

II-085 – REUSO DE EFLUENTE PETROQUÍMICO EMPREGANDO A OSMOSE REVERSA EM UNIDADE PILOTO

Andréia Barros dos Santos⁽¹⁾

Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais na FEEVALE. Técnica em Química na CORSAN/SITEL.

Endereço⁽¹⁾: Rua da Prudência, 177 - Cavalhada – Porto Alegre - RS - CEP: 91920-340 - Brasil – Tel: (51) 32155404 - e-mail: andreia.santos@corsan.com.br

RESUMO

A preocupação com a preservação dos recursos naturais, disponibilidade e a possível cobrança pelo uso da água, têm impulsionado nas últimas décadas a implantação de programas de reutilização de efluentes líquidos em todo o mundo. Uma Unidade piloto com capacidade de 2 m³/h em operação contínua foi instalada na área operacional da Superintendência de Tratamento de Efluentes Líquidos (SITEL), vinculado à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), onde está sendo testada a tecnologia de osmose reversa (OR) para a produção de água clarificada e desmineralizada por um período de 18 meses. A utilização da microfiltração como pré tratamento da osmose demonstrou eficiência de 97,3% da turbidez, auxiliando no processo de prevenção de incrustações na membrana de OR. Os resultados obtidos após a utilização da osmose reversa demonstram que o permeado produzido no sistema piloto de reuso atende aos padrões estabelecidos para a produção de água clarificada, exceto o parâmetro pH, que está fora da faixa estabelecida pela indústria (6 a 8). Para a produção de água desmineralizada, modificações nas condições operacionais se fazem necessárias, pois a condutividade encontrada no permeado da OR está significativamente mais alta do que os limites pré-estabelecidos para reuso. Espera-se como resultados do projeto a determinação da resistência das membranas, bem como determinar as condições de operação que produzam permeado com qualidade requerida para reuso nos processos produtivos das indústrias do Polo Petroquímico do Sul.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, osmose reversa, efluente petroquímico, condutividade, turbidez.

INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica utiliza elevados volumes de água em seus processos produtivos. O Polo Petroquímico do Sul é um complexo industrial constituído por 7 empresas, que captam cerca de 67.000 m³/dia de água da Bacia do Rio Caí e geram a partir de seus processos produtivos 18.000 m³/dia de efluente. Este efluente é submetido a um tratamento composto por: tratamento preliminar (remoção de sólidos grosseiros) e remoção de compostos orgânicos voláteis, tratamento primário (remoção de óleos e graxas); tratamento secundário (sistema de lodos ativados com aeração prolongada); e terciário composto por sistema de oito lagoas de estabilização na ETE. O efluente tratado é disposto no solo através do sistema de gotejamento por tubulação e aspersão em uma área de aproximadamente 250 hectares, devidamente licenciada.

O Comitê de Fomento das empresas do Polo Petroquímico do Sul (COFIP) em parceria com o Laboratório Aquário, da Universidade FEEVALE, deram início em 2014 a fase I do Projeto de Reuso onde foram elaboradas 3 dissertações, sendo elas: Aplicação de Osmose Inversa no tratamento de efluente industrial de empresas do Polo Petroquímico do Rio Grande do Sul; Aplicação do Processo de Eletrodialise no Tratamento de Água Industrial da Indústria Petroquímica; e Aplicação de Processos Híbridos ao Tratamento de Efluentes da Indústria Petroquímica: Osmose Inversa e Eletrodialise Reversa. Estes trabalhos indicaram a utilização destas tecnologias como promissoras soluções para o tratamento do efluente petroquímico, visando o reuso nos processos produtivos.

A fase II do projeto de Reuso, da qual este estudo faz parte, busca a utilização de processos de separação por membranas (PSM), com a aplicação do processo de Osmose Reversa para obtenção de 2 diferentes tipos de água de reuso: água clarificada e a água desmineralizada.

O presente estudo contém informações sobre a utilização da Osmose Reversa para tratamento de efluente petroquímico, visando avaliar a qualidade do permeado para reuso como água clarificada e água desmineralizada. Inicialmente os parâmetros de turbidez, pH e condutividade do permeado foram comparados com os padrões estabelecidos pela indústria.

O desenvolvimento desse projeto conta com o apoio e a participação da Companhia Riograndense de Saneamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é composta pelas etapas apresentadas esquematicamente na Figura 1.

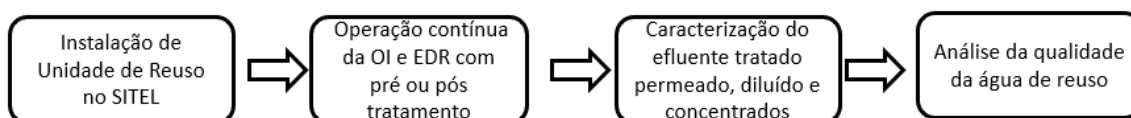


Figura 1: Etapas realizadas no trabalho proposto. Autor, 2018.

INSTALAÇÃO DE UNIDADE DE REUSO NO SITEL/CORSAN

A instalação da unidade piloto no Sistema Integrado de Efluentes Líquidos do Polo Petroquímico do Sul, localizado em Triunfo RS, com capacidade de tratamento de 2 m³/h, foi concluída em setembro de 2018, dando início a operação da Unidade.

PRÉ TRATAMENTO

O sistema utilizado como pré-tratamento para o processo de OR é um equipamento composto por três filtros. Cada filtro possui um diferente meio filtrante, disposto na seguinte ordem:

Filtro de areia (FA) 1: Três camadas de areia, com granulometria variando de 0,4 a 1,4 mm. Este meio filtrante tem condição de reter partículas > 40 µm.

Filtro de carvão (FC) 2: Carvão ativado. Retém a matéria orgânica por meio do mecanismo de adsorção.

Filtro de resina 3: Resina de troca iônica. Esse filtro não será utilizado no pré-tratamento.

As condições operacionais estão descritas na tabela 1.

Tabela 1: Especificações do sistema de filtração (FA + FC).

Parâmetros	Valores máximos de referência
Vazão de serviço	2,50 m ³ .h ^{-1a}
Vazão de retrolavagem	3,88 m ³ .h ^{-1a}
Volume interno total	163 L ^b
Volume interno útil	98 L ^b
Tempo de retenção hidráulica (vazão máxima)	2,35 min. ^b
Pressão máxima de serviço	2 kgf/cm ^{2b}

a - Valores fornecidos pelo fabricante.

b - Valores calculados com base nas especificações dadas pelo fabricante.

DESCRIÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA

O sistema piloto de OR, modelo Pam Membranas Seletivas consiste em um quadro elétrico, bomba de alta pressão, medidores de vazão, manômetros, filtro de cartucho, módulo de membrana, e um trocador de calor, conforme figura 2.

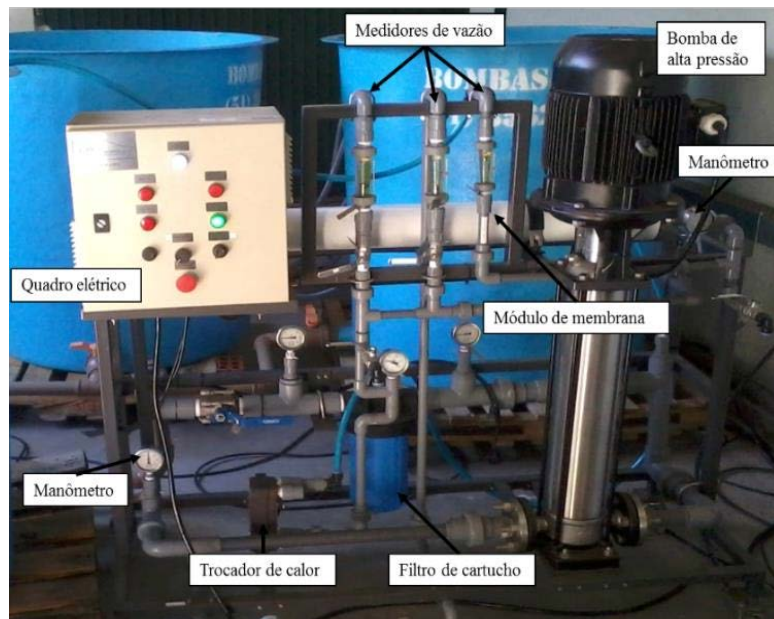


Figura 2 - Sistema piloto de OI. Fonte: Venzke, 2016.

Para o teste foi utilizada uma membrana comercial adquirida do fabricante *Dow Filmtec Membranes*. Na Tabela 2 estão apresentados os dados da membrana de OR.

Tabela 2 - Dados da membrana de osmose reversa.

Modelo	BW30 (4040)
Material	Membrana composta de poliamida
Configuração	Módulo espiral, invólucro de fibra
Área (m ²)	7,2
Vazão máxima de permeado (m ³ .d ⁻¹)	9,1
Faixa de pH de Alimentação	2-11
Faixa de temperatura recomendada (°C)	45
Faixa de pressão recomendada (bar)	15,5
Limite de tolerância de cloro (ppm)	<0,01
Máximo de SDI (15 minutos)	<5
Média de rejeição aos sais (%)	99,5

Fonte: *Dow Filmtec Membranes* (2016).

CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA DE OR

TESTE DE COMPACTAÇÃO

O objetivo do teste de compactação é a redução do fluxo inicial, para posterior estabilização devido a deformação mecânica sofrida pela matriz polimérica da membrana, que ocorre ao aplicar pressão sobre a mesma. Para efetuar os testes de compactação da membrana, utiliza-se uma pressão superior à pressão de trabalho para que a estrutura da membrana não sofra impacto em ensaios posteriores. O teste de compactação da membrana foi realizado com 150 L de água da torneira, com recirculação total durante um período de 3 h, sob uma pressão de 12 bar.

PERMEABILIDADE HIDRÁULICA

Para a determinação da permeabilidade hidráulica foi utilizado um volume de 150 L de água da torneira, com recirculação total. A cada 30 min. foi medido o fluxo de água permeada através da membrana em pressões de 3,

5, 8, 10 e 12 bar. Com os valores de fluxo permeado versus pressão, determinou-se a permeabilidade hidráulica pelo coeficiente angular da reta.

TESTE DE REJEIÇÃO A SAIS

Para determinação do percentual de rejeição de sais foram utilizadas duas soluções de 2000 mg L⁻¹ de cloreto de sódio e 2000 mg L⁻¹ de sulfato de sódio. A pressão foi ajustada para 12 bar, permanecendo desta forma por trinta minutos e então foi retirada uma alíquota da alimentação e do permeado e medidas as condutividades.

OPERACÃO DA OSMOSE REVERSA

O efluente filtrado no sistema (FA+FC) seguido de microfiltração (MF) foi processado em um sistema de osmose reversa, modelo *Pam Membranas Seletivas* sob pressão de 8 bar, o efluente foi separado em duas correntes: o concentrado, material retido pela membrana, com uma vazão de 5 L/min, e o permeado com uma vazão de 2,0 L/min.

CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Os efluentes bruto, filtrado e permeados dos PSM foram analisados quanto à turbidez, utilizando um aparelho turbidímetro da marca HACH 2100q; pH, em um pHmetro da marca Digimed DM-22; condutividade, em um condutivímetro portátil pH/ORP/mV MOD. 8651 MARCA AZ. As metodologias analíticas utilizadas foram SM 2130 B, SM 4500 H+, SM 2510 B respectivamente para turbidez, pH e condutividade descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Os resultados são mostrados na Tabela 3 e contemplam o efluente bruto, filtrado (FA+FC), permeado da MF e permeado da OR.

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA DE REUSO

A caracterização da qualidade dos fluxos foi realizada após a estabilização do parâmetro de condutividade. Para realização da análise crítica foram comparados os resultados obtidos no permeado da osmose reversa com os padrões de qualidade estabelecidos pelas indústrias do Polo Petroquímico do Sul, listados na Tabela 4. Inicialmente foram avaliados apenas os parâmetros de turbidez, pH e condutividade.

RESULTADOS

INSTALAÇÃO DE UNIDADE DE REUSO NO SITE

A unidade piloto de reuso foi instalada no mês de setembro de 2018 na área operacional ETE/SITEL iniciando a operação dos sistemas de pré-tratamento com filtro de areia, filtro de carvão, eletrodialise reversa e osmose reversa conforme figura 3.



Figura 3: Unidade Piloto de Reuso de Efluente Petroquímico.

CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA

Avaliando os resultados do teste de compactação observou-se a redução do fluxo inicial e posterior estabilização em 60 L/h/m², conforme esperado.

No teste de permeabilidade verificamos que o fluxo aumenta linearmente com a pressão, resultando em uma permeabilidade hidráulica de aproximadamente 6 L/h/m²/bar, sendo este valor próximo ao indicado pela literatura, conforme figura 4.

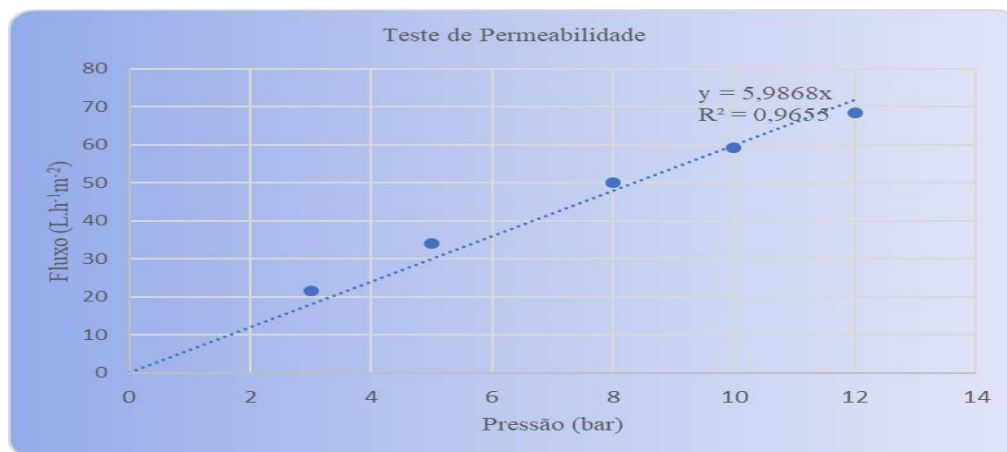


Figura 4: Teste de Permeabilidade. Autor, 2018.

O teste de rejeição para sais na membrana apresentou um percentual de 99,7% para o sulfato de sódio. Porém para o cloreto de sódio o valor encontrado foi de 99,1%, ficando muito próximo do valor recomendado na *data sheet* da membrana (99,5%).

PRÉ-TRATAMENTO

Na pré-operação iniciada em outubro de 2018 verificamos que a eficiência do sistema de pré-tratamento com (FA+FC) não atendia o parâmetro de turbidez (<10 NTU) para a produção de água de alimentação para a osmose reversa. Então iniciamos testes para utilizar um pré tratamento com membranas de microfiltração no mês março de 2019. Foi utilizado um equipamento de Microfiltração da *Pam Membranas*, com membranas de fibra oca de poli(imida) com diâmetro médio de poros na superfície externa das fibras de (0,1 a 0,4 µm).

Este pré-tratamento produziu uma água de alimentação com turbidez < 2 NTU e será testado em tratamento contínuo na unidade piloto.

Tabela 3: Resultados das análises de turbidez.

Data	Bruto (NTU)	Filtrada (NTU)	Microfiltração (NTU)	Eficiência (%)
outubro-18	37,4	30,6	-	18,0
nov-18	27,9	24,6	-	11,8
dezembro-18	30,2	22,6	-	25,0
jan-19	66,5	52,1	-	21,6
07/03/19	90	58	1,6	98,2
14/03/19	54,8	34,8	2,0	96,4

Autor, 2019.

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO E ANÁLISE DA QUALIDADE DO PERMEADO PARA REUSO

Os parâmetros de qualidade para água de reuso estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros pré-estabelecidos pelas empresas do Polo Petroquímico do Sul.

Parâmetro	Água clarificada	Água desmineralizada
Alcalinidade (mg. L ⁻¹)	26	ne
Cálcio (mg. L ⁻¹)	30	0,12
Cloretos (mg. L ⁻¹)	22	ne
Condutividade (µS/cm)	165	< 0,3
Cor (Pt-Co)	<10	ne
DQO (mg O ₂ . L ⁻¹)	3,5	ne
Dureza (mg. L ⁻¹)	30	0,13
Ferro (mg. L ⁻¹)	0,1	0,01
Fosfato (mg. L ⁻¹)	1	ne
Magnésio (mg L ⁻¹)	0,5	0,25
pH	7,0 - 8,0	6,0 - 7,0
SST (mg. L ⁻¹)	2	ne
Sulfato + Cloreto (mg L ⁻¹)	44	ne
Turbidez (NTU)	1	ne

ne: não especificado pelas indústrias

Autor, 2018.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que o sistema de filtração convencional de FA+ FC removem em média de 21% da turbidez do efluente, devendo ser avaliada a sua performance ao longo da operação contínua.

Já o sistema de pré-tratamento com a microfiltração apresentou eficiência satisfatória com a remoção de 97,3% da turbidez (Tabela 5), apresentando-se como promissora tecnologia para produção de água de alimentação para a osmose reversa.

Quanto ao atendimento aos parâmetros estabelecidos pela indústria (Tabela 4), verificamos que o permeado obtido após o processo de osmose reversa atende aos parâmetros para a produção de água clarificada para reuso, exceto o parâmetro de pH, conforme pode ser observado nas Tabelas 4 e 5.

Para a água desmineralizada modificações nas condições operacionais se fazem necessárias pois a condutividade no permeado está significativamente mais alta do que os limites pré-estabelecidos para atender a qualidade requerida para reuso, devendo ser avaliada uma etapa de pós tratamento caso necessário.

Tabela 5: Resultados das análises realizadas.

Data	Parâmetro	Alimentação	Filtrado	Permeado da MF	Permeado da OR
outubro-18	Condutividade (µS/cm)	1168	884	-	57
	pH	7,44	7,24	-	6,26
	Turbidez (NTU)	21,1	13,8	-	0,22
07/03/19	Condutividade (µS/cm)	1720	1727	1627	89
	pH	7,81	7,63	7,78	6,24
	Turbidez (NTU)	90	58	1,60	0,52
14/03/19	Condutividade (µS/cm)	1822	1796	1765	84
	pH	7,86	7,70	7,97	6,86
	Turbidez (NTU)	45,0	34,7	0,92	0,23

Autor, 2019.

DESEMPENHO DA OR

O desempenho da membrana de OR pode ser avaliado pelo fluxo do permeado e seletividade, portanto foram avaliados o fluxo e a seletividade da membrana. Houve uma redução no fluxo de 25 L/h/m² para 18 L/h/m² no período (outubro a novembro/18) onde a água de alimentação da osmose apresentou turbidez média de 27,6 NTU, indicando sinais de incrustação na membrana. Os testes realizados em março de 2019 verificamos que o fluxo está em 16 L/h/m².

Adotou-se um fator de recuperação FR em torno de 30%, abaixo do recomendado para a tecnologia (40 a 50%), para minimizar a incrustação da membrana de osmose reversa uma vez que esse sistema era alimentado com um efluente com turbidez acima do recomendado para membranas de OR.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que a eficiência do prétratamento (FA) + (FC) na redução de turbidez foi de 21%, obtendo um efluente filtrado com elevada turbidez em média de 36,8 NTU o que prejudica o desempenho das membranas da osmose reversa, reduzindo o fluxo do permeado e causando possíveis incrustações, reduzindo a vida útil das membranas.

A microfiltração se mostrou uma tecnologia eficiente para a remoção de turbidez e pode ser utilizada como pré-tratamento para efluente petroquímico para produção de água de alimentação para osmose reversa. Quanto ao parâmetro pH no permeado, ajustes operacionais poderão ser realizados para adequar a faixa de pH requerida (7 a 8) para a água clarificada. Os demais parâmetros avaliados, condutividade e turbidez foram atendidos.

Considerando que a operação da unidade de reuso piloto ainda está em andamento, mais dados serão gerados no decorrer do estudo para avaliação do comportamento da tecnologia em regime de operação contínua.

Comparando os resultados obtidos conclui-se que a tecnologia de osmose reversa apresenta potencial para o tratamento de efluentes petroquímicos visando o reuso nos processos produtivos como água clarificada necessitando de alguns ajustes para atendimento ao padrão requerido para água desmineralizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 ed. 2017.
2. ANA 2017 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS ANA 2017 Relatório Conjuntura Recursos Hídricos 2017 disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/> acessado em 29/05/2018.
3. FALIZI, N.J.; HACIFAZLIOGLU, M.C.; PARLAR, I.; KABAY, N.; PEK, T.O.; YUKSEL, M. Evaluation of MBR treated industrial wastewater quality before and after desalination by NF and RO processes for agricultural reuse. Journal of water process engineering, Elsevier, V. 22, p. 103-108, 2018.
4. GIACOBBO, Alexandre. Biorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais) – PPGE3M/UFRGS, Porto Alegre, 2010.
5. HANSEN, E. Balanço hídrico, caracterização e reuso de água do setor petroquímico. 2016. 90f. Dissertação. Universidade Feevale. (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais). Novo Hamburgo, 2016.
6. LEMMERTZ, I. S. Aplicação de Osmose Inversa no tratamento de efluente industrial de empresas do complexo petroquímico do Rio Grande do Sul. Dissertação. Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS., 2016.
7. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Relatório Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos (*World Water Assessment Programme*), disponível em: [-thisoffice/single-view/news/un_world_water_report_is_presented_in_brasilia/](http://thisoffice/single-view/news/un_world_water_report_is_presented_in_brasilia/) Acessado em: 10/05/2018.
8. RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira et al. MATERIAIS E PROCESSOS: Tecnologias e Avaliação. Porto Alegre: Evangraf, 2016. 263 p.
9. VENZKE, C.D. Aplicação de processos híbridos ao tratamento de efluentes da indústria petroquímica: osmose inversa e eletrodialise reversa. Dissertação - Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais - Feevale, Novo Hamburgo - RS, 2016.
10. VIEGAS, C. Aplicação do processo de eletrodialise no tratamento de água industrial da indústria petroquímica. Dissertação. Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS., 2016.