

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS PARA REÚSO DE ÁGUA COMO UMA ABORDAGEM MAIS SUSTENTÁVEL E ALINHADA AOS PRINCÍPIOS ESG

Alexia Pereira dos Santos – alexiaps@outlook.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais – Avenida Bento Gonçalves, 9500 – 91501-970, Porto Alegre

Louidi Lauer Alborno – louidi.lauer@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental - Avenida Bento Gonçalves, 9500. 91501-970, Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Diego Tolotti – diegot@bruning.com.br

Bruning Tecnometal, R. Vinte e Cinco de Julho, 2305 - 98280-000, Panambi

Salatiel Wohlmuth da Silva – salatiel.silva@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental - Avenida Bento Gonçalves, 9500. 91501-970, Porto Alegre

Andréa Moura Bernardes – amb@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais – Avenida Bento Gonçalves, 9500 – 91501-970, Porto Alegre

Resumo: A conscientização sobre questões ambientais cresce diante da evidência da crise climática, intensificando a pressão por práticas produtivas sustentáveis. Além das exigências legais, o setor industrial precisa encontrar alternativas para assegurar uma produção mais sustentável. Diante da crise hídrica no Brasil, torna-se imperativo buscar sistemas de tratamento de água e efluentes mais eficazes, incluindo opções de reúso. Buscando adequar-se ao novo cenário, uma empresa de grande porte do ramo metalomecânico se propôs a desenvolver um projeto que permita o reúso não potável de água a partir do tratamento de seus efluentes líquidos utilizando processos de separação por membranas (PSM). Para isso, foi avaliada a demanda hídrica, resultando em uma média de consumo de $285 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, provenientes da CORSAN e de poços próprios, evidenciando a importância do reúso do efluente tratado no processo produtivo como forma de contribuir com a sustentabilidade dos recursos hídricos municipais. Após, foram selecionados sete pontos nas linhas de tratamento de efluentes para a caracterização e determinação do melhor ponto a ser avaliado para a implementação do PSM. Verificou-se que o ponto sete seria o melhor devido às menores variações de carga orgânica e inorgânica encontradas. A partir dos resultados de caracterização, foram escolhidas duas membranas planas de ultrafiltração (ST e XT), as quais foram caracterizadas e aplicadas em ensaios em modo de recirculação total com o efluente proveniente do ponto sete. Os resultados utilizando PSM em modo de recirculação total permitiram obter os parâmetros ideais para o tratamento do efluente do ponto sete, que seria uma vazão de 480 L h^{-1} , pressão transmembrana de 6 bar e a membrana ST. A partir desses resultados, os ensaios em modo de concentração estão sendo realizados visando a avaliação quantitativa da produção da água de reúso, desde modo, diminuindo a necessidade do uso de água subterrânea ou da CORSAN. Por tanto, essa abordagem oferece uma solução para enfrentar os desafios crescentes relacionados à escassez de água, possibilitando a maximização do aproveitamento dos recursos disponíveis. Ao priorizar o reúso da água por meio de PSM, não apenas reduzimos a demanda

Realização



por água potável, mas também mitigamos os impactos ambientais associados à sua captação e tratamento. Essa abordagem, ao aliar eficácia e responsabilidade ambiental, desempenha um papel crucial na construção de um futuro mais sustentável e equitativo em relação aos recursos hídricos.

Palavras-chave: Efluente industrial, reúso de água, processo de separação por membranas, sustentabilidade.

Abstract: Awareness of environmental issues is growing in the face of the climate crisis, intensifying the pressure for sustainable production practices. In addition to legal requirements, the industrial sector needs to find alternatives to ensure more sustainable production. Faced with the water crisis in Brazil, it is imperative to look for more effective water and effluent treatment systems, including reuse options. Seeking to adapt to the new scenario, a large metalworking company set out to develop a project that would allow non-potable water to be reused by treating its liquid effluents using membrane separation processes (MSP). To do this, the water demand was assessed, resulting in an average consumption of $285 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, from CORSAN and its own supply wells, highlighting the importance of reusing the treated effluent in the production process as a way of contributing to the sustainability of municipal water resources. Seven points on the effluent treatment lines were then selected for characterization and determination of the best point to be evaluated for implementation of the MSP. It was found that point seven would be the best due to the smaller variations in organic and inorganic load found. Based on the characterization results, two flat ultrafiltration membranes were chosen (ST and XT), which were characterized and applied in tests in total recirculation mode with the effluent from point seven. The results using MSP in total recirculation mode made it possible to obtain the ideal parameters for treating the effluent from point seven, which would be a flow rate of 480 L h^{-1} , transmembrane pressure of 6 bar and the ST membrane. Based on these results, concentration mode tests are being carried out with a view to quantitatively evaluating the production of reuse water, thereby reducing the need to use groundwater or water from CORSAN. This approach therefore offers a solution to the growing challenges of water scarcity, making it possible to maximize the use of available resources. By prioritizing water reuse through MSP, we not only reduce the demand for drinking water, but also mitigate the environmental impacts associated with its collection and treatment. By combining efficiency and environmental responsibility, this approach plays a crucial role in building a more sustainable and equitable future for water resources.

Keywords: Industrial wastewater, water reuse, membrane separation process, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos pode ser considerada inerente aos mais diversos tipos de atividade, incluindo os processos industriais. Cada tipo de resíduo exige um tratamento e disposição final ambientalmente adequada segundo a Legislação vigente.

O maior rigor das políticas ambientais, impulsionado pelo destaque dado pela constituição de 1988, possibilitou a ampliação do arcabouço de leis ambientais, consolidando definitivamente a legislação ambiental brasileira como uma das mais avançadas no contexto internacional, incentivando assim práticas mais sustentáveis tanto no setor público quanto privado (HENDGES, A. S., 2016).

Associado às condicionantes no âmbito legal a pressão do mercado internacional para tornar as empresas mais competitivas e a maior percepção da sociedade para as questões ambientais são alguns dos fatores preponderantes para o emprego de técnicas de produção mais alinhadas ao conceito da sustentabilidade. Com vistas a se adaptar ao cenário e corresponder às demandas do mercado e dos consumidores, a indústria vem aprimorando seus processos e apostando em sistemas de gestão ambiental mais robustos que promovam a gestão adequada das demandas, eliminando desperdícios e minimizando a geração de efluentes (XIONG et al., 2017).

Além disso, a busca por adequar os processos já existentes visando menor gasto energético e de insumos, bem como a substituição por matéria-prima certificada e ecológica, são outras vias de



adaptação utilizadas. No entanto, o emprego dessas medidas está relacionado com investimentos, pois devem ser guiadas com base em pesquisa e inovação e acompanhadas da capacitação dos colaboradores por meio de educação ambiental (CARDOSO et al., 2015; MONTEIRO; COSTA; MARCIO, 2016).

Em um contexto de seguidas crises hídricas apresentadas pelo Brasil, no qual 51,1% (2.848) dos municípios brasileiros decretaram Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública devido à seca ou estiagem pelo menos uma vez no período de 2003 a 2019 (ANA, 2020), torna-se urgente a busca para alternativas de abastecimento. No período entre 2017 e 2020, a quantidade de eventos de seca associados a danos humanos superou em 15 vezes o número de eventos causados por cheias, totalizando aproximadamente 89 milhões de pessoas atingidas. Só em 2020, esse número foi de mais de 10 milhões de pessoas (ANA, 2022).

A busca por sistemas de tratamento de água e efluentes mais eficientes, que visem a redução de perdas na distribuição, minimizem a quantidade de insumos e energia empregado, são alguns dos objetivos aos quais os setores público e privado devem percorrer em conjunto para alcançar soluções descentralizadas que possam atingir a autossuficiência, como por exemplo, por meio da implementação de sistemas de reúso de água visando a adequação aos critérios ESG (do inglês, Environmental, Social and Governance).

Usualmente a indústria brasileira tem se valido de sistemas convencionais de tratamento de efluentes, que está baseado em processos físico-químicos e biológicos, que visam a remoção de metais, íons e estabilização da matéria orgânica e em termos gerais, reproduz as condições naturais de autodepuração, introduzindo parâmetros que permitem seu controle e monitoramento (SPERLING, 1996). Esse emprego na indústria segue a lógica de “tratamento fim de linha”, no qual todas as correntes de efluentes são misturadas ou pré-tratadas e então misturadas para submeter-se a um tratamento unificado, independente das características particulares de cada uma. De modo geral são alcançados resultados satisfatórios quando o que se pretende é atender aos requisitos de descarte definidos pelos órgãos de proteção e fiscalização ambiental (MIERZWA, 2002). No entanto, os tratamentos convencionais não são capazes de atingir a qualidade necessária para o reúso no processo e, portanto, técnicas de tratamento avançadas se fazem necessárias.

Nesse contexto, os processos de separação por membranas (PSM) desempenham um papel crucial na eficiência e sustentabilidade do reúso de água para fins não potáveis. Essa tecnologia envolve a utilização de membranas semipermeáveis para separar impurezas e contaminantes da água, permitindo a obtenção de um efluente tratado de alta qualidade. Métodos como a osmose inversa, a nano e a ultrafiltração têm se destacado como alternativas viáveis para purificar águas residuais, tornando-as adequadas para usos como irrigação, refrigeração industrial e descargas ambientais. Além de promover a conservação dos recursos hídricos, os PSM também contribuem para a redução do impacto ambiental associado à disposição inadequada de efluentes, alinhando-se assim com os princípios da gestão sustentável da água (RODRIGUES; BERNARDES, 2018).

Com o objetivo de investir em tecnologia e inovação e manter o comprometimento com a questão ambiental, uma empresa de grande porte do ramo metalmeccânico, localizada no estado do Rio Grande do Sul busca reduzir o consumo água subterrânea e a tratada pela CORSAN em seu processo produtivo. Para tanto, a empresa se propôs a desenvolver um projeto que permita o reúso não potável de água a partir do tratamento dos efluentes por meio de PSM.

2. OBJETIVO

Investigar a utilização de tecnologia de processo de separação por membrana para o tratamento de efluentes de uma empresa do ramo metalmeccânico, que melhor se adapte ao sistema atual e que seja capaz de suprir, por meio de reúso, a demanda hídrica nas etapas do processo produtivo.



2.1. Objetivos específicos

Identificar a demanda hídrica da Empresa;
Caracterizar as correntes de efluente geradas e escolher o ponto de aplicação do PSM;
Realizar a avaliação preliminar do PSM visando a produção de água para reuso não potável em processo industrial.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Demanda hídrica da Empresa

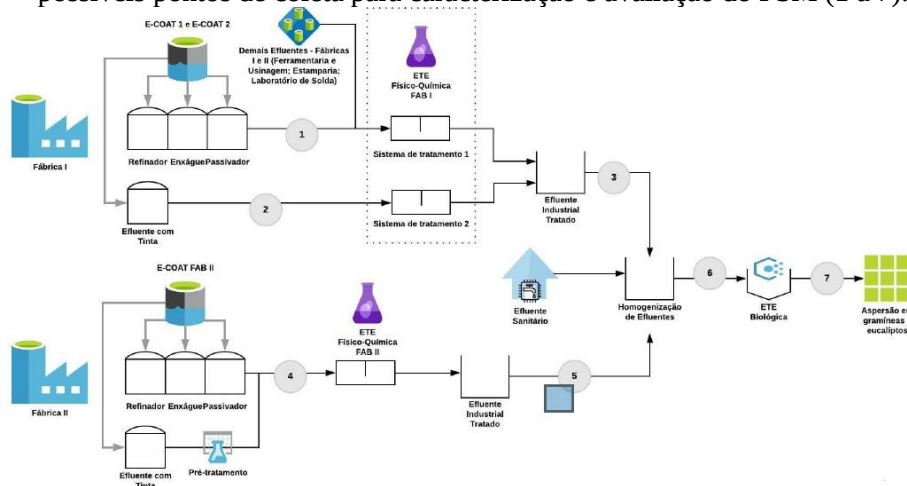
A água utilizada na empresa possui duas origens distintas, água subterrânea de quatro poços da própria empresa e água da rede de distribuição da CORSAN. Parte do volume captado passa pelo processo de deionização e parte é utilizado *in natura*. A água para consumo nos bebedouros, restaurante e banheiros é fornecida pela CORSAN.

O consumo de água foi analisado por meio de balanço hídrico considerando o volume de efluente tratado diariamente em comparação ao consumo de água da CORSAN e, por diferença, se obteve uma aproximação do consumo de água subterrânea. Ainda, a quantidade de água utilizada em diferentes processos que possuem medição de vazão foi utilizada como complementação, com base nos valores consumidos no período entre junho de 2018 e junho de 2019. A partir desses dados, foi realizada uma comparação de consumo conforme a categoria de uso e a fonte da água.

3.2. Sistema de tratamento de efluentes e caracterização dos pontos de amostragem

O sistema atual de tratamento de efluentes é formado por duas ETE físico-químicas (FQ1 e FQ2) e uma ETE biológica (Figura 1). Os efluentes industriais são submetidos a um tratamento físico-químico constituído por uma etapa de coagulação e floculação, após, são misturados com o efluente sanitário em um tanque de homogeneização, sendo então encaminhados para o reator biológico aerado. Em seguida ocorre a decantação, desinfecção por cloração e aspersão em gramíneas e eucaliptos.

Figura 1 – Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da empresa com a indicação de possíveis pontos de coleta para caracterização e avaliação do PSM (1 a 7).



Para definir o melhor ponto de utilização do PSM e obter um monitoramento adequado das flutuações nas características do efluente, foi definido sete pontos de amostragem (Figura 1) com rotina de coleta semanal, ocorrendo em diferentes dias da semana, e em diferentes turnos durante um período de três meses.



As amostras coletadas foram caracterizadas por medidas de pH e condutividade elétrica (SX836) e carbono orgânico dissolvido (COD, TOC LCPH Shimadzu). Para avaliação da característica do efluente os resultados de pH, condutividade elétrica e COD serão apresentados em valores máximos, mínimos, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) (MARCOS; MARIANO; DANIELE, 2018; SCHMILDT et al., 2017).

3.3. Avaliação do processo de separação por membranas

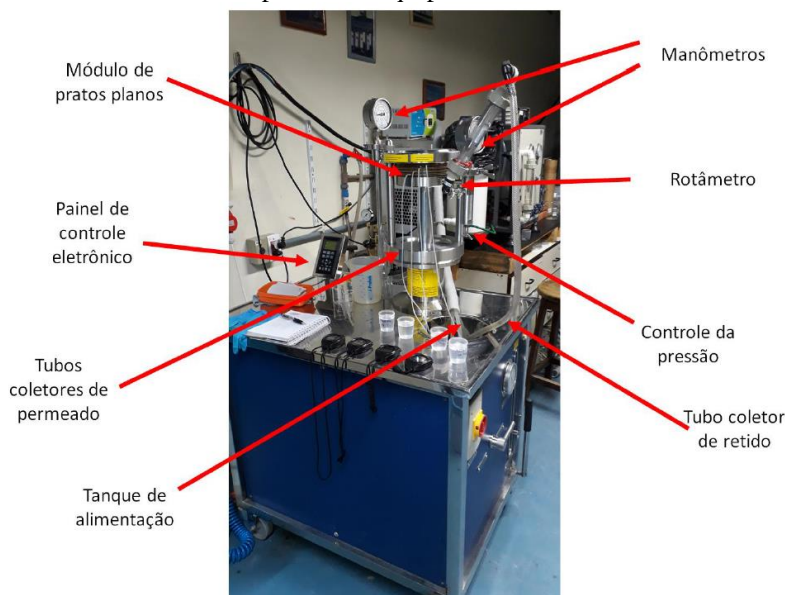
O equipamento utilizado nos ensaios de filtração em escala piloto foi o modelo Lab Unit M20 (Figura 2) fornecido pela Alfa Laval. Este modelo permite a utilização de membranas de ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR). O tanque de alimentação tem capacidade de 10 L, sendo possível operar com volumes maiores acoplado um tanque externo ao equipamento.

A configuração dos módulos de membranas é do tipo pratos planos circulares, no qual cada célula de permeação é constituída de um par de membranas intercaladas com um prato coletor de permeado. O sistema opera com fluxo da alimentação *cross flow*, sendo possível realizar ajustes na vazão de alimentação em um painel digital e monitorar a vazão por meio de um rotâmetro de capacidade 0 - 1000 L h⁻¹.

As membranas de ultrafiltração avaliadas foram a XT e ST, ambas de polietersulfona da Synder Filtration (EUA), com massa molecular de corte (MMCO) de 1000 e 10000, respectivamente. As membranas foram cortadas de modo que cada uma tivesse 180 cm², e foram instaladas aos pares, totalizando 360 cm² de área em cada módulo.

Antes de iniciar os ensaios com o efluente real, foram realizados os procedimentos de limpeza, compactação, avaliação da permeabilidade hidráulica e rejeição aos sais cloreto de sódio (NaCl), sulfato de sódio (Na₂SO₄) e sulfato de magnésio (MgSO₄).

Figura 2 – Equipamento de filtração Lab Unit M20 (Alfa Laval) com indicações das diferentes partes do equipamento.



Após o efluente real foi coletado no ponto definido e submetido ao PSM em modo de recirculação total, variando a vazão de alimentação (480 e 850 L h⁻¹) e a pressão (0, 4, 6, 8, 10 e 12 bar). Com esses ensaios foi possível verificar os valores de permeabilidade hidráulica, bem como a qualidade do permeado em cada configuração. As amostras coletadas nos ensaios de filtração foram caracterizadas pelos mesmos métodos analíticos utilizados na etapa de caracterização das correntes de efluente.

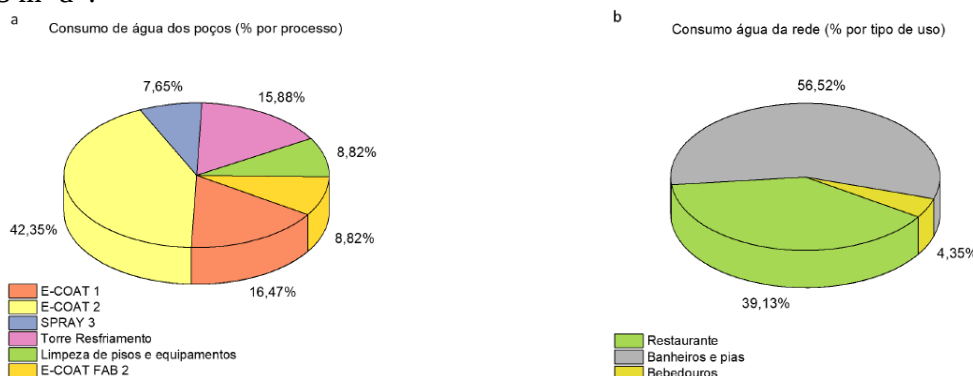


4. RESULTADOS

4.1. Demanda hídrica

A água subterrânea desempenha um papel fundamental nas operações de tratamento de superfície, conforme ilustrado na Figura 3a. A água extraída de poços é empregada de duas formas: diretamente (como água industrial) e deionizada (água DI), sendo ambas utilizadas nas linhas de E-coat.

Figura 3 - Consumo de água por categoria de uso no período de junho de 2018 a junho de 2019. Onde, (a) água captada nos poços – consumo total $170 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e (b) água fornecida pela CORSAN – consumo total $115 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.



As demandas combinadas das instalações E-coat 1, E-coat 2, Spray 3 e E-coat da fábrica 2 alcançam uma média de $128 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, representando 75,29% do consumo total. A água subterrânea também é empregada na torre de resfriamento, bem como na limpeza de pisos e equipamentos, totalizando um consumo de $42 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Os dados fornecidos revelam ainda o consumo da rede de distribuição pública de água, destinado ao consumo humano (restaurante e bebedouros) e uso nos banheiros (Figura 3(b)). Nesse contexto, a média de consumo foi de $115 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, sendo que o restaurante responde por 39% desse volume.

4.2. Caracterização das correntes de efluente geradas

Cada ponto foi analisado separadamente de modo a identificar a flutuação nas características do efluente em cada etapa do sistema. A quantidade de amostras analisadas em cada ponto, assim como um panorama das modificações sofridas no efluente, encontra-se na Tabela 1, onde podem ser observados os valores máximos e mínimos encontrados em cada parâmetro, assim como os valores médios, desvios e o coeficiente de variação (CV).

A CE foi um parâmetro que apresentou grande variação, como pode ser visto na Tabela 1 a partir dos valores de desvio padrão e CV. Esse parâmetro, é considerado de interesse, pois é um indício da presença de sais em solução, sendo diretamente proporcional à concentração iônica e pode influenciar diretamente o PSM (LACERDA et al., 2015).

O parâmetro de pH é o que apresenta oscilações menos expressivas, e tal constatação está de acordo com o esperado, principalmente para o ponto 7, já que esta corrente representa a destinação final do efluente tratado, o qual deve apresentar pH na faixa de 6,5 a 8,4 de acordo com o estabelecido pela FEPAM.



Tabela 1 – Caracterização das correntes de efluentes nos pontos selecionados.

Ponto 1. Total de amostras analisadas: 41						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	3920,00	379,00	828,30	656,94	79,31
pH		11,72	6,74	7,96	1,15	14,41
COD	mg.L^{-1}	130,40	0,46	35,91	38,79	108,03
Ponto 2. Total de amostras analisadas: 31						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	13470,00	199,00	1492,64	3212,31	215,21
pH		9,36	1,38	6,22	1,56	25,09
COD	mg.L^{-1}	1019,00	4,61	204,21	304,10	148,91
Ponto 3. Total de amostras analisadas: 41						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	4860,00	614,00	1311,08	884,54	67,47
pH		11,96	6,53	9,19	1,55	16,88
COD	mg.L^{-1}	279,80	0,00	51,19	60,40	118,00
Ponto 4. Total de amostras analisadas: 29						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	4520,00	1435,00	3721,76	715,07	19,21
pH		10,75	7,52	8,99	1,04	11,58
COD	mg.L^{-1}	959,70	7,98	142,00	180,37	127,02
Ponto 5. Total de amostras analisadas: 28						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	7420,00	3580,00	5076,21	915,66	18,04
pH		10,82	7,72	9,40	0,68	7,24
COD	mg.L^{-1}	307,60	17,23	96,33	65,92	68,44
Ponto 6. Total de amostras analisadas: 41						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	4170,00	896,00	1358,93	599,00	44,08
pH		9,46	6,23	7,95	0,80	10,04
COD	mg.L^{-1}	174,60	0,00	45,25	47,74	105,51
Ponto 7. Total de amostras analisadas: 41						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	1757,00	775,00	1185,78	230,53	19,44
pH		8,24	5,82	7,34	0,41	5,63
COD	mg.L^{-1}	11,71	2,79	6,38	2,83	44,39

Analisando os valores de COD, percebe-se grande variação no ponto 2 e 4 devido à presença variável de cargas de tinta, o que apresenta impactos também no ponto 3. O ponto 7 é o que apresentou maior homogeneidade nos valores, sendo o valor máximo de COD apresentado de 11,71 mg L^{-1} .

A caracterização das correntes de efluente evidenciou que ocorre uma homogeneidade de todas suas características físico-químicas no ponto 7. Esse comportamento é importante para proporcionar a correta comparação dos resultados no estudo de viabilidade de implementação do PSM visando o reúso para fins não potáveis devido a previsibilidade do efluente de entrada no PSM.

4.3. Avaliação do processo de separação por membranas usando o efluente do ponto sete

Os ensaios preliminares foram realizados em modo de recirculação total, onde foi possível observar o comportamento das membranas frente a diferentes pressões transmembrana e vazões de alimentação. A variação do fluxo mássico em função da pressão transmembrana, utilizando a vazão de alimentação de 480 L h^{-1} e de 850 L h^{-1} , apontaram que a aplicação uma maior vazão de alimentação resultou em valores de fluxo menores.

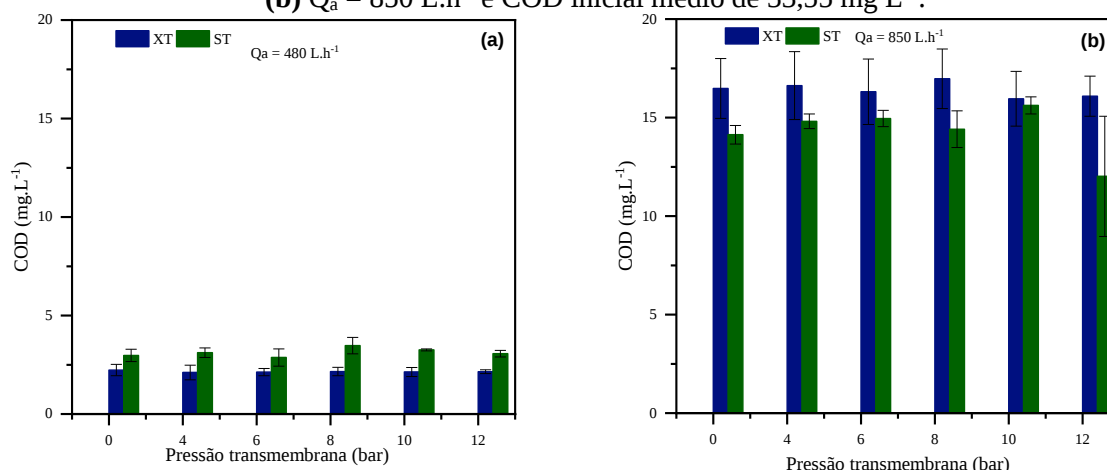
A utilização de vazões de alimentação mais elevadas, implica em valores de velocidade tangencial maiores, no que se espera uma melhora na transferência de massa devido a uma menor ocorrência de polarização de concentração (GIACOBBO, 2015). O resultado obtido contraria o que era



esperado, entretanto é possível associar o resultado à interferência de alguns parâmetros, como diferentes concentrações de matéria orgânica dissolvida (Figura 4).

Os resultados apresentados por Souza (2020), apontaram que a permeabilidade de uma membrana de NF (polimérica, MMCO de 200 Da) para antibióticos foi indiferente à mudança na vazão de alimentação, mas interferida diretamente pela diferença de concentração destes na alimentação. Comparando a qualidade do permeado em cada configuração, utilizando como parâmetro o COD, foi possível verificar que a utilização de vazões diferentes interferiu de maneira oposta na rejeição das membranas.

Figura 4 - Variação de COD (mg L^{-1}) para (a) $Q_a = 480 \text{ L.h}^{-1}$ e COD inicial médio de $4,3 \text{ mg L}^{-1}$ e (b) $Q_a = 850 \text{ L.h}^{-1}$ e COD inicial médio de $33,55 \text{ mg L}^{-1}$.



Para a vazão de 480 L h^{-1} as membranas de UF apresentaram o comportamento conforme o esperado, no qual a membrana com maior MMCO (ST – 10000 Da) apresentou os maiores valores de COD quando comparada com a membrana XT, que possui MMCO menor (1000 Da). No entanto, com a vazão 480 L h^{-1} comportamento inverso foi encontrado onde os maiores valores de COD foram atribuídos a membrana XT, que possui MMCO menor (1000 Da) (Figura 4).

A observância dos valores iniciais de COD corrobora a hipótese de que esse parâmetro influenciou nos valores de fluxo de permeado. Uma vez que nos ensaios com a vazão maior o COD do efluente inicial foi quase 10 vezes superior aos ensaios operados com a menor vazão de alimentação, indicando que uma maior concentração de matéria orgânica influencia negativamente nos fluxos de permeado.

A partir dos resultados avaliados nessa etapa, foi possível determinar quais condições seriam mais favoráveis para os ensaios em modo de concentração. Sendo assim, foram consideradas as seguintes questões:

- O fluxo de permeado de cada membrana;
- Influência da vazão de alimentação nos fluxos de permeado e qualidade do efluente tratado;
- Influência da pressão transmembrana nos fluxos de permeado e qualidade do efluente tratado;
- Necessidade de mais ciclos de limpeza e/ou limpezas mais agressivas para retornar à pelo menos 90% da condição inicial (de fluxo de permeado). Visto a dificuldade de recuperação de algumas membranas com o processo de limpeza após os ensaios de recirculação total.

Segundo esses aspectos entre as membranas de UF (XT e ST), elas apresentaram fluxos de permeado muito próximos, mas para a XT foi necessário a aplicação do processo de limpeza repetidas vezes, sem o alcance de pelo menos 90% da condição de fluxo de permeado inicial.



Com respeito à vazão de alimentação e pressão foi possível perceber que o emprego da vazão mais elevada, bem como maiores pressões transmembrana não representaram ganhos significativos em termos de fluxo de permeado nem de remoção. Dadas tais considerações, os ensaios em modo de concentração serão realizados com a vazão de 480 L.h⁻¹, pressão transmembrana de 6 bar e com a membrana ST.

Portanto, a membrana ST apresentou resultados promissores e será utilizada, em um trabalho futuro, de ensaios em modo de concentração visando a obtenção de 2 correntes, uma corrente de retido e outra de permeado. A corrente de permeado gerada será avaliada com o objetivo de utilização como água reúso no processo da empresa, reduzindo o consumo de água da CORSAN e dos poços, sendo, então, uma abordagem mais sustentável e alinhada aos princípios ESG.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a identificação da demanda hídrica da empresa foi possível constatar que o consumo de água subterrânea e da CORSAN, em média, foram de 170 m³ d⁻¹ e 115 m³ d⁻¹, respectivamente.

A caracterização das correntes de efluente gerado, demonstrou que o ponto 7 seria o mais adequado para utilização de processos de separação por membranas pois apresentou concentrações de matéria orgânica mais baixas, variação de pH e condutividade elétrica menos acentuadas.

A caracterização das membranas escolhidas, bem como os ensaios em modo de recirculação total indicaram quais eram a membrana de ultrafiltração ST é a mais indicada para futuros ensaios em modo de concentração.

Esses resultados demonstram que ocorre um grande consumo de água na empresa e que a utilização do processo de separação por membranas para o reúso de água pode propiciar benefícios econômicos, reduzindo custos associados à captação e tratamento de água potável, como também desempenhar um papel essencial na promoção da gestão responsável dos recursos hídricos, consolidando-se como uma prática sustentável alinhada aos imperativos contemporâneos de preservação ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CNPq, CAPES, FINEP, FAPERGS.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020; Informe anual / Agência Nacional de Águas. – Brasília-DF: ANA, 2020. 118 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.- Brasília-DF: ANA, 2022. 132p

BRASIL. Departamento de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas. Ministério do Desenvolvimento Regional. Minuta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/resolucao-do-cnrh-reuso-nao-potavel>. Acesso em: 04 mar. 2022.

CARDOSO, G. et al. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. p. 326–344, 2015.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH (BRASIL). Resolução nº 54, de 28 de nov. de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, 2006

DE SOUZA, D. I. et al. Nanofiltration for the removal of norfloxacin from pharmaceutical effluent. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 6, n. 5, p. 6147–6153, 2018

FERREIRA, Hermelinda Maria Rocha; RAMOS, Alexandre Sávio Pereira; BERNARDES, Denis Antônio de Mendonça. A POLÍTICA DE RACIONAMENTO DE ÁGUA NA CIDADE DO RECIFE, BRASIL: IMPACTOS E DESIGUALDADES NOS ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS. In:



BRASIL. José Esteban Castro. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (ed.). O Direito à Água como Política Pública na América Latina: uma exploração teórica e empírica. Brasília: Ipea, 2015. p. 83-108.

GHIGGI, Fernanda Formoso; TESSARO, Isabel Cristina; CARDOZO, Nilo Sérgio Medeiros. Preparo e Caracterização de Membranas de Ultrafiltração de Polietersulfona/Ftaloil-quitosana com Propriedade Antifouling. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014

GIACOBBO, Alexandre. Recuperação de Polifenóis e Polissacarídeos de Efluentes Vinícolas através de Processos de Separação por Membranas. 2015. 196 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015

HENDGES, A. S. Histórico e evolução da Legislação Ambiental no Brasil, Parte 3/3 (Final). In EcoDebate, ISSN 2446-9394, 18/11/2016.

HIDROPAN DISTRIBUIDOR DE ENERGIA S.A (Panambi). Bandeira de escassez hídrica. 2021.

LACERDA, Aline Bauer et al. A CONDUTIVIDADE DA ÁGUA COMO INDICADOR DE EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE ELETRODIÁLISE. Inovamundi: Um mundo para inovar seu conhecimento, Novo Hamburgo, p. 4-8, maio 2015.

MARCOS, B.; MARIANO, V.; DANIELE, N. CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PARA VARIÁVEIS. n. 12, p. 1-8, 2018

MIERZWA, José Carlos. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria—Estudo de caso da KODAK Brasileira. 2002.367 f. 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)—Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo

MONTEIRO, E.; COSTA, F.; MARCIO, J. Produção mais limpa e ecoeficiência como ferramenta do engenheiro cleaner production and eco-efficiency as a tool. p. 163-172, 2016

MULDER, Marcel. Basic Principles of Membrane Technology. 2. ed. Enschede, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. 575 p.

PANAMBI (Município). Decreto nº 07, de 24 de janeiro de 2022. Declara Situação de Emergência nas áreas do município afetadas pelo evento adverso ESTIAGEM - COBRADE 1.4.1.1.0, conforme IN/MDR 36/2020. Decreto Municipal Nº 07/2022, de 24 de Janeiro de 2022. Panambi, RS, 24 jan. 2022

RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira; BERNARDES, Andréa Moura. Água e efluentes: uso e reúso. In: BERNARDES, Andréa Moura; AMADO, Franco Dani Rico; RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira (org.). Saneamento ambiental e reúso de água: técnicas avançadas de tratamento. Técnicas avançadas de tratamento. São Leopoldo: Benchimol Soluções Gráficas, 2018. Cap. 5. p. 61-72

SCHMILDT, E. R. et al. Coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos de alface. Revista Agro@Mambiente on-Line, v. 11, n. 4, p. 290, 2017

SHEN, J. et al. Renewable energy powered membrane technology: Fluoride removal in a rural community in northern Tanzania. Separation and Purification Technology, v. 149, p. 349-361, 17 jun. 2015

SOUZA, Dalva Inês de. REMOÇÃO DE ANTIBIÓTICOS EM ÁGUAS ATRAVÉS DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS. 2020. 141 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996

XIONG, R. et al. Experimental study on seeded precipitation assisted reverse osmosis for industrial wastewater reuse. Journal of Water Process Engineering, v. 20, n. September, p. 78-83, 2017.

