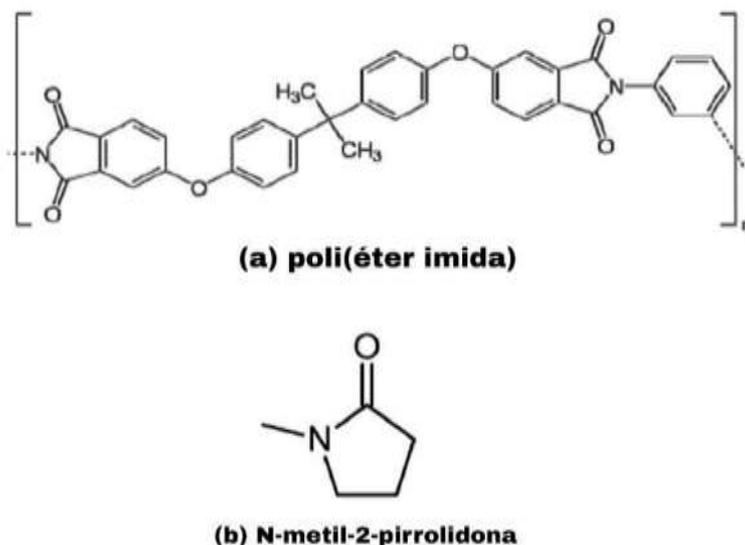
Figura 1: Fluxograma das etapas realizadas para o desenvolvimento do presente trabalho.



Pesquisa preliminar da literatura acadêmica: Com o intuito de demonstrar o caráter inovador deste trabalho, realizou-se uma busca na literatura a partir da plataforma Scopus, utilizando as palavras “imide polyether”, “PEI” e “membrane”. A partir da mesma e utilizando o software Excel 2016, analisou-se os resultados obtidos.

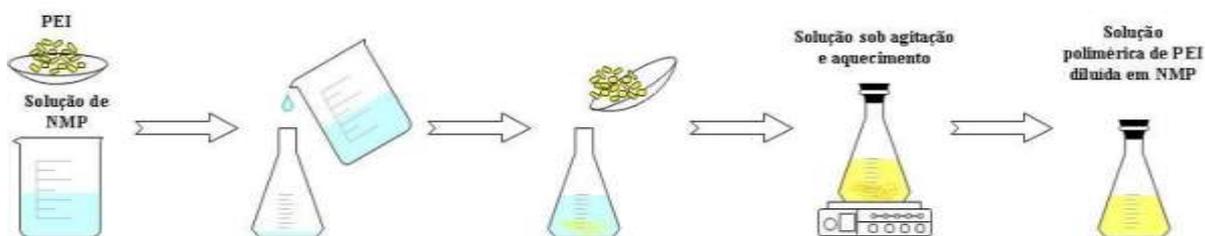
Materiais: Para a fabricação das membranas poliméricas, foi empregado o precursor poli(éter imida) - PEI (Ultem 1000), fornecido pela empresa SABIC (Arábia Saudita). Este termoplástico amorfo possui uma temperatura de transição vítrea de aproximadamente 215°C. Como solvente orgânico, utilizou-se N-metil-2-pirrolidona - NMP (99,92% de pureza – Neon), devido à sua alta afinidade com a água e temperatura de ebulição elevada, próxima a 202 °C, 760 mmHg. A Figura 2 ilustra a estrutura química do polímero PEI e do solvente NMP."

Figura 2: Representações estruturais do (a) polímero PEI e do (b) solvente NMP, utilizados na preparação das soluções poliméricas.



Preparo da solução polimérica: Para preparar a solução polimérica, foi utilizado 10% (em massa) de PEI dissolvido no solvente orgânico NMP. A solução foi agitada a 680 rpm por 24 horas, usando um agitador magnético (Fisatom - Brasil), há aproximadamente 60°C (Adaptado de Hamm, 2018). Após completa dissolução, a solução foi utilizada para preparar as membranas poliméricas. Um fluxograma desta etapa é mostrado na Figura 3.

Figura 3: Diagrama das etapas empregadas na elaboração da solução polimérica.



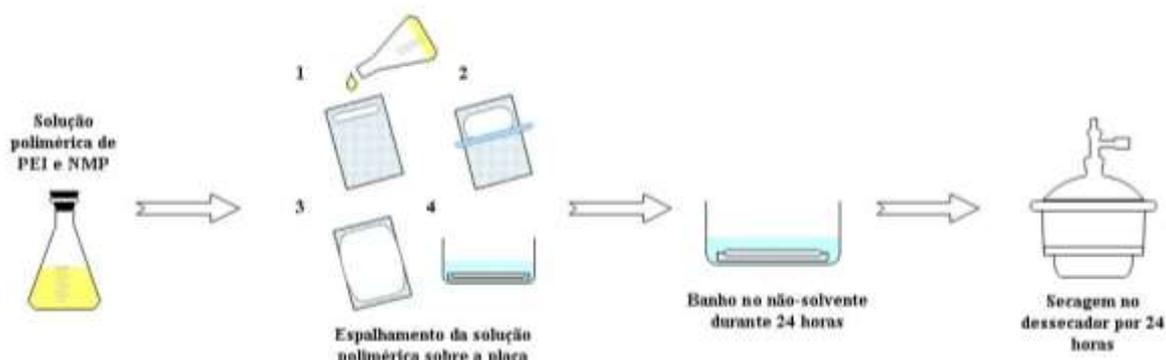
Preparo da membrana polimérica: A técnica de inversão de fases, empregada para facilitar a evaporação do solvente através da imersão em banho de coagulação, começa com a desestabilização da solução polimérica, induzida ao estado de supersaturação pela presença do não-solvente.

Durante essa fase, devido à instabilidade termodinâmica, a solução tende a separar-se em duas fases líquidas: uma rica em polímero, que origina a estrutura da membrana, e outra pobre em polímero, responsável pela formação dos poros (HABERT et al., 2006). Após essa separação, a viscosidade da solução aumenta devido à maior concentração polimérica.

Inicialmente, a solução polimérica foi espalhada em uma placa de vidro utilizando uma faca de espalhamento com espessura controlada de 0,50 mm. Em seguida, a solução foi deixada em exposição à atmosfera ambiente por 1 minuto antes de ser imersa em um banho de não-solvente (água) por 24 horas. Após o processo, as membranas foram colocadas em um dessecador por 24 horas para garantir a completa evaporação do solvente. A Figura 4 mostra um fluxograma das etapas envolvidas na preparação das

membranas poliméricas

Figura 4: Diagrama das fases do processo de produção de membranas poliméricas através da técnica de inversão de fases.



Caracterização da membrana: As membranas poliméricas foram submetidas à caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), tanto na superfície externa quanto na seção transversal. Essa análise foi conduzida utilizando um microscópio eletrônico de varredura Phenom World PRO X (Phenom World - Holanda). Antes da análise, as membranas foram fraturadas em nitrogênio e revestidas com ouro. Todo o procedimento de caracterização foi realizado na Central Analítica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (DEQUI) da UFRGS.

Adicionalmente, a distribuição de poros utilizando o método de Barrett-Joyner-Halenda (BJH) e a técnica de BET (Braunauer, Emmet e Teller). Para esta análise, foi empregado um analisador NOVA 4200e (Quantachrome Instruments - EUA). Antes da análise, as amostras foram tratadas a 120°C sob vácuo por 16 horas para remover a umidade. Todo o processo de análise foi conduzido na Central Analítica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da UFRGS.

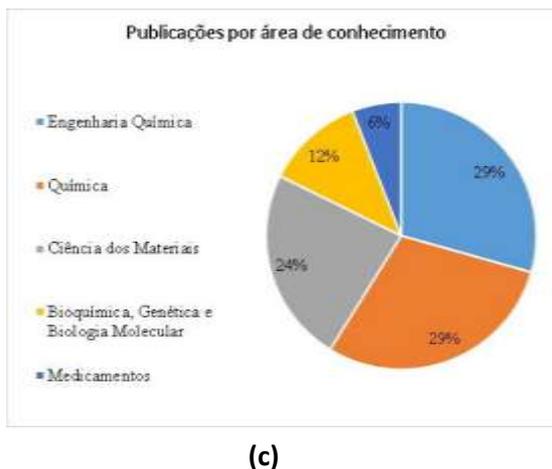
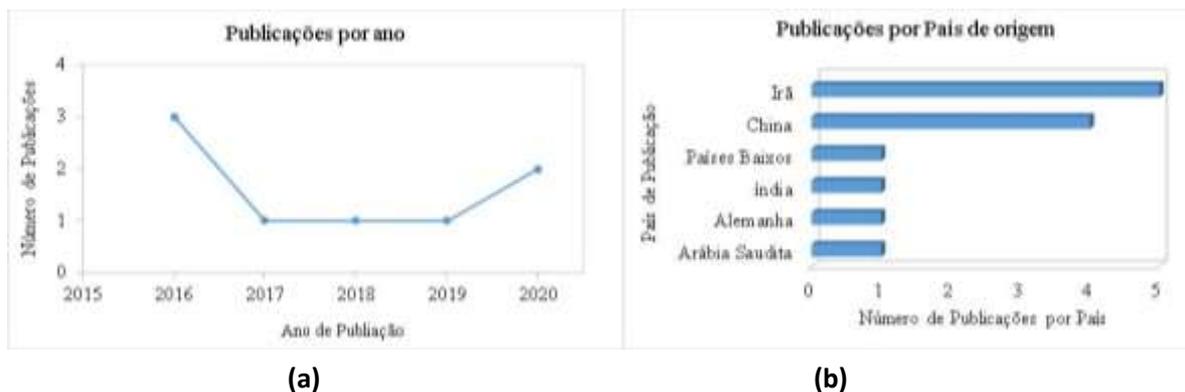
Para caracterização das estruturas químicas da membrana foi realizada a análise de Espectroscopia no Infravermelho (FTIR). O equipamento utilizado foi o espectrofotômetro modelo Spectrum Two, marca Perkin Elmer, com acessório universal de reflectância total atenuada (UATR). A análise se deu com amostra da membrana polimérica, em uma janela espectral de 4000 a 450 cm^{-1} , com coleta de 4 repetições para cada espectro, não sendo necessário o preparo prévio de pastilha de KBr.

Por fim, foi realizada também a análise de Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC), a fim de verificar transições térmicas características de polímeros, além de reações de degradação do polímero. Para isto, utilizou-se o Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) 6000, marca PerkinElmer, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, nos seguintes intervalos de temperatura: temperatura ambiente até 230°C, 230°C até -20°C e -20°C até 230°C; com fluxo de nitrogênio de 20 mL/min. Tanto a análise de FTIR quanto a de DSC foram realizadas no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade FEEVALE, campus Novo Hamburgo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca na literatura possibilitou identificar 8 artigos publicados nos últimos 5 anos sobre as membranas poliméricas preparadas a partir do precursor polimérico PEI, o que demonstra baixo enfoque dado ao assunto ou ao referido polímero (Figura 5).

Figura 5 – Publicações por Ano (a), País (b) e Área de Estudo (c) das pesquisas sobre Membranas de PEI.



A Poli(éter imida) tem demonstrando grande potencial de aplicação em outras áreas, apesar da baixa demanda e pesquisa acerca do assunto. Conforme mencionado por Alqaheem e Alomair (2019), o polímero PEI está presente em diversos ambientes, como na fabricação de lâmpadas e peças de ignição usadas em automóveis, em conectores e circuitos elétricos, sendo encontrado também no setor médico em equipamentos de esterilização e sondas de monitoramento, o que demonstra a alta gama de aplicação do material.

Até o presente momento, tanto o Irã como a China lideram as pesquisas mundiais sobre o assunto, conforme Figura 5 (b). A parceria firmada entre pesquisadores e instituições de diferentes nacionalidades faz com que alguns artigos tenham mais de um país de origem. Pode-se destacar ainda que o Brasil não faz parte deste grupo, o que corrobora com a percepção de que esse material polimérico é pouco difundido no território nacional.

De fato, de acordo com dados do Banco Mundial (2012), no ano de 2009 a China teve um volume de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) cerca de 6 vezes maior que o do Brasil no mesmo período. Da mesma forma, em 2008, enquanto o Governo brasileiro investiu 54% dos recursos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), na China esse percentual foi de 23,6%. No entanto, em contrapartida, o setor privado chinês contribuiu com 71,1% dos investimentos nessa área, enquanto no Brasil, o setor privado representou 43,9% do total de investimentos (LEITE, 2013). Deste modo, é possível perceber que o incentivo à pesquisa no Brasil é feito majoritariamente por políticas públicas de financiamento, além de não haver um grande incentivo para que o mercado empresarial atue mais ativamente nesta área, visto que os riscos envolvidos e o tempo de espera para obter retorno apoia-se no gasto público como gerador e promotor de inovações no país, ao passo que a China segue se desenvolvendo e se beneficiando em maior escala que o Brasil de ambas as atuações, tanto do sistema público quanto privado (LEITE, 2013).

Já o Irã se beneficia das pesquisas relacionadas a processos de purificação e reutilização de água visto que há uma crise hídrica no Oriente Médio que atinge níveis alarmantes. Esta problemática instalada no Irã está intrinsecamente relacionada ao setor agrícola, que utiliza cerca de 90% dos recursos hídricos do país. O uso ineficiente da água também contribui para esse cenário, visto que apenas 10% das fazendas possuem sistemas modernos de irrigação, fato que poderia ser contornado com o aumento de pesquisas acerca da implantação de água de reuso (LAPA, et al., 2019). Como destacado por TRINDADE (2010), a adoção de membranas no tratamento de água e esgoto para reuso está em ascensão, impulsionada por regulamentações mais rigorosas implementadas por governos globalmente. Isso se deve ao papel das membranas como um componente crucial nos processos de tratamento hídrico.

Em relação aos campos de pesquisa, a Figura 5 (c) aponta que Química, medicamentos e Ciência dos Materiais são os ramos de estudo que mais se enquadram nos artigos encontrados, com um total de 82% de abrangência. Esses dados são coerentes, considerando que o estudo de processos de filtração por membranas é extremamente proveitoso para ambas as áreas.

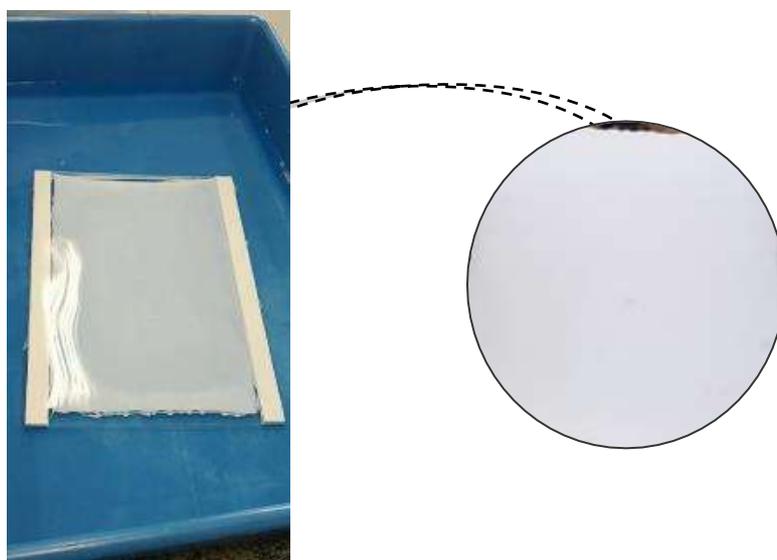
Conforme demonstrado por Alqaheem e Alomair, (2019), o uso de membranas poliméricas com o precursor se estende desde simples filtrações de água/óleo até a aplicação em hemodiálises, devido a sua boa compatibilidade com o sangue e tecidos. Além disso, membranas de PEI são permeáveis a gases e são um material promissor para a purificação do hélio e separação do oxigênio. Ademais, ainda apresentam um bom desempenho para a captura de dióxido de carbono, o que demonstra a ampla gama de potencial acerca do material.

Neste sentido, percebe-se a importância de explorar este polímero e também sua utilização na produção de membranas para purificação de efluentes.

Produção da membrana e Caracterização

A superfície da membrana polimérica apresenta aspecto uniforme e sem a presença visual de poros quando produzida a partir de poli(éter imida) na concentração de 10% (Figura 6).

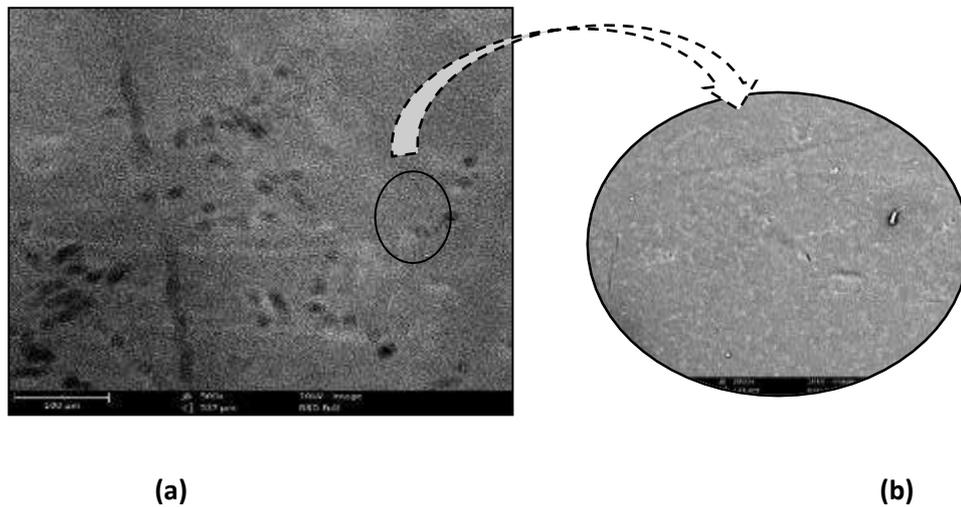
Figura 6 – Aparência da membrana polimérica composta por 10% de PEI durante o processo de precipitação em banho de não-solvente à base de água.



Na Figura 7 (a) e (b), são exibidas as micrografias da superfície externa da membrana polimérica. É

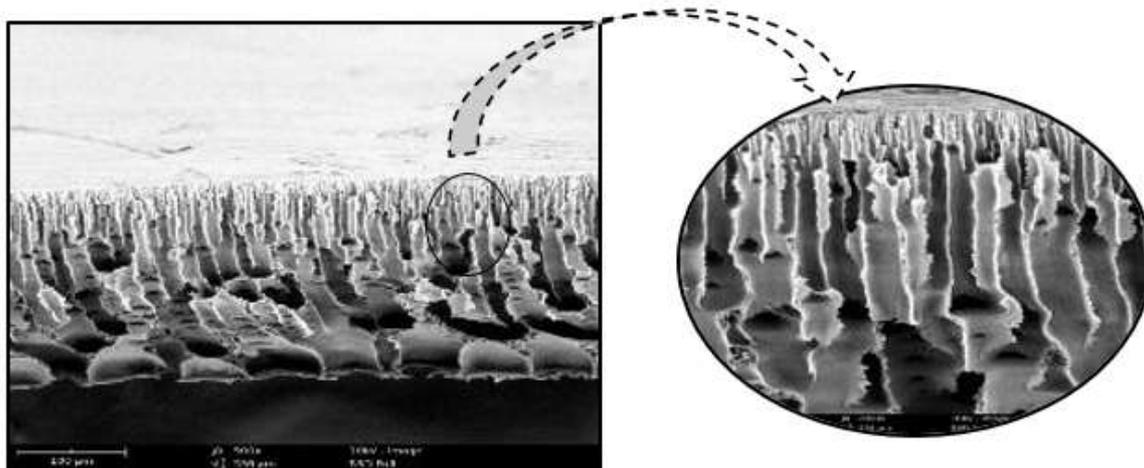
perceptível que as membranas exibem uma superfície externa aparentemente uniforme, com poucos defeitos visíveis. Não foram identificados poros na camada externa da membrana. Também é observável a presença de impurezas que podem ter surgido durante o manuseio da membrana durante a preparação da amostra para análise.

Figura 7 - Micrografias da superfície externa da membrana com ampliação de (a) 500x e (b) 2000x vezes, respectivamente.



A Figura 8 ilustra a análise da seção transversal da membrana polimérica contendo 10% de polímero. A partir desta análise, observa-se a formação de uma camada superficial delgada e uma subcamada composta por macrocavidades em forma de "finger-like", resultando em uma estrutura assimétrica. A formação de estruturas "finger-like" é decorrente do processo de solidificação, no qual as macrocavidades são geradas devido ao fluxo de evaporação do não-solvente (água) e ao aumento da concentração do polímero na solução. A camada que exhibe essa estrutura "finger-like" é aquela em contato direto com a placa de vidro, resultando em menor densidade e maior presença de poros devido ao maior fluxo de evaporação em comparação com a camada superficial (HABERT et al., 2006). Resultados semelhantes foram encontrados por FERNANDES et al., (2018), utilizando a mesma técnica.

Figura 8 - Micrografias da seção transversal da membrana com ampliação de (a) 500x e (b) 2000x vezes, respectivamente.

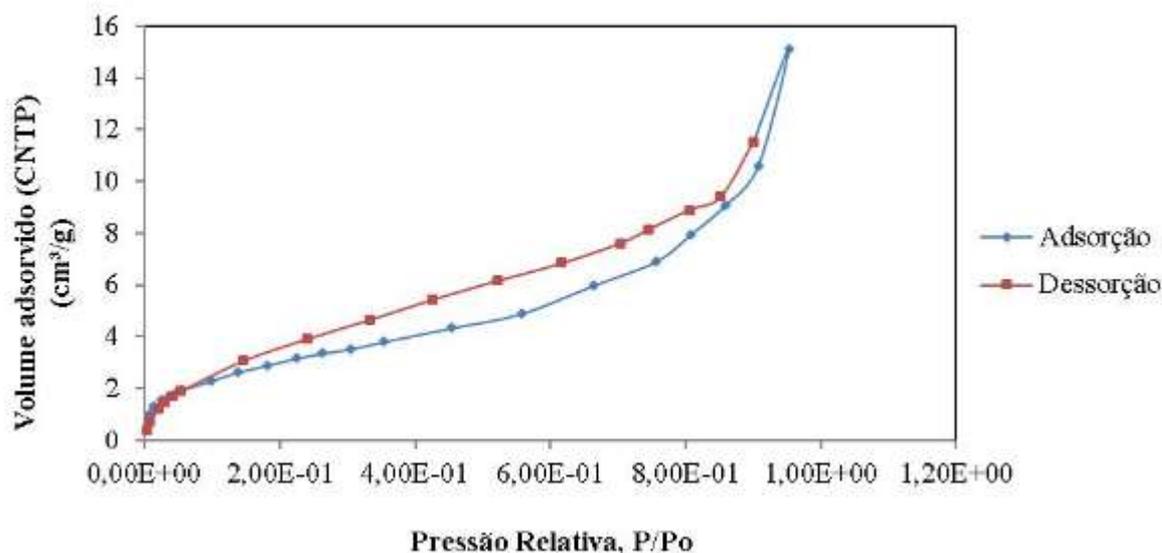


(a)

(b)

Com base na análise das isotermas de sorção e dessorção de N₂ a 77 K, sugere-se que estas isotermas exibem um padrão do tipo II (Figura 9). Esse tipo de isoterma é caracterizado pela formação de múltiplas camadas de moléculas adsorvidas na superfície sólida, um comportamento típico de sólidos macroporosos (com poros de diâmetro superior a 500 Å) ou não porosos (CUNHA, 2017; FELLEBERG, 2019).

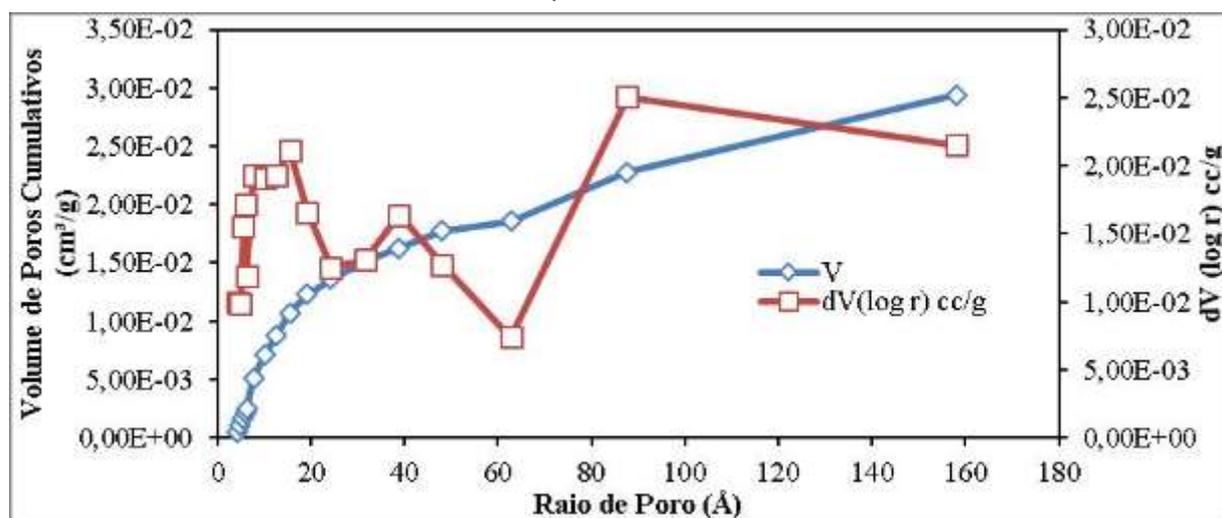
Figura 9 – Isotermas de adsorção e dessorção de N₂ em amostras da membrana com 10% de PEI dissolvida em NMP.



Analisando a Figura 9, observa-se um rápido aumento na quantidade de gás adsorvido para valores baixos de pressão relativa, seguido por uma diminuição gradual dessa velocidade para valores intermediários de P/P₀. Essa relação entre o volume adsorvido e a pressão relativa é atribuída às interações vigorosas entre as moléculas de gás e os sítios mais ativos da superfície da membrana. Quando esses poros estão saturados, o gás passa a interagir com os sítios de menor energia, o que é evidenciado pela inclinação presente na região central da isoterma. À medida que a curva progride, ocorre a formação de camadas multimoleculares e o início do processo de condensação do N₂, resultando em um aumento rápido na quantidade de gás adsorvido em relação à pressão relativa (COUTINHO et al., 2001). Por fim, percebe-se também a presença de uma leve histerese.

Quanto à distribuição de tamanho de poros da membrana analisada pelo método de BJH, observa-se a presença de duas distribuições de poros distintas e bem definidas. A primeira variação situa-se na faixa de aproximadamente 4,91 a 24,28 Å, enquanto a segunda variação ocorre entre 31,53 a 62,74 Å (Figura 10).

Figura 10 – Análise pelo método BJH da distribuição do tamanho de poros para a amostra da membrana polimérica.



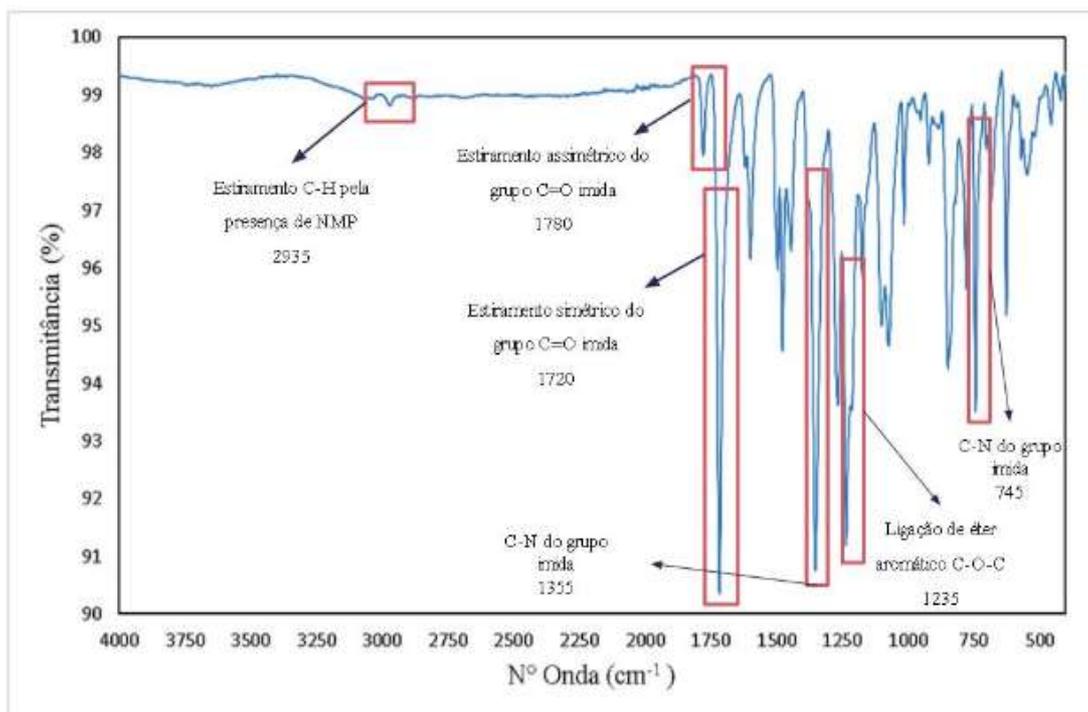
Adicionalmente, foi realizada a caracterização da área superficial da membrana, valor de 11,19 m²/g. Quanto maior esse resultado, maior a quantidade de sítios disponíveis para a troca iônica (CUNHA, 2017). Além disso, as análises permitiram determinar o tamanho do poro da membrana, que possui um raio de 5,93 Å. Esse resultado está alinhado com as observações da análise da isoterma de adsorção, que indicou a presença de poros macroporosos. Resultados similares foram reportados por AMARAL et al. (2013) para membranas produzidas a partir deste polímero, onde foi obtido um valor de 500 nm. Por outro lado, MACHADO (2011) evidenciou um valor de área superficial equivalente a 2,70 m²/g ao utilizar PEI recoberta por Poli(álcool vinílico) (PVA).

Quadro 1: Parâmetros estruturais dos poros da membrana com 10% de PEI (Métodos BET e BJH).

Área superficial BET (m ² /g)	Volume de poros total (cm ³ /g)	Raio do poro (Å)	Tamanho de poros (nm)
11,191	0,029	5,930	11,86

A análise de FTIR da membrana polimérica revela a presença de bandas características de grupos funcionais do precursor polimérico, como os picos em 1355 e 745 cm⁻¹ demonstrando o estiramento e flexão C-N do grupo imida. Também se observa a presença de dois picos em 1780 cm⁻¹ e 1720 cm⁻¹, decorrentes do estiramento assimétrico e simétrico do grupo C=O imida, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 – Análise de FTIR com Reflectância Total Atenuada do filme polimérico contendo 10% de PEI em NMP.

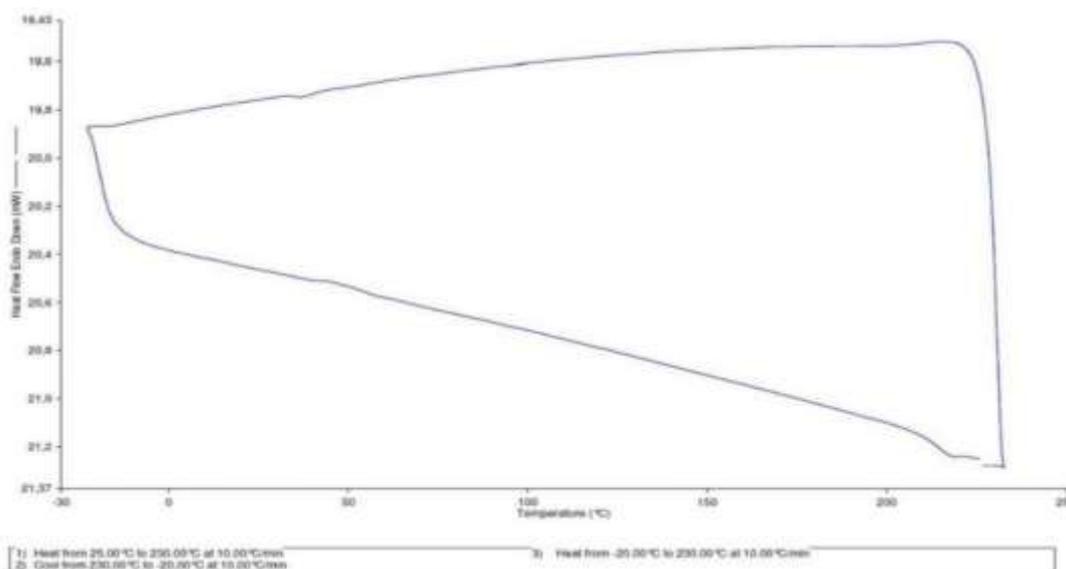


A banda referente a ligação de éter aromático C-O-C, em 1235 cm^{-1} também foi confirmada. Por fim, percebe-se um pico menos intenso em 2935 cm^{-1} , resultado do estiramento C-H que pode ter sido gerado em consequência da presença do solvente NMP na amostra (HAMM, 2018).

Os resultados obtidos são coerentes com a literatura existente acerca do polímero (CHEN, et al., 2006; HAMM, 2018), o que demonstra não haver nenhuma interferência química na produção do filme polimérico, deste modo, após a estruturação da membrana, a mesma manteve as características das ligações químicas provenientes do polímero precursor.

A Figura 12 demonstra os resultados obtidos pela análise de Calorimetria Exploratória Diferencial, considerando um fluxo de nitrogênio de 20 mL/mi , para avaliar as mudanças na temperatura de transição vítrea devido à possível degradação da matriz polimérica.

Figura 12 – Análise das propriedades térmicas da membrana polimérica por DSC, obtidos com taxa de aquecimento de 10°C/min.



A partir dos resultados observados na Figura 12, é possível notar a transição vítrea (T_g) da membrana polimérica em cerca de 220°C, o que está dentro da faixa esperada para o polímero PEI de 217°C (ULTEM, 2021). É comum para polímeros amorfos, como o PEI, apresentarem uma inflexão na curva de DSC, devido à transição vítrea do polímero (SÔNEGO, 2016).

Os resultados obtidos vão de acordo com o encontrado por SÔNEGO, 2016, não havendo grandes alterações na T_g , influenciada pela degradação do polímero devido a variação de temperatura durante a análise, o que demonstra o potencial de aplicação da membrana polimérica em processos de permeação que demandam altas temperaturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizou-se o preparo de membranas poliméricas utilizando o polímero precursor poli(éter imida). A partir da análise de MEV, notou-se que as membranas exibiam uma superfície lisa, com pouca ou nenhuma presença de poros na faixa de avaliação. Além disso, macrocavidades em forma de estruturas "finger-like" também foram observadas.

Os resultados obtidos pela análise de BET indicaram a presença de isotermas do tipo II, indicativas da formação de macroporos ao longo da estrutura da membrana. A distribuição de poros revelou a existência de duas faixas amplas, sugerindo a formação de membranas com uma área superficial considerável e poros com diâmetro de cerca de 6Å.

Com a análise de FTIR, em comparação com a literatura, foi possível identificar que a membrana manteve os principais grupos funcionais do polímero precursor, o que demonstra não haver nenhuma interferência nas ligações químicas, pela utilização do solvente e formação do filme polimérico. A análise de DSC mostrou que o ponto de transição vítrea da membrana polimérica ocorre em cerca de 220 °C, o que está dentro da faixa esperada para o polímero precursor, de 217 °C. Esse dado demonstra que não houve degradação do polímero em função da variação de temperatura, retificando o uso das membranas em processos que demandam alto aquecimento.

Após a análise dos dados coletados até agora, há uma expectativa de que a membrana produzida possa servir como uma solução viável para o tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil. No

entanto, ainda é fundamental conduzir testes de permeabilidade e seletividade para avaliar adequadamente a capacidade de remoção de corantes. Esses testes irão complementar os resultados físico-químicos já obtidos e fornecerão uma melhor compreensão da eficácia do processo.

REFERÊNCIAS

ALGERI, A., et al. Aplicação da técnica de eletrocoagulação para a remoção de Corante Têxtil. **Revista de Estudos Ambientais**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 31–39, 2018.

ALQAHEEM, Yousef; ALOMAIR, Abdulaziz. Recent developments in polyetherimide membrane for gas separation. **Journal of the Chinese Chemical Society**, [S.L.], v. 66, n. 12, p. 1738-1744, 2019.

AMARAL, M., et al. Avaliação do emprego de microfiltração para remoção de fibras do efluente de branqueamento de polpa celulósica. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n.1, p. 65-74, 2013.

CHEN, B. et al. Preparation of Polyetherimide Nanocomposites with Improved Thermal, Mechanical and Dielectric Properties. **Polymer Bulletin**, [S.L.], v. 57, n. 5, p. 671-681, 2006.

COUTINHO, F.; GOMES, A.; TEIXEIRA, V. 2001. **Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno**. [s. l.], v. 24, n. 6, p. 808–818.

CUNHA, R. 2017. **Preparação e caracterização de membranas compósitas tubulares aplicadas a separação de emulsão óleo/água**. Universidade Federal de Campina Grande, [s. l.].

DOS SANTOS, P., et al. Descoloração e degradação do azo corante vermelho GRLX-220 por ozonização. **Química Nova**, [s. l.], v. 34, n. 8, p. 1315–1322, 2011.

FELLENBERG, A. **Membranas de carbono suportadas obtidas a partir do precursor polimérico poli(éter sulfona)**. 2019, [s. l.]. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.

FERNANDES, P. et al. Membranas de polisulfona / argila: influência de diferentes argilas na propriedade de barreira. **Matéria**, v.23, n.1, 2018.

GONÇALVES, L., et al. 2014. Flotação por ar dissolvido para remoção de cor em efluente de lavanderia industrial têxtil. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 10, p. 3712–3721, 2014.

HABERT, A.; BORGES, C.; NOBREGA, R. 2006. **Processos de Separação por Membranas**. [s.l.] : E-papers Serviços Editoriais Ltda.

HAMM, J. **Membranas de Carbono Suportadas para Separação de Gases**. 2018. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LALNUNHLIMI, S.; VEENAGAYATHRI, K. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal of Microbiology**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 39–46, 2018.

LAPA, R. et al. A Crise Hídrica no Irã e Vulnerabilidades: Responsabilidade Coletiva Além do Direito Internacional Ambiental. In: VASCONCELOS, A. **Direito e Sociedade** 3. 3. ed. Ponta Grossa: Atena Editora,

2019. Cap. 15. p. 179-191.

LEITE, Alexandre César Cunha. Investimento em P&D no Brasil e na China: uma questão de estrutura.

Boletim Meridiano 47. Paraíba, p. 13-19. jun. 2013.

MACHADO, A. 2011. **Obtenção de intermediários quirais utilizando lipases em reatores assistidos por membranas**. 2011, 165 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MEDEIROS, V. **Obtenção de Membranas a Partir de Nanocompósitos de PEI e de PES para Permeação a Gases**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande.

PICCOLI, H. **Determinação do Comportamento Tintorial de Corantes Naturais em Substrato de Algodão**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

TANZIFI, M., et al. Adsorption of Amido Black 10B from aqueous solution using polyaniline/SiO₂ nanocomposite: Experimental investigation and artificial neural network modeling. **Journal of Colloid and Interface Science**, [s. l.], v. 510, p. 246–261, 2018.

TRINDADE. R. **Caracterização de membranas poliméricas aplicadas ao processo de microfiltração**. 2010. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZANONI, M.; YAMANAKA, H. **Corantes**: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016. 347 p