

## II-128 – AVALIAÇÃO DO CONCENTRADO PROVENIENTE DE UMA MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA INDUSTRIAL

**Mariana Espindola de Souza<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental 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.

**Arislete Dantas de Aquino**

Engenheiro Química pela Universidade Federal do Ceará. Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Associado da Universidade Federal do Paraná

**Ronald Gervasoni**

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

**Alcely José Wosniack**

Bacharel em Química pela Universidade Federal do Paraná. Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR/SENAI e Universität Stuttgart. Coordenador do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana, da Unidade de Serviço de Produção e Distribuição da Companhia de Saneamento do Paraná

**Marcio Arakaki**

Engenheiro Químico pela Universidade de São Paulo. Engenheiro Químico da Unidade de Serviço de Produção e Distribuição da Companhia de Saneamento do Paraná

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Engenheiros Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba – Paraná – CEP: 80215-900 – Brasil – Tel +55 (41) 3330-7262 – Fax: +55 (41) 3330-7259 - e-mail: [mariana.souza@sanepar.com.br](mailto:mariana.souza@sanepar.com.br).

### RESUMO

O resíduo gerado nos processos de filtração por membranas necessita de tratamento. Este trabalho teve como objetivo a avaliação técnica e a caracterização do rejeito produzido pelo tratamento avançado de um PSM de proveniente de uma unidade piloto, instalada dentro uma planta de tratamento de água para a indústria, denominada Estação de Tratamento de Água Industrial (ETAI). Esta planta possui capacidade de tratamento de água de  $1.152\text{m}^3\text{h}^{-1}$  e atende a quatro grandes indústrias da região sendo, siderurgia, termoeletrica, madeireira e de fertilizantes nitrogenados, que utilizam a em processos industriais como, em torres de resfriamento, caldeiras. Devido a crescente demanda de água potável e os preços elevados aplicados às indústrias faz-se necessário à substituição crescente por água de reúso, seja ele, direto ou indireto. A filtração ocorreu em dois vasos de pressão onde foram inseridos os módulos individuais das membranas filtrantes com área de filtração de  $7,9\text{m}^2$  em cada um, totalizando  $15,8\text{m}^2$  e uma bomba centrífuga de alta pressão em aço inoxidável 304. A membrana utilizada foi produzida a partir de poliamida composta, mais precisamente em poliéster, composto de poliamida e polisulfona, espiralada, fornecida pela Hydranautics ESPA1-4040 Nitto Denko. As amostras coletadas, de concentrado e de água de alimentação, foram analisadas no laboratório para determinações analíticas de: turbidez, condutividade elétrica, dureza, cloretos e cloro livre. Estas foram definidas com base nos parâmetros mais significativos para água de processo, caldeira e torre de resfriamento, custo, tempo de preparo e determinação. Como previsto foram obtidos resultados do concentrado superior aos resultados da água de alimentação e do permeado, verificando assim a eficiência do PSM.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processo de Separação por Membranas, Rejeito, Membranas de Filtração, Efluente.

### INTRODUÇÃO

O material concentrado, ou rejeito proveniente de processos de separação por membranas (PSM), necessita de tratamento or. Nele estão contidos compostos orgânicos e minerais que pelo tamanho, forma ou estrutura não foram capazes de atravessar as membranas filtrantes. O rejeito produzido em uma unidade de separação por

membranas, expresso em volume, representa aproximadamente 20 a 40% do total do material filtrado e, dependendo do tamanho da planta, da tecnologia empregada e das características da água de alimentação, este valor pode ser ainda maior.

O PSM pode ser considerado como um tratamento avançado para a água e de pós-tratamento para os efluentes industriais e domésticos. O produto resultante deste processo, denominado de permeado, não possui alto valor agregado quando comparado com produtos provenientes de outras indústrias como a de alimentos ou de higiene pessoal.

Acredita-se que por se tratar de tratamento de água retirada do subsolo ou de um corpo hídrico superficial, o resíduo resultante deste processo possa retornar ao meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento.

No entanto, o resíduo proveniente de um PSM é considerado como efluente proveniente da indústria do tratamento da água e deve ser tratado seguindo a legislação vigente.

Do ponto de vista econômico a água é tida como um bem de alto valor agregado ao passo que os efluentes sanitários, muitas vezes, não são vistos como tal.

No Brasil, além de leis, decretos, portarias, contratos que regulam a qualidade da água produzida deve-se ater a Resolução CONAMA 430/2011, que possui como objetivo determinar a qualidade mínima do efluente tratado para o posterior lançamento nos corpos hídricos. No Estado do Paraná a Resolução SEMA – PR 21/2009 estipula metas e prazos para o tratamento dos resíduos produzidos em estações de tratamento de água –(ETA).

Dessa forma o rejeito proveniente do PSM deve ser tratado para a posterior disposição final, ou ser reciclado à unidade, como ocorre com os compostos lixiviados e os concentrados provenientes do tratamento de efluentes sanitários.

Estes podem ainda ser conduzidos a colunas de filtração utilizando carvão ativado granular ou em forma de pó e dependendo do caso passar por processos de coagulação e floculação utilizando polímeros. No entanto a caracterização do resíduo possui fundamental importância na escolha do processo de tratamento, bem como as variações de parâmetros que ocorrem em função da qualidade do manancial envolvido, as quais devem consideradas e avaliadas conjuntamente.

O uso de membranas de filtração no tratamento de água e de efluentes vem crescendo ao longo dos anos, em todo o mundo. As membranas para a filtração podem ser utilizadas no tratamento de efluentes aeróbios ou anaeróbios. E elas apresentam como vantagem a redução de área para a instalação quando comparadas aos de processos convencionais de tratamento que englobam os processos biológicos e físico-químicos.

Os processos convencionais de filtração, devido ao baixo custo continuam sendo empregados em muitas ETA's, porém perdem competitividade quando não há mais espaço para a construção e ampliação da estação ou quando a taxa de filtração já está na capacidade nominal, não possuindo mais alternativas se não a aplicação do PSM.

Os processos de separação por membranas (PSM) são utilizados em diversos segmentos de indústria, principalmente naquelas que exigem ou necessitam de processos de filtração, clareação ou fracionamento das correntes, em especial onde é necessário desempenho confiável e repetitivo.

Estudos comparativos de preço da água dessalinizada mostram a redução em países desenvolvidos (Europa) dos anos 90 para os anos 2000, de 1,50 US\$/m<sup>3</sup> para 0,50 US\$/m<sup>3</sup>, sendo que quase metade do custo de operação se deve a energia elétrica e as bombas representam cerca de 85% da energia consumida [24].

O ciclo da água mostra a possibilidade de renovação dos recursos hídricos em diferentes estados, sólido, líquido e gasoso. Nesta ótica os recursos hídricos são oriundos de reúso. No conceito de reúso este pode ser planejado ou não planejado e direto ou indireto.

O reúso planejado ocorre quando uma cidade a montante decide expandir o seu crescimento a jusante e há apenas um corpo hídrico para se extrair a água e lançar o efluente. Para garantir a segurança da população faz-se necessário a adoção ou a melhoria do tratamento de efluentes que pode ser com a adoção de novas tecnologias, a utilização do efluente tratado na agricultura e a recarga de aquíferos subterrâneos. O reúso não planejado ocorre sem o planejamento, isto é, sem a adoção de novas tecnologias, a utilização do efluente tratado na agricultura e a recarga de aquíferos subterrâneos.

O reúso indireto ocorre na situação mencionada acima e o reúso direto quando da planta de tratamento de efluentes a água é reutilizada em plantas de tratamento de água ou no processo novamente, se assemelhando com um circuito fechado de recirculação.

A fim de atender a demanda industrial existente na região metropolitana de São Paulo, a SABESP juntamente com a Foz do Brasil, uma subsidiária do Grupo Odebrecht, criaram uma sociedade de propósito específico (SPE) para este fim – Aquapolo. O objetivo era atender a demanda industrial a partir de água de reúso proveniente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) que trata o efluente de forma aeróbia e recebeu as unidades de pós-tratamento como biorreatores de membrana de nanofiltração e a unidade de osmose reversa. Neste projeto ocorre o reúso direto de água industrial.

A ETAI localizada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) é alimentada com água proveniente do Rio Iguaçu e possui tratamento denominado de ciclo completo envolvendo operações unitárias de coagulação, floculação, decantação e filtração, produzindo água não potável para indústrias da região. Devido a sua localização e pelas características físico-químicas do corpo hídrico, pode ser considerada como uma unidade de reúso indireto e não planejado.

## OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho possui o objetivo de caracterizar o concentrado produzido por uma estação piloto de filtração por membranas. Esta estação foi instalada com a finalidade de melhorar a qualidade da água produzida em uma Estação de Tratamento de Água destinada exclusivamente para o abastecimento industrial, isto é, água para processo industrial e não destinada ao consumo humano. O processo de separação por membranas (PSM) produz o permeado (tratado) e o concentrado (rejeito) e este foi caracterizado com relação aos parâmetros mais significativos para água de processos industriais. O tempo de operação avaliado foi de 1000 horas de operação.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A unidade piloto de osmose reversa utilizada neste trabalho foi instalada na Estação de Tratamento de Água Industrial (ETAI) da SANEPAR, localizada no município de Araucária – PR.

Esta planta possui capacidade de tratamento de água de  $1.152 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e atende a quatro grandes indústrias da região de Araucária – PR sendo estas, siderurgia, termoeletrônica, madeireira e de fertilizantes nitrogenados, que utilizam a água em unidades de processos industriais como, em torres de resfriamento, caldeiras e outros. A TABELA 1 apresenta de forma resumida a capacidade de tratamento da ETAI e da unidade piloto.

**Tabela 1: Capacidade de tratamento da ETAI**

Capacidade:	$\text{L s}^{-1}$	$\text{L h}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$
da ETAI	320	1.152.000	1.152	27.648
da unidade piloto	0,11	400	0,4	9,6
de produção de permeado pela unidade piloto	0,083	300	0,3	7,2
de produção de concentrado da unidade piloto	0,027	100	0,1	2,4

Esta unidade pode ser classificada como de ciclo completo uma vez que possui os tratamentos de floculação, decantação e filtração podendo operar de forma contínua por um período de até 24 horas por dia.

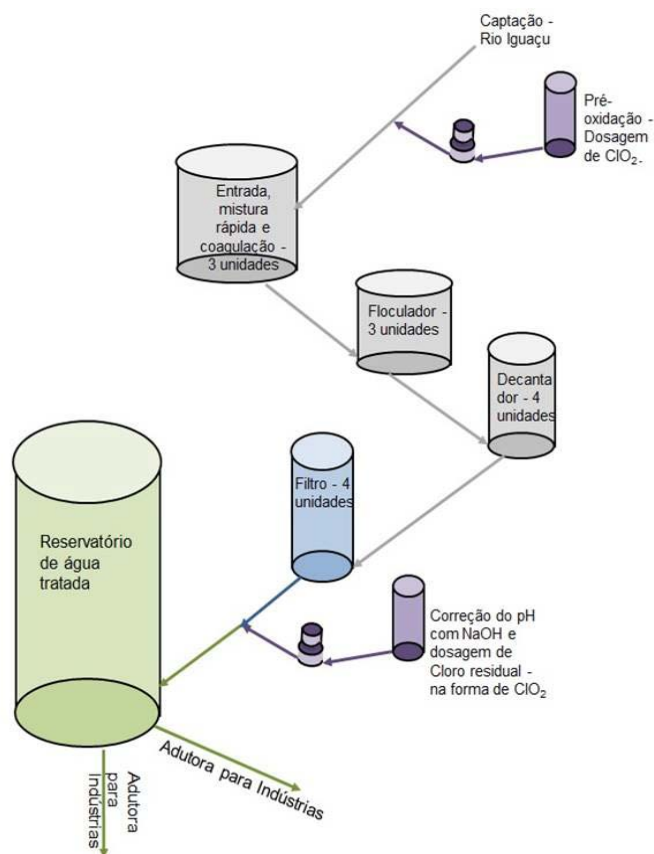
Na estação de tratamento de água ETAI, a água bruta é conduzida do corpo hídrico a um canal artificial construído em concreto e o nível da água permanece o mesmo do rio Iguaçu. Neste canal foi instalada uma

grade grossa manual e uma grade fina mecanizada, três bombas submersíveis compõem a captação, sendo duas bombas em operação e uma bomba de reserva. Cada bomba possui 56Kw de potência o que equivale a cerca de 75 hp e capacidade de sucção individual de  $140\text{L s}^{-1}$ , a capacidade máxima de sucção é de  $280\text{L s}^{-1}$ .

Do canal de captação a água bruta é aduzida diretamente do corpo hídrico para o tanque de mistura rápida por meio de tubulações com diâmetro nominal de 600 mm e bombas. Durante a adução e antes do tanque de mistura rápida se adiciona a água bruta o dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) como pré-oxidante devido à presença de matéria orgânica na água, e na etapa seguinte de floculação foi adicionado o cloreto de poli alumínio (PAC1).

Da unidade de mistura rápida a água foi encaminhada aos floculadores, onde os sólidos suspensos foram aglutinados para a etapa posterior de decantação. A água decantada foi conduzida aos filtros contendo carvão antracito e areia, e em seguida encaminhada ao reservatório apoiado. Na ETAI foram utilizados decantadores de alta taxa

O diagrama esquemático do tratamento da água utilizada na ETAI pode ser visualizado na FIGURA 1.



**Figura 1: Fluxograma simplificado da ETAI**

A unidade piloto utilizada para a realização dos procedimentos experimentais deste trabalho é constituída por uma unidade de purificação de água que utiliza membranas de osmose reversa e possui capacidade de tratamento líquida (produção do permeado) de  $0,3\text{m}^3/\text{h}$ , vazão máxima de entrada no equipamento de  $0,4\text{m}^3/\text{h}$  na temperatura de entrada de  $25^\circ\text{C}$ , taxa de recuperação de projeto de 0,75. Estes valores foram fornecidos pelo fornecedor do equipamento devido às características da água a ser tratada.

Os valores máximos para a operação da membrana, especificados pelo fabricante, pressão de 4,16 MPa, temperatura de  $45^\circ\text{C}$ , SDI de 5,0 e turbidez na água de alimentação de 1,0 NTU.

A água utilizada para a alimentação da unidade piloto era proveniente do reservatório apoiado de água tratada da ETAI.

O sistema de alimentação da unidade piloto foi composto por um filtro de carvão ativado granular (GAC) com a finalidade de reter os óleos e graxas, cloro livre na forma de dióxido de cloro, turbidez, cor e sólidos dissolvidos.

Do início do experimento até 700 horas de operação foi utilizado GAC de origem vegetal, fornecido pela Carbomafra, modelo carbono 119. Após o tempo de 700 horas de operação foi necessária à manutenção do

filtro de GAC com a substituição do elemento filtrante por carvão de origem animal fornecido pela empresa Bonecheer do Brasil.

As características destes carvões encontram-se descritas nos Anexos 2 e 3.

Após o filtro foi adicionado solução de metabissulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) por meio de uma bomba dosadora a 5% com a finalidade de neutralizar o efeito do cloro livre sobre as membranas de osmose reversa. Em seguida a água de alimentação foi conduzida por meio de tubulações em PVC para uma estrutura construída em aço inoxidável 304 contendo os medidores de pressão, vazão, painel de controle, pré-filtro de cartucho de polipropileno de 5 $\mu\text{m}$  referência ABS – HB004165484 fornecido pela empresa 3M do Brasil e para o controle da vazão de entrada foi utilizada uma válvula solenoide.

As medidas de pressão foram feitas em pressostatos e manômetros de aço inoxidável, utilizando como fluido manométrico a glicerina e a escala de pressão variando de 0 a 0,6 MPa. As pressões foram medidas antes e após o filtro de cartucho, na saída da bomba de alta pressão, no 1<sup>o</sup> vaso e no 2<sup>o</sup> vaso de pressão.

A água passa pelo filtro (1) e em seguida é bombeada para o 1<sup>o</sup> vaso de pressão (2) que contém o elemento filtrante, OR, deste vaso a água é separada em duas correntes, uma de permeado (3) e outra de rejeito (4). O rejeito do 1<sup>o</sup> vaso segue ao 2<sup>o</sup> vaso de pressão (5) onde é gerado outro permeado (3) e concentrado (6).

As medidas de vazão foram realizadas utilizando rotâmetros graduados de 0 a 600  $\text{Lh}^{-1}$  da marca Stüble. O concentrado produzido no 2<sup>o</sup> vaso passa pelo rotâmetro, bem como o permeado produzido no 1<sup>o</sup> e no 2<sup>o</sup> vaso.

Após a passagem dos fluidos pelos rotâmetros estes foram conduzidos a dois reservatórios com capacidade de 1000L para o permeado e 500L para o concentrado. Os reservatórios possuíam válvulas abre e fecha para a retirada de amostra e válvula controladora de nível para a manutenção da vazão do concentrado. O fluxograma simplificado da unidade piloto pode ser visualizado na FIGURA 2, a seguir.

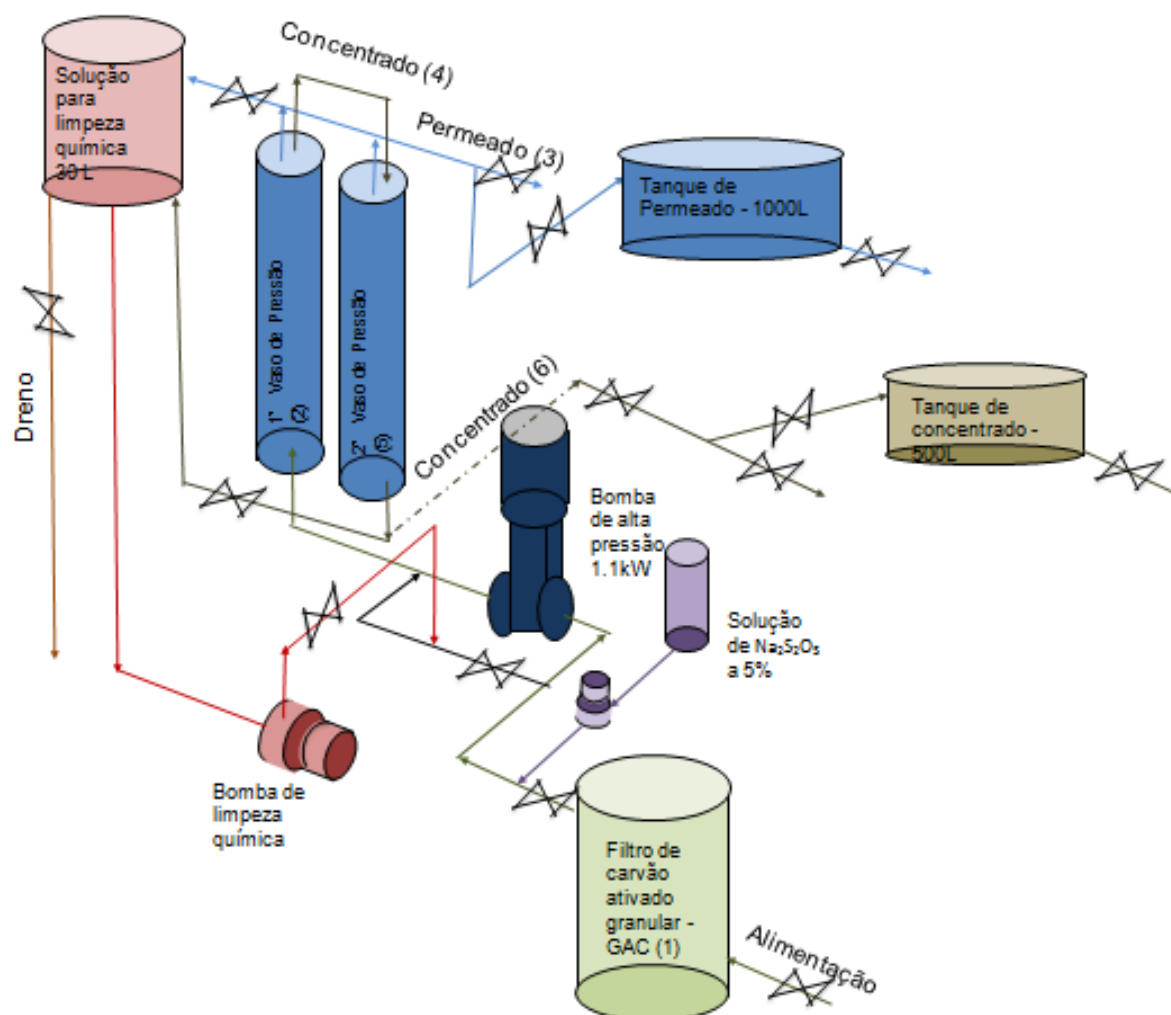
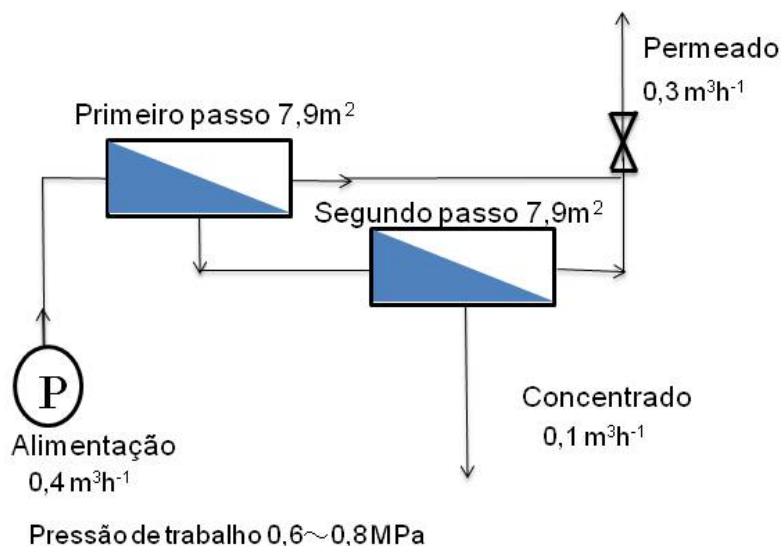


Figura 2: Esquema simplificado da unidade piloto de osmose reversa



A filtração foi realizada com a utilização de dois vasos de pressão onde foram inseridas individualmente as membranas espiraladas de osmose reversa com área individual de filtração de  $7,9 \text{ m}^2$ , totalizando  $15,8 \text{ m}^2$  e uma bomba centrífuga de alta pressão em aço inoxidável 304.

Como a unidade piloto continha dois vasos de pressão o equipamento filtrava a água de alimentação em dois passos. O primeiro passo era alimentado com água de alimentação e nele era produzido o permeado e o concentrado, este era novamente filtrado no segundo passo, gerando o permeado e o concentrado. O fluxograma simplificado do funcionamento das membranas utilizadas no processo, FIGURA 3.



**Figura 3: Fluxograma simplificado das membranas utilizadas na unidade piloto**

A membrana utilizada no experimento foi a ESPA1-4040, espiralada produzida pela Hydranautics Nitto Denko sua composição possui polímeros distintos dispostos em finas camadas como a poliamida, o poliéster e a polisulfona. De acordo com o fabricante, para esta membrana a rejeição de sais esperada de 99,0 a 99,3%.

No teste realizado para início da operação do equipamento, a turbidez da água de alimentação era maior que a turbidez máxima recomendada pelo fabricante, bem como o SDI, dessa maneira acredita-se que a eficiência desta membrana para a rejeição de sal bem como para a produção do permeado produzido pode ser inferior à descrita.

Para os experimentos realizados, em virtude das características da água de alimentação utilizou-se uma vazão máxima de entrada igual a  $0,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  sendo  $0,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de permeado e  $0,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de concentrado.

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados a seguir. Cabe destacar que durante o período do experimento ocorreu condição pluviométrica que simulou período de baixa e alta pluviosidade, influenciando na qualidade e quantidade de água disponível para a captação no corpo hídrico.

Como previsto foram obtidos resultados do concentrado superior aos resultados da água de alimentação e do permeado, verificando assim a eficiência do PSM, Tabela 2 e 3.

Durante o experimento foi possível constatar variação na taxa de recuperação do permeado devido a variações na produção de concentrado e permeado. No período de operação a taxa de recuperação variou entre 0,72 a 0,62, abaixo da taxa de recuperação de projeto mencionada pelo fabricante, como consequência houve variação na produção de permeado, do concentrado e na vazão de entrada (linha 1 da Tabela 2 e 3). Durante o experimento foram realizadas três análise de SDI com resultados superiores a 6,5, a média de turbidez na água de alimentação foi de 1,20 NTU com máximo de 4,27 e mínimo de 0,33 NTU o que indica a necessidade de um pré-tratamento antes da água de alimentação (industrial) ser encaminhada a osmose reversa.

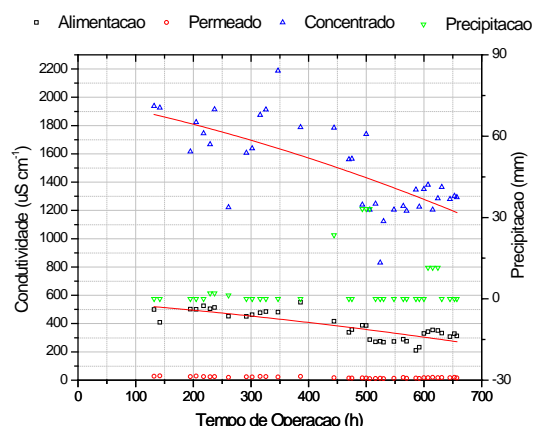
**Tabela2: Valores médios da água de alimentação obtidos para parâmetros analisados**

Parâmetro	Média	Desvio padrão amostral	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Unidade
Vazão	0,29	0,03	0,36	0,22	8,51	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Condutividade	348,58	107,41	550,00	183,70	30,81	μS cm <sup>-1</sup>
Turbidez	1,20	0,64	4,27	0,33	52,97	NTU
Cloro livre	0,33	0,15	1,39	0,00	45,89	mg L <sup>-1</sup>
Cloretos	38,22	14,30	76,48	17,51	37,42	mg L <sup>-1</sup>
Dureza	57,07	14,79	81,00	26,00	25,91	mg L <sup>-1</sup>

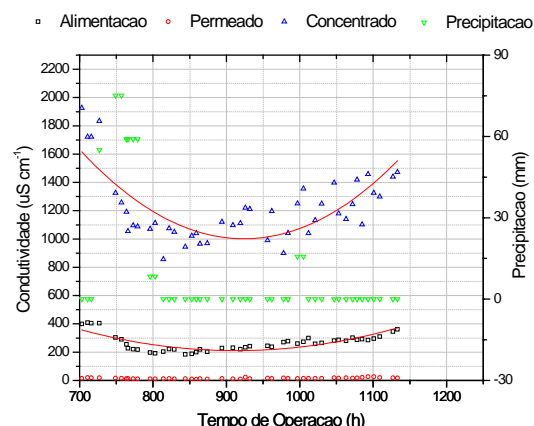
**Tabela 3: Valores médios do concentrado obtidos para parâmetros analisados**

Parâmetro	Média	Desvio padrão amostral	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Unidade
Vazão	0,10	0,00	0,10	0,08	2,65	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Condutividade	1459,95	393,34	2570,00	579,00	26,94	μS cm <sup>-1</sup>
Turbidez	4,87	9,20	61,80	0,46	189,03	NTU
Cloro livre	0,00	0,01	0,06	0,00	1118,03	mg L <sup>-1</sup>
Cloretos	167,87	54,34	292,00	53,73	32,37	mg L <sup>-1</sup>
Dureza	243,62	55,38	373,00	74,00	22,73	mg L <sup>-1</sup>

Nas FIGURAS 4 e 5 pode-se visualizar os resultados das determinações de condutividade elétrica, que foram separados em dois intervalos de tempo, visto substituição do tipo de carvão ativado. Próximo a 730h de operação, na FIGURA 5 pode-se perceber que após o início da precipitação o valor da condutividade, na água de alimentação e no concentrado, não apresentou redução imediata, mas com a continuidade da precipitação apresentou valores menores daquela apresentada no início da precipitação. Após o término da precipitação este parâmetro continuou a apresentar valores reduzidos. Os resultados serão apresentados em dois gráficos devido as características dos carvões utilizados.



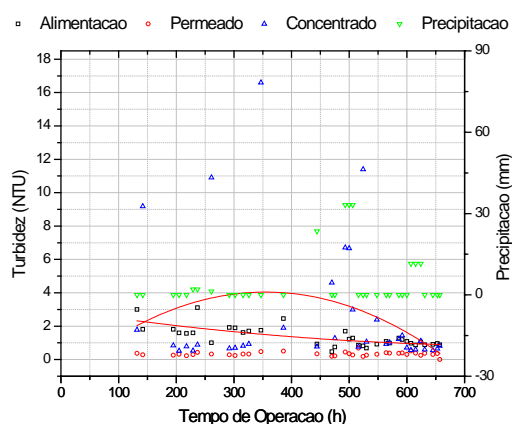
**Figura 4: Resultados das determinações de condutividade elétrica.**



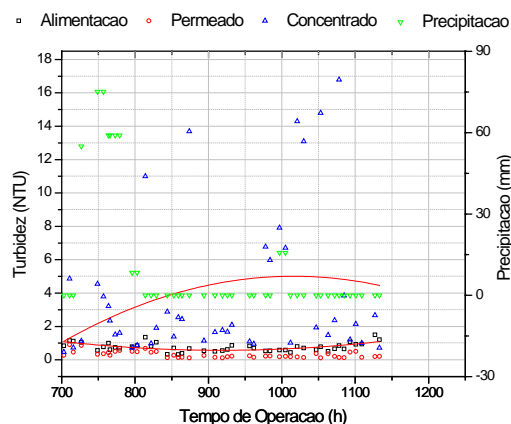
**Figura 5: Resultados das determinações de condutividade elétrica.**

As medidas de turbidez podem ser visualizadas nas FIGURAS 6 e 7. Uma das possíveis formas para a remoção da turbidez no concentrado seria por processos de filtração, decantação, absorção física e adsorção física.

Na FIGURA 6 e 7 pode-se verificar que pouco depois de 400 h de operação e após o início da precipitação houve redução dos valores de turbidez que permaneceram estáveis por cerca de 70h. Quando ocorreu novo volume de precipitação a turbidez voltou a ocorrer, a turbidez permaneceu estável por mais 70h.

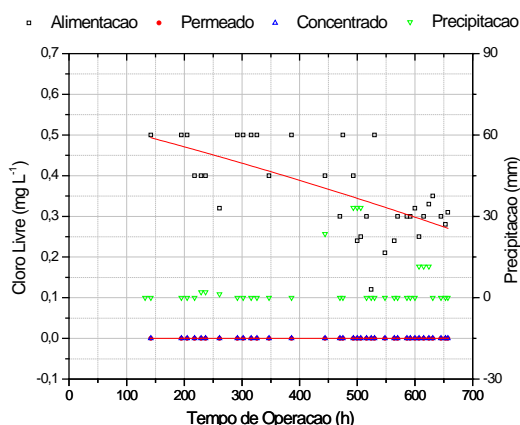


**Figura 6: Resultados das determinações de turbidez.**

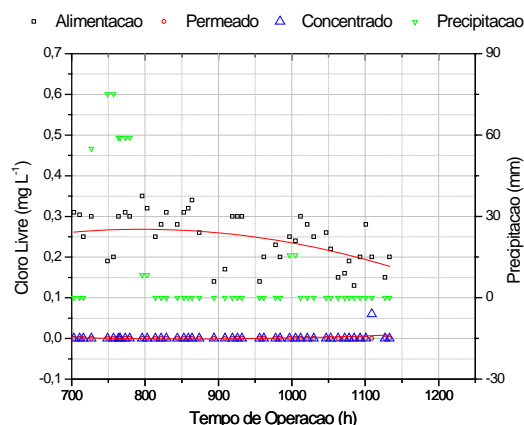


**Figura 7: Resultados das determinações de turbidez.**

Nas FIGURAS 8 e 9 pode-se observar a precipitação e a concentração de cloro livre na água de alimentação, no permeado e no concentrado ao longo da operação. A interferência da pluviosidade foi praticamente nula nas determinações do cloro livre, diferentemente de outros parâmetros já analisados.



**Figura 8: Resultados das determinações de cloro livre.**

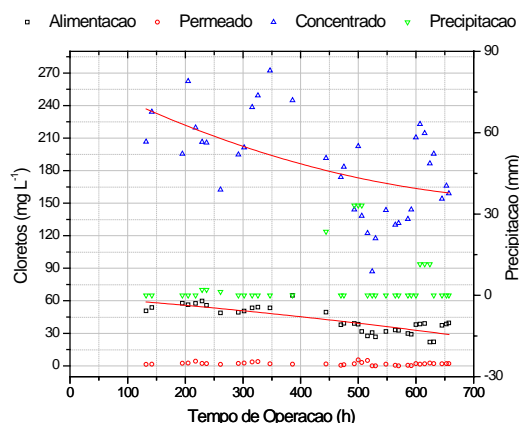


**Figura 9: Resultados das determinações de cloro livre.**

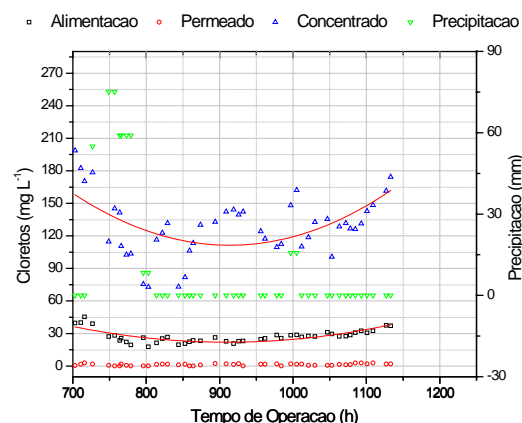
O comportamento dos cloretos ao longo do tempo de operação pode ser visualizado nas FIGURAS 10 e 11, se observarmos o comportamento do concentrado pode-se verificar que houve redução na concentração deste halogênio de acordo com o aumento da intensidade pluviométrica, cabendo salientar que será necessário um grande volume de chuva para a redução deste íon no concentrado, e com a substituição do carvão ativado utilizado, meio filtrante.

A FIGURA 11 contribui para a compreensão da influência da chuva nos resultados de cloretos no concentrado. Pode-se concluir que a intensidade da precipitação pluviométrica e a duração desta proporcionam a redução da concentração de cloretos no concentrado (diluição) e a falta de chuvas ocasiona o aumento deste íon na água bruta (concentração), na água industrial e no concentrado, comprometendo a qualidade do tratamento da ETAI e da OR



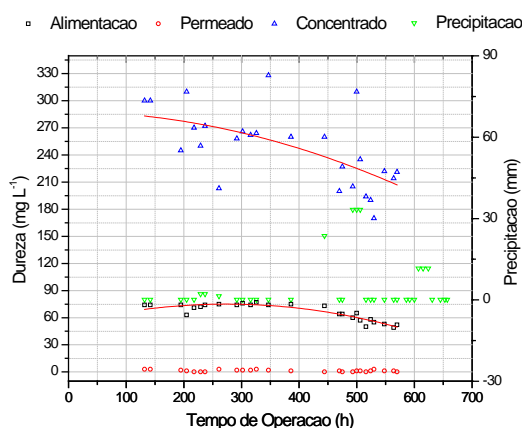


**Figura 10: Resultados das determinações de cloretos.**

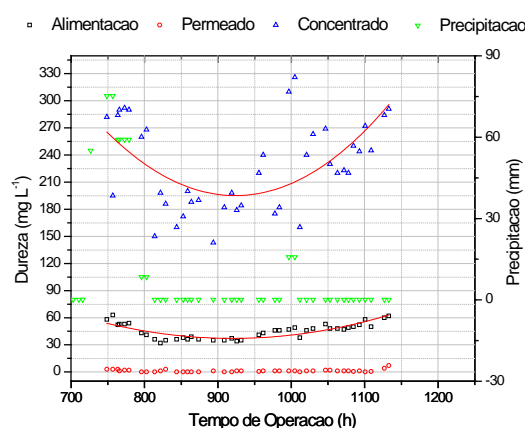


**Figura 11: Resultados das determinações de cloretos.**

Os resultados das determinações de dureza total presente no concentrado foram influenciados pela pluviosidade, que causou redução nos valores obtidos nas determinações. As FIGURAS 11 e 12 mostram essa variação e a o aumento gradual da dureza com a ausência de pluviosidade.



**Figura 11: Resultados das determinações de dureza.**



**Figura 12: Resultados das determinações de dureza.**

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

As primeiras 1000 horas de operação do sistema demonstraram a eficiência e robustez do PSM mesmo para alimentações com características não ideais. Como consequência de uma alimentação dessas houve uma menor durabilidade, vida útil do elemento filtrante quando comparado com a vida útil esperada.

Com a finalidade de aumentar da durabilidade da membrana seria interessante à melhoria do pré-tratamento da água de alimentação, essa poderia ocorrer com a remoção da matéria orgânica existente na água bruta, redizindo a sim a quantidade de limpezas químicas necessárias para o funcionamento da mesma. A inserção de anti-incrustante poderia vir a retardar e reduzir frequência das limpezas.

Para a melhoria do sistema poderia ser adicionado tratamento biológico aeróbio anterior ao processo de tratamento da água, ciclo completo. Ou o tratamento utilizando um bioreator de membranas (ultrafiltração o nanofiltração) após o tratamento convencional, assim a osmose reversa somente entraria em operação quando necessária.

O concentrado proveniente deste processo poderia ser recirculado na própria estação, entrando novamente ao processo de tratamento de água ou passar em uma torre de carvão ativado granular a fim de adsorver elementos e compostos químicos ou por fim serem coagulados para a precipitação dos elementos e compostos químicos. Durante o experimento foi possível verificar que os resultados dos parâmetros analisados do concentrado não possuem relação, nem correlação entre si. Em média os valores das análises do concentrado são superiores a quatro vezes a média da alimentação, e o desvio padrão, o coeficiente de variação não possui relação direta com a alimentação ou com a intensidade pluviométrica e esta pode estar com efeito defasado já que há um período mínimo de precipitação para a qualidade do manancial melhorar.

Como continuidade neste trabalho é importante caracterizar o concentrado com base na Resolução CONAMA 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005, Seção II, art. 16, Inciso I e II. Com esta caracterização, completa, pode-se destinar o efluente produzido por uma planta piloto de osmose reversa ao corpo hídrico ou para o tratamento adequado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTURKI, Abdulhakeen Ali.; TADKAEW, Nichanan.; MCDONALD, James A.; KHAN, Stuart J.; PRICE, Willian E.; NGHIEM, Long D. Combining MBR and NF/RO membrane filtration for the removal of trace organics in indirect potable water reuse applications. *Journal of Membrane Science*, v.365, p.206-215, 2010. Mensal.
2. AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012). SMWW
3. BIENATI, Barbara et al. Characterization and performance of different types of hollow fibre membranes in a laboratory-scale MBR for the treatment of industrial wastewater. **Desalination**, Swansea, v. 231, p.133-140, 2008. Mensal.
4. BJERKE, B. Membrane technology and costs: the state of art. *Desalination*, Amsterdam: Elsevier Science Publisher B.V, v. 35, p. 375 – 382, 2002.
5. BÓDALO-SANTOYO, A; GÓMEZ-CARRASCO, J.L.; GÓMEZ-GÓMEZ, E.; MÁXIMO-MARTÍN, F.; HIDALGO-MONTESINOS, A.M.. Application of reverse osmosis to reduce pollutants present in industrial wastewater. **Desalination**, Swansea, v. 2, n. 155, p.101-108, 2003. Mensal.
6. BRASIL, Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 430, 13 de maio de 2011 Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
7. CARVALHO, Roberto Bentes de.; RAMOS, Gabriela Marques dos.; BRAGA JÚNIOR, Walter Bom.; BORGES, Cristiano Piacksek. In: Teste piloto de microfiltração submersa para concentração de vinhoto da indústria de etanol. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVII, 2013, Goiânia GO. Anais do XVII CBESA. 2013. Meio digital.
8. CASANÁS GONZÁLVEZ, Antonio.; ATAZ, Joan Sanz.; CAMPRUBI, Elisenda Taberna.; GALLEGÓ, Leopoldo Guerrero.; DIAZ, Juan Manuel Ortega. Predicción del ensuciamiento coloidal en sistemas de ósmosis inversa y nanofiltración. Aplicación del índice de atascamiento modificado (MFI). Disponível em:< <http://www.veoliawatertechnologies.es/vwst-iberica/ressources/documents/1/19856,AT-PREDICCION-4.pdf>> acesso em 20 set 2014.
9. CHERYAN, M. Ultrafiltration Handbook, Technomic Publishing Ind., p. 1-2, 1986
10. COHEN, R. D.; PROBSTEN, R. F. Colloidal fouling of reverse osmosis membranes. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 114, p. 194-207, 1986. Mensal
11. DIALYNAS, Emmanuel.; MANTZAVINOS, Dionissios.; DIAMADOPOULOS, Evan. Advanced treatment of the reverse osmosis concentrate produced during reclamation of municipal wastewater. *Water Research* v.42, p.4603-4608, 2008. Mensal.
12. FARIAS, Elizabeth L.; HOWE, Kerry J.; THOMSON, Bruce M. Effect of membrane bioreactor solids retention time on reverse osmosis membrane fouling for wastewater reuse. *Water Research* v.49, p.53-61, 2013. Mensal.
13. HO, W.S.Winston.; SIRKAR, Kamallesh K. Membrane Handbook, Part I and VI, Springer Science + Business Media, New York, 1992 reimpressão, Netherlands Kluwer Academic Publishers, 2001.
14. HUANG, R.R.; HOINKIS, J.; HU, Q.; KOCH, F., treatment of dyeing wastewater by fiber membrane microbiological reactor, *Desalination and Water Treatment*, v.11, p. 288-293, 2009. Mensal.

15. JEPSEN, P.; SHU, L.; KEIR, G.; JEGATHEESAN, V. Metal recovery from reverse osmosis concentrate. *Journal of Cleaner Production*, v.17, p.703-707, 2009. Mensal.
16. JOO, Sung Hee. Advanced treatment of reverse osmosis concentrate by integrated activated carbon and iron-activated persulfate oxidation. *Water Air Soil Pollut*, 225:2076, 2014. Mensal.
17. LEE, J.J. ; JOHIR K.H.; SHON, H.K.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J.; KIM, C.W.; SHAW, K. Novel pre-treatment method for seawater reverse osmosis: fibre media filtration. *Desalination*, Swansea, v. 250, p. 557-561, 2010. Mensal.
18. LEIKNES, TorOve., The effect of coupling coagulation and flocculation with membrane filtration in water treatment: A review. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, pg 8-12, 2009. Mensal.
19. LIN, Yi-Li.; CHIOU, Jheng-Hong.; LEE, Chung-Hsiang. Effect of silica fouling on the removal of pharmaceuticals and personal care products by nanofiltration and reverse osmosis membranes. *Journal of Hazardous Materials*, v. 277, p. 102-109, 2014. Mensal.
20. LIU, Meihong.; LÜ, Zhenhua.; CHEN Zhihai.; YU, Sanchuan.; GAO.; Congjie. et al. Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. **Desalination**, Swansea, v. 281, p.372-378, 2011. Mensal.
21. LÓPEZ-RAMÍREZ, Juan A.; OVIEDO, M. D. Coello.; ALONSO, J. M. Quiroga. Comparative studies of reverse osmosis membranes for wastewater reclamation. **Desalination**, Swansea, v. 191, p.137-147, 2006. Mensal.
22. McCABE. Warren L.; SMITH, Julian Cleveland.; HARRIOTT, Petter. Unit operations of chemical engineering 6th ed. McGrawHill, 2001.
23. MELO, Marcel.; SCHLUTER, Helga.; FERREIRA, Jailton.; MAGDA, Rosana.; JÚNIOR, Agenor.; AQUINO, Oswaldo de. Advanced performance evaluation of a reverse osmosis treatment for oilfield produced water aiming reuse. *Desalination*, Swansea, v. 250, p. 1016-1018, 2010. Mensal.
24. MOLINA, Verónica García.; CASANAS, Antonio. Reverse osmosis, a key technology in combating water scarcity in Spain. *Desalination*, Swansea, v.250, p.950-955, 2010. Mensal.
25. MOTTA, Albérico Ricardo Passos da.; BORGES, Cristiano Piacksek.; ESQUERRE, Karla Patrícia de Oliveira.; KIPERSTOK, Ascher.; FLORES, Rafaela Oliveira. Tratamento de efluentes oleosos por processos de separação por membranas visando o reúso: considerações experimentais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVII, 2013, Goiânia GO. Anais do XVII CBESA. 2013. Meio digital.
26. MULDER, Marcel. Basic Principle of Membrane Technology, Netherlands, Kluwer Academic Publishers Groups, 1996.
27. OLIVEIRA, Taísa Machado de.; BENATTI, Cláudia Telles.; CARVALHO, Roberto Bentes de.; TAVARES, Célia Regina Granhen.; SANTOS, Alessandra Zacarias dos. Membranas de microfiltração para o tratamento de águas cinzas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVII, 2013, Goiânia GO. Anais do XVII CBESA. 2013. Meio digital.
28. PARANA, Secretaria estadual de meio ambiente – SEMA. Resolução nº 21/2009 de 22 de abril de 2009 - Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_21\\_2009\\_LICENCIAMENTO\\_PADROES\\_AMBIENTAIS\\_SANEAMENTO.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf)> acesso em 20 abr 2014.
29. PEREIRA, Deybely Ilan dos Santos.; SILVA, Robson Rogaciano Fernandes da.; PESSOA, Julyanna Damasceno.; FERNANDES NETO, José Theódulo.; GUIMARÃES, Bruna da Silveira. ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA QUALIDADE DA ÁGUA ORIUNDA DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XII, 2014, Natal – RN Brasil. Anais do XII SIBESA. 2014. Meio digital.
30. PRANEETH K.; MANJUNATH D.; SURESCH K.; BHARGAVA, JAMES TARDIO, SRIDHAR S. Economical treatment of reverse osmosis reject of textile industry effluent by electrodialysis-evaporation integrated process. *Desalination*. Swansea. V 333, p. 82-91, 2014. Mensal.
31. QUEVEDO, Noelia.; SANZ, Joan.; LOBO, Amaya.; TEMPRANO, Javier.; TEJERO, Iñaki. Filtration demonstration plant as reverse osmosis pretreatment in an industrial water treatment plant. *Desalination*, Swansea, v.286, p. 49-55, 2012. Mensal.
32. QURESHI, Bilal A.; ZUBAIR, Syed M.; Sheikh, Anwar K.; BHUJLE, Aditya; DUBOWSKIY, Steven. Design and performance evaluation of reverse osmosis desalination systems: An emphasis on fouling modeling. *Applied Thermal Engineering*, v. 60, p. 208-217, 2013. Mensal.

33. ROVANI, Michele Zanin. Estudo da osmose inversa na produção de água desmineralizada para caldeiras. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da UFPR, 71f. Curitiba, 2012.
34. SANEPAR. Sanepar em Número. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros> Acesso em: 28 out 2014.
35. SCHNEIDER, René Peter.; TSUTUYA, Milton Tomuyuki. Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reúso. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001
36. SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. Indústrias de Processos Químicos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008
37. SILVA, Sidinei Kleber da.; MONTEIRO, Giovanna de Sousa.; SILVA, José Nilton.; FERREIRA, Brasileiro.; FRANÇA, Kepler Borges. Estudo do índice de densidade de sedimentos em águas oriundas de poços tubulares aplicadas a sistemas de dessalinização via osmose inversa. Centro científico conhecer – Enciclopédia Biosfera, Goiânia, Vol. 5, n.8, 2009.
38. SQUIRE, Deborah. Reverse osmosis concentrate disposal in the UK. Desalination, v. 132, p. 47-54, 2000. Mensal.
39. SUBRAMANI, Arun.; JACANGELO, Joseph G.. Treatment Technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review. Separation and Purification Technology, v. 122, p. 472-489, 2014. Mensal.
40. TAHERI, A.H.; SIM, S.T.V.; SIM, L.N.; CHONG, T.H.; KRANTZ, W.B.; FANE, A.G.. Development of a new technique to predict reverse osmosis fouling. Journal of Membrane Science, v. 448, p. 12-22, 2013. Mensal.
41. TAYLOR, J.S., JACOBS, E. P., Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevialle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes, pp. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.
42. VARGAS, Gabriela Marques dos Ramos. Investigação de alguns parâmetros operacionais e de rejuvenescimento na performance do processo de osmose reversa. Dissertação de mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2003.
43. WEI, Xiaozhu.; GU, Ping.; ZHANG, Guanghui. Reverse osmosis concentrate treatment by a PAC countercurrent four-stage adsorption/MF hybrid process. Desalination, Swansea, v.352, p. 18-26, 2014. Mensal.
44. WEF – Water Environment Federation. Membrane Systems for Wastewater Treatment. McGraw-Hill: Alexandria, Virginia, 2006
45. XU, Pei.; CAPITO, Marissa.; CATH, Tzahi Y. Selective removal of arsenic and monovalent ions from brackish water reverse osmosis concentrate. Journal of Hazardous Materials, v. 260, p 885-891, 2013. Mensal.
46. ZHU, Xiaohua.; ELIMELECH, Manachem. Colloidal fouling of reverse osmosis membranes: Measurements and fouling mechanisms. Environmental Science & Technology, v. 31, p.3654-3662, 1997. Mensal