

## **II-248 - APLICAÇÃO DE OSMOSE REVERSA PARA PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS (ESTUDO DE CASO)**

**Alcely Jose Wosniak** <sup>(1)</sup>

Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestrando em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) pela UFPR, Universidade de Stuttgart/Alemanha e SENAI-PR. Coordenador Industrial de Produção da SANEPAR-PR.

**Daniela Neuffer**

Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela Universität Stuttgart/Alemanha, graduação e pós-graduação em Engenharia Civil pela Universität Stuttgart. Pesquisadora e consultora da Universität Stuttgart no Instituto de Engenharia Sanitária, Gerenciamento da Qualidade de Água e de Resíduos (ISWA). Coordenadora e professora titular do Mestrado Int. em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da UFPR, Universität Stuttgart e SENAI-PR. Membro do comitê assessor AK-11.6 (Resíduos de óleo e graxas) da DWA.

**Karen Juliana do Amaral**

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Pesquisadora da Universidade de Stuttgart, Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and Solid Waste Management (ISWA), Alemanha, professora titular do Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI).

**Marcio Arakaki**

Engenheiro Químico pela Universidade de São Paulo (USP). Analista de Produção da SANEPAR-PR.

**Mariana Espindola de Souza**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR/SENAI e Universität Stuttgart. Engenheiro Ambiental da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Marechal Deodoro, 3081, Alto da XV - Curitiba - PR - CEP: 80045-375 - Brasil - Tel: (41) 3330-7004 - e-mail: [alcelyjw@sanepar.com.br](mailto:alcelyjw@sanepar.com.br)

### **RESUMO**

O reúso de efluentes ou a recuperação dos mananciais degradados deve ser visto como uma alternativa viável para aumento da disponibilidade de água aos diversos usos, inclusive para fins industriais (FRANCO, 2010; GALVÃO, 2010).

A água a ser utilizada na indústria requer muitas vezes qualidade superior à água destinada ao consumo humano. A partir das exigências de qualidade e do conhecimento dos processos existentes, é possível obter água com qualidade adequada ao uso industrial a que se destina. Curitiba e a Região Metropolitana (RMC) apresentam um alto grau de industrialização e um conflito de uso de água potável para fins industriais. A Estação de Tratamento de Água Industrial Araucária (ETAIA) é uma estação de tratamento de água para reúso indireto e não potável. Atualmente, a ETAIA é composta pelos os processos de oxidação, coagulação, decantação e filtração, resultando numa qualidade da água tratada fora dos padrões estabelecidos pelas indústrias que a utilizam.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral de avaliar a operação do processo de osmose reversa (OR) para um pós-tratamento da água produzida na ETAIA, tendo em vista a qualidade final do permeado e a mistura com a água produzida na estação. Para o estudo foi avaliado a qualidade do filtrado de um filtro de carvão ativado granular (GAC), a qualidade do permeado da OR. Também houve a avaliação da retenção, rejeição e taxa de permeabilidade da OR para dois tipos de membranas ESPA 1- 4040 e ESPA 2 LD- 4040. Os resultados demonstraram que filtro de GAC removeu 100% do cloro residual, e que a membrana ESPA 1- 4040 apresentou um fluxo de permeado 32,4 L/(m<sup>2</sup>•h) ou 63,5% do fluxo padrão e uma retenção salina 97,65%. A membrana ESPA 2 LD- 4040 apresentou um fluxo 32,8 L/(m<sup>2</sup>•h) ou 77,3% do fluxo padrão e uma retenção salina 97,79%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água Industrial, Reúso de Água, Osmose Reversa, Melhoria da Qualidade.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, os polos industriais estão localizados em regiões de elevada urbanização, o que leva as indústrias a reduzir seu consumo de água e procurar fontes alternativas para esse recurso (FIESP/CIESP, 2004).

No caso da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), desde 2003 há estudos sobre a crise hídrica. Giordani (2003) sugeriu em seu estudo a implantação de uma gestão dos recursos hídricos, fornecendo água recuperada de boa qualidade ao uso que possam preceder a potabilidade. Franco (2010) enfatiza a pouca disponibilidade hídrica da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), e destaca a importância do planejamento e avaliação do uso de seus rios.

Além de demandar uma grande quantidade de água, o uso industrial requer muitas vezes um maior grau de qualidade em comparação com a água destinada ao consumo humano. A partir das exigências de qualidade e do conhecimento dos processos existentes, é possível obter água com qualidade adequada ao uso na industrial a que se destina.

O reúso de efluentes ou a recuperação dos mananciais degradados deve ser visto como uma alternativa viável para aumento da disponibilidade de água aos diversos usos, inclusive para fins industriais (FRANCO, 2010; GALVÃO, 2010).

O processo de separação por membranas (PSM) é um dos processos de tratamento de água para fins industriais mais eficazes, sendo considerado como um tratamento avançado ao pós-tratamento para efluentes industriais e domésticos. Dentre os PSM, a osmose reversa tem o maior número de aplicações industriais consolidadas, sendo utilizada principalmente no reúso de efluentes, no tratamento industrial de água e na dessalinização de água do mar (SHATAT et al., 2013; NEUFFER, 2013).

A estação de tratamento de água industrial Araucária (ETAIA) é uma estação de tratamento de água para reúso indireto e não potável, localizada na RMC. A estação utiliza os processos de oxidação, coagulação, decantação e filtração para tratamento da água e fornece água de reúso para as indústrias da região. No entanto, a qualidade da água tratada não corresponde aos padrões estabelecidos pelas indústrias usuárias, o que indica a necessidade de, além de medidas para otimização do processo existente, a inserção de um tratamento adicional ao processo existente.

O PSM foi considerado como uma alternativa de tratamento para disponibilizar água tratada dentro dos padrões solicitados pelas indústrias. Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral de avaliar a operação do processo de osmose reversa (OR) para um pós-tratamento da água produzida na ETAIA, tendo em vista a qualidade final do permeado e a mistura com a água produzida na ETAIA. Para o estudo foi avaliado o filtrado de um filtro de carvão ativado granular (GAC) e o permeado da OR, a retenção, rejeição e taxa de permeabilidade da OR.

Após utilização da planta piloto durante 4.210 horas, foi realizada a autópsia da membrana, com objetivo de auxiliar a determinação das causas de incrustações/*fouling*. Este diagnóstico, segundo MELIÁN-MARTEL et al. (2012), pode ajudar, futuramente, na realização de melhorias no sistema e auxiliar em uma redução de custos do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Para o experimento foi instalada a jusante do sistema de tratamento de água da ETAIA uma planta piloto composta de um filtro de GAC e uma unidade de osmose reversa.

Para o teste do sistema piloto foram utilizados dois tipos de membranas espirais:

- ESPA 1- 4040, fornecida pela Nitto Denko, composta de poliamida e polisulfona, com capacidade de rejeição de sal de 99,3 % e área ativa da membrana com 15,80 m<sup>2</sup>;

- ESPA 2 LD- 4040, fornecida pela Nitto Denko, composta de poliamida e polisulfona, com capacidade de rejeição de sal de 99,6 %, área ativa da membrana com 14,86 m<sup>2</sup> e com espaçador de alimentação composto de agente biostático.

Para o experimento foi adotada a vazão de entrada de 400 L/h, sendo 300 L/h de permeado e 100 L/h de concentrado. O experimento foi conduzido em temperatura ambiente e operou durante 4.210 horas.

Os resultados apresentados resultam de 4.210 horas de operação, durante as quais foram realizadas três lavagem químicas com 425, 1124 e 1800 horas de operação, respectivamente.

A instalação de um filtro composto de carvão ativado granular foi testado, visando principalmente à remoção do residual de cloro proveniente do tratamento prévio com o dióxido de cloro, protegendo assim as membranas de OR pelo ataque deste oxidante. Além da remoção do cloro, há também a possibilidade da remoção de outros elementos de forma secundária.

Nas primeiras 546 horas a planta piloto operou com adição de metabissulfito de sódio, utilizado para remover o cloro residual como pré-tratamento para alimentação da OR.

Para verificação da influência do sistema de filtração por GAC para água de alimentação da osmose foram analisadas as concentrações dos parâmetros turbidez, condutividade, cor, detergente sintético não biodegradável (Alquilo Benzeno Sulfonato de Sódio - ABS), cloretos, fluoretos, dureza, SDI, cloro residual e sílica na água de alimentação do filtro e na água filtrada. Neste experimento foram utilizados dois tipos de carvão, de diferentes fontes, sendo uma de casca de coco e outro de madeira.

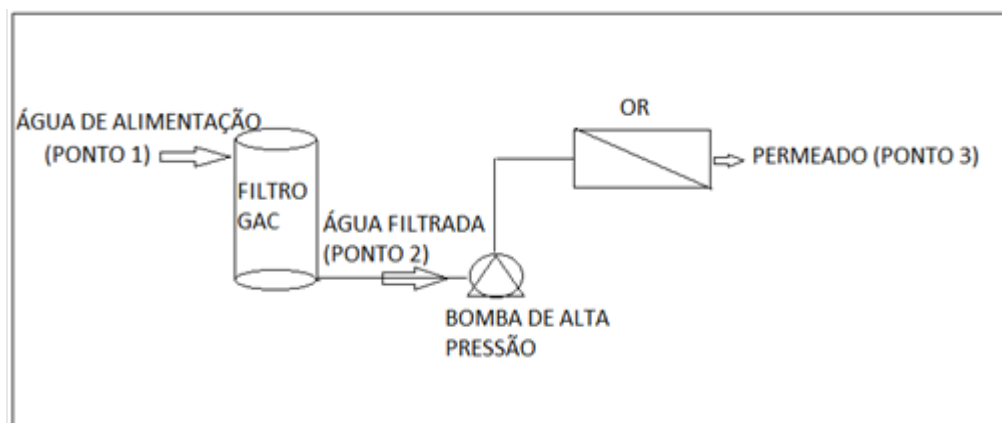


Figura 1: Fluxograma e pontos de coleta da planta piloto testada.

Para análise do desempenho do filtro de GAC e da OR, foram coletadas amostras, conforme fluxograma na Figura 1, da água de alimentação do filtro de GAC (ponto 1), do efluente do filtro (ponto 2) e do permeado (ponto 3). A coleta ocorreu três vezes por dia, de maio de 2014 até janeiro de 2015.

O Plano de Monitoramento (Tabela 1) resume o planejamento dos pontos de amostragem e frequência das coletas.

**Tabela 1: Pontos de monitoramento da planta piloto.**

Ponto Monitorado	Local	Descrição	Frequência da coleta
Ponto 1	Alimentação do GAC	Água proveniente da ETAIA	3 vezes ao dia
Ponto 2	Efluente do filtro de carvão	Água sem cloro qual irá alimentar a OR	3 vezes ao dia
Ponto 3	Permeado	Água do tratada na OR	3 vezes ao dia

Para verificar o desempenho da OR foram analisadas as concentrações dos parâmetros turbidez, condutividade, detergente sintético não biodegradável (Alquilo Benzeno Sulfonato de Sódio - ABS), cloretos, fluoretos, manganês, ferro, fosfato, sulfatos, dureza, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico total (TOC), e sílica no permeado. Também foi analisada a retenção, a rejeição de sal e a taxa de permeabilidade da membrana.

A limpeza química foi realizada mediante condições pré-estabelecidas pelo fabricante da membrana tais: redução da vazão do permeado  $\geq 10\%$ , a diferença de pressão  $\geq 15\%$ , aumento da condutividade do permeado  $\geq 15\%$ . Para limpeza química foi utilizada inicialmente uma solução de hidróxido de sódio, seguida de uma solução ácido clorídrico 33% durante meia hora cada etapa.

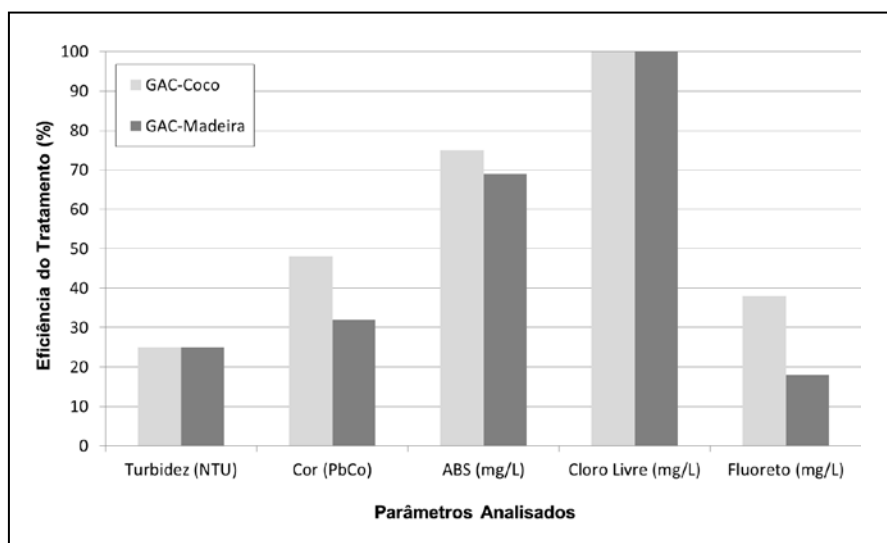
A caracterização da membrana foi realizada inicialmente para definir parâmetros como o fluxo e retenção salina. Após cada limpeza química uma nova caracterização foi realizada, a fim de verificar a ação dos agentes químicos utilizados na limpeza e a formação de incrustações na membrana.

## RESULTADOS

Os resultados da avaliação da planta piloto de OR são apresentados e discutidos na seguinte ordem: avaliação da filtração por carvão ativado granular, caracterização da membrana, limpeza da membrana e sua permeabilidade, limpeza da membrana e sua permeabilidade.

### Avaliação da Filtração por Carvão Ativado Granular

Na Figura 2 estão apresentados os parâmetros com maiores eficiência de remoção na filtração com carvão ativado de granular de casca de coco e de madeira (GAC – Coco e GAC-Madeira).



**Figura- 2: Parâmetros com maior eficiência de remoção pela instalação de filtro de carvão ativado granular.**

A turbidez média na água de alimentação para o filtro de carvão de coco e de madeira (ponto 1, antes da entrada do filtro) apresentaram os seguintes valores ( $0,95 \pm 0,32$  e  $0,89 \pm 0,36$  NTU), respectivamente. Após passagem pelo filtro, ponto de amostragem 2, a turbidez para o filtro de carvão de coco e de madeira foi ( $0,72 \pm 0,58$  e  $0,67 \pm 0,29$  NTU), respectivamente. Neste caso foi observada capacidade de adsorção do íon fluoreto por carvão, favorecida pela presença de íons cloreto em solução. De acordo com Abe et al. (2004), materiais carbonosos comerciais são muito utilizados como removedores de flúor.

Os parâmetros cor e ABS também apresentaram um boa remoção após a filtragem, este fato pode ser atribuído pelas características orgânicas deste parâmetro. A remoção de cloro residual foi de 100%, fator muito importante para proteção da membrana.

O carvão de origem de casca de coco apresentou um melhor desempenho, quando avaliados os parâmetros: cor, turbidez, ABS e fluoretos. Para os demais parâmetros analisados não houve redução da concentração.

### Caracterização das membranas

Os resultados para os parâmetros avaliados na caracterização da membrana podem ser visualizados na Tabela 2 para membrana ESPA 1- 4040 e na Tabela 3 para membrana ESPA 2 LD- 4040. O fluxo de água do permeado da membrana varia em função da pressão aplicada, observa-se que quanto maior a pressão de alimentação, mais elevado será o fluxo de permeado. É possível observar um comportamento linear para este parâmetro da OR. Plotando um gráfico com fluxo da membrana, no eixo das ordenadas e a pressão no eixo da abscissa, o coeficiente angular desta reta fornecerá a permeabilidade da membrana, dada em  $L/(m^2 \cdot h \cdot (Kgf/cm^2))$ . A permeabilidade sofre alteração pela formação de incrustações durante sua operação e pela ação dos agentes químicos durante a limpeza da membrana.

**Tabela 2: Resultados dos testes de caracterização da membrana ESPA 1- 4040 e sua retenção salina.**

Pressão (Kgf/m <sup>2</sup> )	Fluxo (L/m <sup>2</sup> ·h)	Temperatura (°C)	Condutividade PM 2 (µS/cm)	Condutividade PM 3 (µS/cm)	Retenção Salina (%)
5	20,7	20	298	7	97,65
6	22,9	20	299	8	97,32
7	25,7	20	296	9	96,95
8	28,2	20	298	11	96,31
9	31,8	20	295	12	95,93
10	35,4	20	296	13	95,61

Comparando com dados fornecidos pelo fabricante da membrana ESPA 1- 4040, onde são utilizados parâmetros padrão, um fluxo máximo de 51,68 L/(m<sup>2</sup>·h) e uma retenção salina mínima de 99,3 % são especificados com uma pressão máxima de trabalho de 10 Kgf/m<sup>2</sup> observa-se que mesmo na maior pressão utilizada, de 10 Kgf/m<sup>2</sup>, o fluxo máximo atingido foi 35,4 L/(m<sup>2</sup>·h) ou 63,5% do fluxo padrão e uma retenção salina de 97,65 %, ficando abaixo do fluxo máximo e da retenção salina fornecidos pelo fabricante.

A comparação dos resultados obtidos para membrana ESPA 2 LD- 4040 com dados fornecidos pelo fabricante, um fluxo máximo de 42,45 L/(m<sup>2</sup>·h) e uma retenção salina mínima de 99,6 % são especificados com uma pressão máxima de trabalho de 10 kgf/m<sup>2</sup> observa-se que mesmo na maior pressão utilizada, de 10 Kgf/m<sup>2</sup>, o fluxo máximo atingido foi 32,8 L/(m<sup>2</sup>·h) ou 77,3% do fluxo padrão e uma retenção salina 97,79%, ficando abaixo do fluxo máximo e da retenção salina fornecidos pelo fabricante. A partir desse comportamento na operação pode-se constatar que a água de alimentação não é apropriada para uma alimentação da OR, indicando que, caso uma seja operada em escala real, haverá prejuízo para desempenho da OR, ao longo do tempo de operação.

A retenção salina é semelhante para as duas membranas, já a membrana ESPA 2 LD- 4040 apresentou melhor taxa de fluxo em relação a membrana ESPA 1- 4040, logo, é a mais indicada para o processo de tratamento de OR em questão.

A água utilizada no teste de caracterização da membrana apresentou uma turbidez de  $1,5 \pm 0,3$  NTU e SDI 6,3  $\pm 0,2$ , isto é, valores superiores aos recomendados pelo fabricante (turbidez menor que 1 NTU e SDI menor que 5).

**Tabela 3: Resultados dos testes de caracterização da membrana ESPA 2 LD- 4040 e sua retenção salina.**

Pressão (kgf/m <sup>2</sup> )	Fluxo (L/(m <sup>2</sup> ·h))	Temperatura (°C)	Condutividade PM 2 (µS/cm)	Condutividade PM 3 (µS/cm)	Retenção Salina (%)
5	19,5	20	271	6	97,79
6	22,2	20	285	6	97,89
7	25	20	278	7	97,48
8	27,5	20	278	7	97,48
9	30,3	20	280	10	96,43
10	32,8	20	272	11	95,96



A taxa de recuperação durante o teste de 4.210 horas de funcionamento do equipamento de OR para membrana ESPA 1- 4040, variou 60 a 78%, com uma taxa média de 64 %. Esta taxa ficou muito abaixo da taxa de recuperação estimada pelo fabricante (85%) a uma pressão 10,5 kgf/m<sup>2</sup>. Este fato pode ser atribuído a uma menor pressão de trabalho, que é diretamente proporcional à taxa de recuperação, para as mesmas condições de colmatção da membrana e também a qualidade da água de alimentação. Os fatores que afetam a taxa de recuperação foram avaliadas por Elfil *et al.* (2006) em seu estudo, onde a temperatura, a salinidade, a colmatção e a variação da pressão de operação foram estudados. Para esse estudo a taxa de recuperação variou de 63 e 75 %.

A membrana ESPA 2 LD- 4040 apresentou uma taxa de recuperação constante de 75 %, comparada com a taxa de recuperação da membrana ESPA 1- 4040, a qual variou de 63 à 75%, o que faz com que a membrana ESPA 2 LD- 4040 seja mais indicada para tratamento da água tratada na estação em estudo.

### Limpeza da membrana e sua permeabilidade

Na Tabela 4 está apresentada a permeabilidade hidráulica média para cada pressão transmembrana, após cada limpeza química para membrana ESPA 1- 4040.

De acordo com a Lei de Darcy, o aumento de pressão resulta num aumento de fluxo de permeado, quando mais efluente será forçado a passar pela membrana. No entanto, mesmo depois das lavagens, houve um aumento da pressão na alimentação, mas que, não se reflete na permeabilidade hidráulica média. A permeabilidade da membrana nova era de 4,2 L/(m<sup>2</sup>·h·(kgf/cm<sup>2</sup>)), e este valor caiu progressivamente até alcançar na terceira limpeza química uma taxa de 2,4 L/(m<sup>2</sup>·h·(kgf/cm<sup>2</sup>)).

Houve uma redução de 42,8 % na taxa de permeabilidade, que pode ser atribuída aos fenômenos de polarização por concentração e a formação de *fouling* orgânicos ou inorgânicos, que podem ser agravados a pressões mais elevadas.

Na prática da operação da OR na indústria as vazões de alimentação e de rejeito são mantidas constantes, portanto, há uma variação no fluxo de permeado. Normalmente, com uma redução do fluxo do permeado ocorre paralelamente um aumento do *fouling* da membrana. A membrana ESPA 2 LD- 4040 não necessitou de lavagem química, mesmo após 698 horas de operação e manteve a mesma taxa de permeabilidade. Já a membrana ESPA 1- 4040, com o mesmo tempo de operação, necessitou de uma primeira lavagem química. Para membrana ESPA 1- 4040 foram necessárias um total de três lavagens químicas, sendo a terceira lavagem a que mais afetou o fluxo e taxa de permeabilidade, indicando o ataque químico a membrana.

**Tabela 4: Parâmetro de pressão de alimentação e fluxo de permeado após cada limpeza química da membrana ESPA 1- 4040.**

	Pressão média de alimentação da OR (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fluxo médio de permeado (L/h)	Taxa de permeabilidade L/(m <sup>2</sup> ·h·(kgf/cm <sup>2</sup> ))
<b>Primeira limpeza</b>	5,3 ± 0,6	300 ± 20	4,1
<b>Segunda limpeza</b>	5,4 ± 0,6	280 ± 30	3,7
<b>Terceira limpeza</b>	6,3 ± 0,6	210 ± 50	2,4

### Avaliação da qualidade do permeado

A Tabela 5 mostra os principais parâmetros para avaliação do desempenho da OR, formação de *fouling* e para utilização do permeado com a mistura com água produzida na ETAIA para reposição em água de torres de resfriamento.

A partir da comparação dos parâmetros da água produzida na ETAIA com os valores dos parâmetros no contrato com as indústrias, constata-se que apenas os parâmetros: fluoreto, fosfato e nitrogênio amoniacal não atenderam aos padrões exigidos.

Da comparação da água da alimentação com o permeado obtido, pode-se observar que o tratamento com OR forneceu uma água com qualidade muito além da qualidade exigida pelos padrões do contrato.

**Tabela 5: Média dos principais parâmetros analisados na água de alimentação e no permeado da membrana ESPA 1- 4040.**

Parâmetro	Ponto de coleta da amostra		Padrões do contrato
	P 1 ( Água de alimentação )	P 3 ( Permeado )	
Alcalinidade (mg/L)	58,79 ± 20,79	7,47 ± 2,35	≤ 10
Cloretos (mg/L)	27,27 ± 6,18	1,16 ± 0,74	≤ 40
Dureza Total (mg/L)	52,70 ± 12,58	3,49 ± 1,03	≤ 100
Sulfatos (mg/L)	31,4 ± 6,37	< 10,0	≤ 50
Fosfato (mg/L)	1,52 ± 0,32	< 0,025	≤ 0,1
Ferro (mg/L)	0,04 ± 0,01	< 0,02	≤ 0,1
Mangânes (mg/L)	0,02 ± 0,01	< 0,01	≤ 0,1
Nitrogenio Amon. (mg/L)	4,08 ± 2,67	0,23 ± 0,15	≤ 2
Nitrogênio Total (mg/L)	5,39 ± 2,86	0,79 ± 0,33	≤ 10
Surfactantes (mg/L)	3,01 ± 2,21	< 0,025	≤ 0,2
Condutividade (µS/cm)	332 ± 53,17	18,01 ± 4,05	-
Sólidos Totais (mg/L)	171,86 ± 36,29	15,86 ± 11,03	≤ 190
pH	7,5 ± 0,13	6,29 ± 0,17	6,2 – 8,2
Sílica (mg/L)	9,5 ± 1,3	< 0,5	< 12
Fluoreto (mg/L)	0,25 ± 0,11	0,04 ± 0,02	≤ 0,1
Turbidez (NTU)	1,20 ± 0,64	0,35 ± 0,18	< 2
TOC (mg/L)	6,5 ± 1,1	< 1,0	-

## CONCLUSÕES

A aplicação da OR para tratamento da água produzida pela ETAIA se mostrou eficaz, produzindo um permeado com a qualidade dentro dos padrões exigidos no contrato com as indústrias, logo esta tecnologia pode ser utilizada como pós-tratamento para água produzida na ETAIA.

O filtro de GAC apresentou uma eficiência na remoção de cloro de 100 % e também promoveu redução de turbidez, cor, ABS e fluoreto. A sua utilização é adequada para remoção de agentes químicos de possam agredir a membrana.

A qualidade da água de alimentação da OR contribuiu para que as duas membranas apresentassem a retenção salina e fluxo menor que o especificado pelo fabricante, logo, uma melhoria no processo de tratamento da ETAIA ou a utilização de agentes dispersantes, podem ser alternativa para melhorar o desempenho dos parâmetros analisados.

Ao comparar as duas membranas conclui-se que a membrana ESPA 2 LD- 4040 apresentou melhor fluxo e maior resistência à formação de incrustações, fato que pode ser explicado pelos componentes utilizados na composição da membrana.

A operação da unidade piloto é importante para ter conhecimento das variáveis envolvidas na operação e implementação da planta em escala real, tais como: o tipo de membrana a ser aplicado, as características da água de alimentação, o tipo de pré-tratamento e os custos envolvidos. Esse tipo de informação pode auxiliar na tomada de decisão para operação da planta em escala real, a qual envolve um grande investimento, minimizando assim os riscos de investimento e otimizando o *payback*.

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR-PR) e da empresa PROMINENT CO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABE, I., IWASAKI, S., TOKIMOTO, T., KAWASAKI, N., NAKAMURA, T., TANADA, S. Adsorption of fluoride ions onto carbonaceous materials. *Journal of colloid and interface science*, v.275(1), p.35-39, 2004.
2. ELFIL, H.; HANNACHI, A. Reconsidering water scaling tendency assessment. *AIChE journal*, v. 52, n. 10, p. 3583-3591, 2006.
3. FIESP/CIESP. Conservação e Reuso de Água; Manual de orientação para o setor empresarial. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004. V.1. Disponível em: < [http:// www.ciespoeste.org.br/arquivo-download/?id=394](http://www.ciespoeste.org.br/arquivo-download/?id=394). > Acesso em 28 junho 2014.
4. FRANCO, P. L. P. Análise da potencialidade do reúso indireto potável: estudo de caso da ETE Atuba Sul, Região Metropolitana de Curitiba. Dissertação no Mestrado internacional PPGMAUI na Universidade Federal do Paraná, Universität Stuttgart na Alemanha e SENAI-PR, Curitiba, 2010.
5. GALVÃO, M. R. Estudo de reúso não potável de água de processo de efluente tratado em indústria de bebidas. Dissertação no Mestrado internacional PPGMAUI na Universidade Federal do Paraná, Universität Stuttgart na Alemanha e SENAI-PR, Curitiba, 2010.
6. GIORDANI, S.; SANTOS, D. C. Possibilidades de reúso dos efluentes domésticos gerados nas Bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira-Região de Curitiba-Paraná. *Sanare, Curitiba*, v. 19, n. 19, p. 06-14, 2003.
7. MELIÁN-MARTEL, N.; SADHWANI, J. J.; MALAMIS, S.; OCHSENKÜHN-PETROPOULOU, M. Structural and chemical characterization of long-term reverse osmosis membrane fouling in a full scale desalination plant. *Desalination*, v. 305, p. 44-53, nov. 2012.
8. NEUFFER, D. Sustainable water supply and wastewater treatment as a contribution to environmental protection. 6<sup>o</sup> Simpósio Brasil-Alemanha de Desenvolvimento Sustentável - Amazônia Gestão Integrada do Desenvolvimento Sustentável, 2013, Santarem. Book of Abstracts (Amazonia - integrated management for sustainable development). Santarem: UFOPA, 2013. p. 70-70.
9. SHATAT, M.; WORALL M., RIFFAT, S. Opportunities for solar water desalination worldwide: Review. *Sustainable Cities and Society*, v. 9, p. 67-80, dez. 2013.