



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 pocos.com.br

AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS OSMOSE REVERSA E ELETRODIÁLISE REVERSA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Luciana Ely Bacher⁽¹⁾; Carla Denize Venzke⁽²⁾; Alexandre Giacobbo⁽³⁾; Shaiane Tasquetto Pozzebon⁽⁴⁾; Cristiano de Oliveira⁽⁵⁾; Bruna Capellani Custódio⁽⁶⁾; Marco Antônio Siqueira Rodrigues⁽⁷⁾

(1)Doutoranda; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS; luciana_bacher@yahoo.com.br; (2) Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS; carladenize@gmail.com; (3)Pós-doutorando; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS; alexandre_giacobbo@yahoo.com.br; (4) graduanda em Engenharia Química; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS; shaiane.pozzebon@hotmail.com; (5)graduando em Farmácia Serviços de Água e Esgoto de Novo-Hamburgo-COMUSA; RS; cris_tiano@feevale.br; (6) graduanda em Engenharia Química; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS bruna_capellni@hotmail.com; (7)Professor Titular; Instituto de Ciência e Tecnologia; Universidade Feevale; Novo Hamburgo, RS; marcoantonio.marco@gmail.com

Eixo temático: Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos

RESUMO – Um sistema piloto de eletrodialise reversa (EDR), modelo EDR 0,25-100 1E 1s1e e um sistema piloto de osmose reversa (OR), foram instalados na estação de tratamento de água (ETA), localizada na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. O rio dos Sinos, o qual é um dos principais rios desta bacia, considerado um dos mais poluídos do Rio Grande do Sul, é responsável pelo abastecimento da ETA. Neste trabalho foi avaliada a água tratada de um sistema convencional ETA, após o tratamento de EDR e de OR. Na EDR, aplicou-se o potencial de 185 V com densidade de corrente elétrica de 0,14 mA.cm⁻² e vazão de produto de 250 L.h⁻¹. Para a OR, utilizou-se uma pressão de 5 bar, com vazão de rejeito de 5 L.min⁻¹. As tecnologias EDR e OR se mostraram eficientes para os parâmetros avaliados, onde na EDR obteve-se extrações acima de 80% para cálcio, potássio, condutividade. Na OR, as remoções foram acima de 80% para magnésio, nitrato, sulfato e potássio. As taxas de desmineralização (TD%) para EDR e OR foram de 75% e 92%, respectivamente.

Palavras-chave: Extração percentual. Abastecimento público. Bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Processos de separação por membranas.

ABSTRACT – An electro dialysis reversal pilot system (EDR) and a reverse osmosis pilot system (RO), were installed in a water treatment plant (WTP), located in the hydrographic basin of the Rio dos Sinos. The Rio dos Sinos, which is one of the main rivers in this basin and one of the most polluted of the state of Rio Grande do Sul, is responsible for supplying raw water to the WTP. It was evaluated the treated water by the conventional system of the WTP and one treated by EDR and RO. In



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.pocos.com.br

EDR was applied a potential of 185 V, current density of 0.14 mA.cm^{-2} and product flow rate of 250 L.h^{-1} . For RO, it was used a pressure of 5 bar, with a flow rate of 5 L.min^{-1} . The EDR and RO technologies have proven effective for the evaluated parameters, where the EDR extractions were above 80% for calcium, potassium, conductivity. In RO. removals rates were above 80% for magnesium, nitrate, sulfate and potassium. EDR and RO presented demineralization rate of 75% and 92%, respectively.

Key words: Percentage extraction. Public supply. River basin of the Rio dos Sinos. Membrane technology.

Introdução

Atualmente, a problemática da água é preocupação mundial, pois é um recurso natural e de fundamental importância para todo o planeta. Dessa forma, alternativas como a dessalinização surgem com a finalidade de tratar este problema (THAKUR et al., 2014). O Brasil, contudo, possui uma disponibilidade hídrica privilegiada, na qual 13% da água doce do planeta fazem parte do seu território (ANA, 2014). Apesar disso, com o déficit de saneamento básico, os despejos de efluentes domésticos e industriais degradam de forma alarmante nossos rios e bacias, o que nos remete a buscar soluções para este descaso.

O Rio dos Sinos, um dos principais rios da bacia hidrográfica do mesmo nome, hoje é considerado o mais poluído do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2009). Um triste fato, para um rio que é responsável pelo abastecimento de cerca de 1,2 milhões de habitantes, do Vale dos Sinos. Nesta região, a estação de tratamento de água municipal (ETA) capta a água proveniente do Rio dos Sinos. Esta empresa utiliza a forma de tratamento convencional (físico-químico), onde considerando a qualidade da água do Rio dos Sinos, em breve, este tratamento possa ser insuficiente para se obter a qualidade de água para o abastecimento.

Desta forma, as tecnologias de separação por membranas, como a osmose reversa (OR) e a eletrodialise (EDR) têm sido amplamente utilizadas para a produção de água potável a partir da água do mar e águas subterrâneas, obtendo por dessalinização, um nível de qualidade de água desejada (THAKUR et al., 2014; ZHANG et al., 2012).

A tecnologia de eletrodialise foi desenvolvida após a II Guerra Mundial, onde suas primeiras aplicações estão relacionadas à dessalinização de água do mar e produção de água potável (STRATHMANN, 1995). Já a primeira planta de tratamento de água, utilizando a EDR, foi instalada em Washington (EUA), em 1993, onde foi autorizado o estudo para determinar o custo efetivo e uma maneira de remoção de contaminantes, bem como melhorar a qualidade da água tratada (HAYS, 2000).

A EDR baseia-se na aplicação de diferencial de potencial elétrico entre dois eletrodos (cátodo e ânodo) para gerar um gradiente de potencial, onde os sais dissolvidos na forma iônica migram para os eletrodos de cargas opostas (GOODMAN et al., 2013). Os íons presentes na água são transportados através de



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.pocos.com.br

membranas íon-seletivas, que por ação de um campo elétrico, migram de uma solução para outra, originando duas novas soluções: uma mais diluída e outra mais concentrada (STRATHMANN, 1995; BERNARDES et al., 2008a; RODRIGUES et al., 2008).

A OR emprega uma membrana semipermeável que permite a passagem do solvente e ao mesmo tempo impede à passagem dos solutos, reduzindo significativamente a concentração dos contaminantes presentes na água (TANG et al., 2013).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação das tecnologias de separação por membranas a EDR e OR na água tratada da ETA, e verificar seu comportamento, bem como a extração percentual, a taxa de remoção dos íons e sua taxa de desmineralização.

Materiais e Métodos

Estação de Tratamento de Água Municipal (ETA)

A água bruta do Rio dos Sinos fornece a água para uma estação de tratamento de água municipal (ETA), localizada na região metropolitana de Porto Alegre no sul do Brasil. O mesmo é responsável pelo abastecimento de cerca de 1,2 milhões de pessoas. O sistema de tratamento de água da estação é efetuado de forma convencional. Primeiramente passa por um processo de coagulação/decantação e posteriormente filtração de areia e desinfecção. A EDR e a OR foram instaladas após a filtração de areia.

Eletrodíálise reversa (EDR) e osmose reversa (OR)

Os experimentos foram realizados em um sistema piloto de EDR da Hidrodex, modelo EDR 0,25-100 1E 1s1e, instalado na ETA, antes do processo de desinfecção. O *stack* contém 100 membranas, sendo 50 catiônicas (HDX -100), e 50 aniônicas (HDX-200), com área de membrana efetiva de 0,096m². O *stack*, também, é composto por espaçadores de polipropileno e dois eletrodos de titânio/platinizado. A EDR foi avaliada durante 30 dias em processo contínuo, operando com vazão de produto de 250L.h⁻¹ e com densidade de corrente em média de 0,14 mA.cm⁻². A EDR trabalha com tempo de reversão de 21 min, desta forma, diminui-se, assim, consideravelmente, as incrustações e polarização por concentração.

O sistema piloto de OR, instalado na ETA, é da marca PAM Membranas Seletivas, com capacidade produtiva de 250 L.h⁻¹, composto de um módulo de membrana da marca *Dow Filmtec Membranes*, modelo BW30-4040, com área de 7,2 m², cujo material de camada ativa é poliamida. O sistema foi avaliado durante 30 dias, operando com pressão de 5 bar e vazão de rejeito de 300 L.h⁻¹.

O desempenho dos sistemas de EDR e OR foram avaliados através da extração percentual (Ep%) e taxa de remoção (TR%) para nitrato, sulfato, cálcio, magnésio, potássio e sólidos totais, respectivamente. Segue as equações utilizadas:



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.pocos.com.br

$$Ep\% = (1 - C_f/C_i) \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

onde C_i e C_f , são as concentrações dos íons antes e depois do tratamento da EDR, respectivamente.

$$TR\% = (1 - C_f/C_i) \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Para avaliar a condutividade, nos dois sistemas, EDR e OR, utiliza-se a taxa de desmineralização (TD%), que calcula a quantidade de sais removidos, através da condutividade elétrica. Segue a equação utilizada.

$$TD\% = (1 - EC_f/EC_i) \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

onde EC_i e EC_f , são a condutividade da água em ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) antes e após os tratamentos de EDR e OR, respectivamente.

Os parâmetros avaliados foram: condutividade elétrica, sólidos totais, nitrato, sulfato, magnésio, cálcio, potássio e pH. As amostras foram analisadas por cromatografia iônica no equipamento Dionex – ICS 5000. Os parâmetros para a caracterização da água seguem a metodologia do *Standard Methods* (2005).

Resultados e Discussão

Caracterização físico-química da água antes e após o tratamento de EDR e OR

Alguns dos principais parâmetros foram avaliados da água coletada pela ETA, após passar pelos filtros de areia e após o tratamento da EDR e OR. Estes parâmetros estão demonstrados na tabela 1. Verifica-se um melhoramento da condutividade elétrica após o tratamento de EDR e OR, os pH apresentaram uma sensível diferença em relação a água filtrada.

Tabela 1. Média das características físico-química da água antes e após o tratamento de EDR e OR.

Parâmetros	Água Filtrada	EDR	OR
Nitrato (mg. L ⁻¹)	0,47	0,16	0,075
Sulfato (mg. L ⁻¹)	1,11	0,43	0,19
Cálcio (mg. L ⁻¹)	3,56	0,35	2,46
Magnésio (mg. L ⁻¹)	3,43	1,59	0,64
Potássio (mg. L ⁻¹)	1,98	0,30	0,38
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	95,06	23,07	6,72
Sólidos Totais (mg. L ⁻¹)	84,00	57,50	29,50
pH	6,82	5,59	5,93

Fonte: Os autores.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.pocos.com.br

Avaliação da EDR e OR

- Extrações Percentuais (Ep%), Taxas de Remoções (TR%) e Taxas de Desmineralização (TD%)

A Figura 1 apresenta as médias das Ep% da EDR, as TR% da OR e as TD% para EDR e OR.

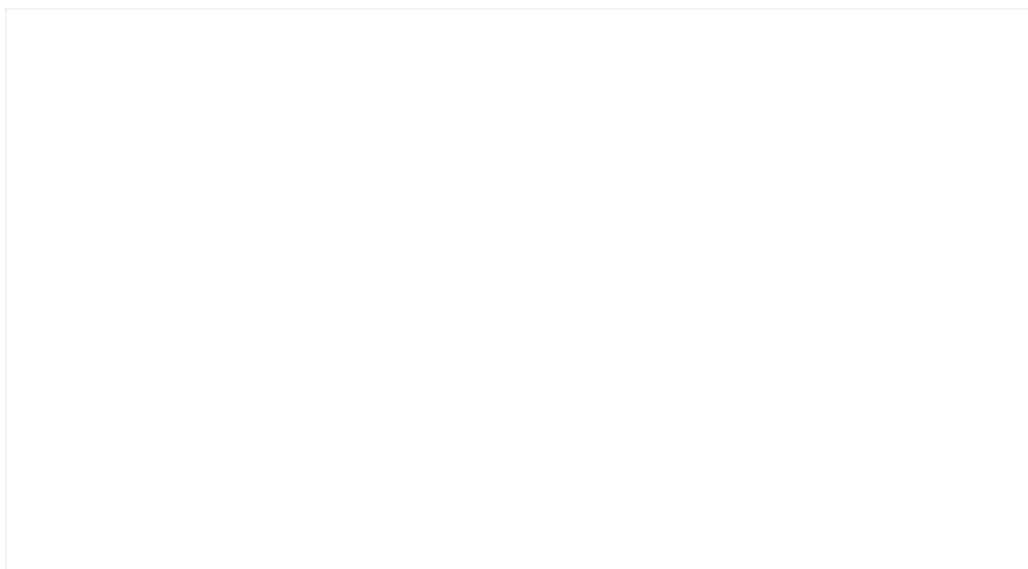


Figura 1 – Médias das Extrações Percentuais (Ep%) da EDR e Taxas de Remoção (TR%) da OR e Taxas de Desmineralização (TD%).

Fonte: Os autores.

Observa-se pela Figura 1 que houveram Ep% e TR% expressivas para a EDR e a OR, respectivamente. Para a EDR, as Ep% que se sobressaíram foram para os íons cálcio (88%), potássio (80%), nitrato (76%) e 75% de TD%. Goodman et al. (2013) encontraram para a EDR, 84% para cálcio e 72% de condutividade. Apenas para Sólidos Totais (ST), teve uma extração abaixo do esperado (31%).

Para os cátions Ca^{+2} , K^{+1} e Mg^{+2} , com raio iônico hidratado, respectivamente de 3,32 Å, 3,31 Å e 4,18 Å, nota-se que apesar da maior carga do Mg^{+2} em relação ao K^{+1} , o que permite uma maior ação no campo elétrico, e proporcionando, assim, uma maior migração, como o raio iônico hidratado do Mg^{+2} é maior que do Ca^{+2} , diminuindo assim sua mobilidade, conseqüentemente sua Ep% foi reduzida (DUKE et al., 2013; TANSEL, 2012; MACHADO, 2008; VALERO et al., 2014).

Para a OR, as TR% que tiveram maior eficiência foram os íons magnésio (89%), nitrato (83%), sulfato (82%) e potássio (80%).

Para a TD%, na OR, obteve-se remoções de 92% e 63% de ST, sendo que estes parâmetros, conforme, Suárez et al. (2014), estão diretamente relacionados com a quantidade de sais dissolvidos.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.meioambiente.pocos.com.br

- Comportamento da condutividade elétrica durante o experimento

Na Figura 2 demonstra-se as TD% ao longo dos trinta dias, comparando sua eficiência para as tecnologias EDR e OR em relação à água filtrada.

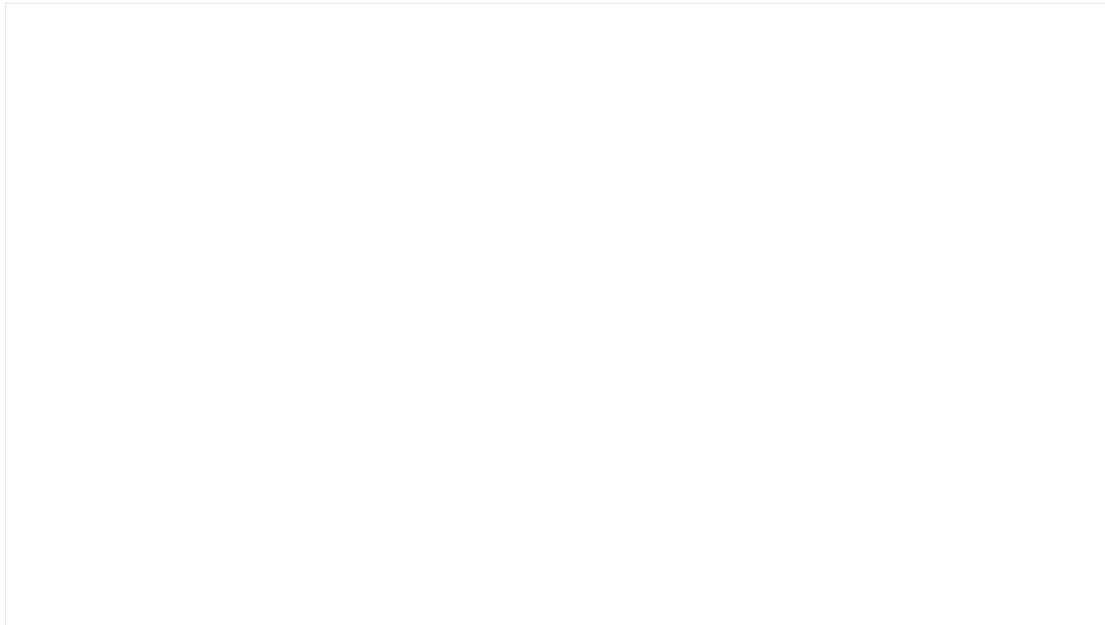


Figura 2 – Comportamento da condutividade elétrica ao longo do experimento.

Fonte: Os autores.

Observa-se a eficiência de ambas as tecnologias EDR e OR, havendo uma TD% em média para EDR de 75% e para a OR de 92%. Pode-se perceber que para a OR a remoção foi mais efetiva, sendo que na EDR, nota-se uma elevação na condutividade elétrica ao longo do experimento.

Já na OR, a condutividade elétrica se manteve de forma mais constante e com maior TD%. A condutividade elétrica é diretamente proporcional a concentração iônica. Embora não seja um parâmetro integrante do padrão de potabilidade de água no Brasil, é um indicador relevante na redução da concentração de sólidos dissolvidos.

Conclusões

As tecnologias EDR e OR se mostraram eficientes para os parâmetros avaliados, onde na EDR obteve-se extrações acima de 80% para cálcio, potássio e condutividade. Na OR, as remoções foram acima de 80% para magnésio, nitrato, sulfato e potássio. As TD% para EDR e OR foram de 75% e 90%, respectivamente.

As duas tecnologias são extremamente favoráveis para o uso no tratamento de água para o abastecimento, tendo que fazer apenas um ajuste no pH. No entanto, observa-se a necessidade de fazer uso de limpeza química nas



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.pocos.com.br

membranas da EDR e OR, periodicamente, para evitar possíveis incrustações nas mesmas.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento (FINEP, CAPES, SCIT/RS, CNPq e FAPERGS) pelo apoio financeiro.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Ed. especial, 2012. p. 215.

BERNARDES, A. M.; KORSENOWSKI, C.; RODRIGUES, M.A.; BRESCANI, L.; FERREIRA, J.Z. Purification of spent chromium bath by membrane electrolysis. *Journal of Materials*. v. 152, p. 960-967, 2008a.

DUKE, M.; ZHAO, D.; SEMIAT, R.; LU, M. *Functional Nanostructured Materials and Membranes for Water Treatment*. WILEY-VCH, 2013. 318 p.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, RS. Relatório da Qualidade da Água, 2009. Online. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp. Acesso em: 15 mai. 2015.

GOODMAN, N. B.; TAYLOR, R, J.; XIE, Z.; GOZUKARA, Y.; CLEMENTS, A. A feasibility study of municipal wastewater desalination using electro dialysis reversal to provide recycled water for horticultural irrigation. *Desalination*, v. 317, p. 77-83, 2013.

HAYS, J. Iowa's first electro dialysis reversal water treatment plant. *Desalination*. v. 132, p. 161-165, 2000.

MACHADO, M. B. Avaliação do processo de eletrodialise reversa no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo. 2008. 198 p. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais- PPGE3M. Porto Alegre.

SCHATZMANN, H. C. Tratamento avançado de efluentes de frigorífico de aves e o reuso da água. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STRATHMANN, H. Electro dialysis and related process. In: *Membrane Science and Technology*. v. 2, Cap. 6. p. 213-381, 1995.

SUÁREZ, A.; FIDALGO, T.; RIERA, F. A. Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis. Production of boiler water. *Separation and Purification Technology*, v. 133, p. 204-211, 2014.

TANG, F.; YING HU, H.; YUAN WU, Q.; TANG, X.; SUN, Y. X.; SHI, X. L.; HUANG, J. Effects of chemical agent injections on genotoxicity of wastewater in microfiltration- reverse



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 www.meioambiente.pocos.com.br

osmosis membrane process for wastewater reuse. *Journal of Hazardous Materials*, v. 260, p. 231-237, 2013.

TANSEL, B. Significance of thermodynamic and physical characteristics on permeation of ions during membrane separation: hydrated radius, hydration free energy and viscous effects, *Sep. Purif. Technol.* Elsevier, p. 119–126, 2012.

THAKUR, A. K.; SRIVASTAVA, N.; CHAKRABARTY, T.; REBARY, B.; PATIDAR, R.; SANGHAVI, R. J.; SHAHI, V. K.; GHOSH, P. K. An improved protocol for electro dialytic desalination yielding mineral-balanced potable water. *Desalination*, v. 335, p. 96-101, 2014.

VALERO, D.; GARCÍA-GARCÍA, V.; EXPÓSITO, E.; ALDAZ, A.; MONTIE, V. Application of electro dialysis for the treatment of almond industry wastewater. *Journal of Membrane Science*, v. 476, p. 580-589, 2014.

ZHANG, Y.; GHYSELBRECHT, K.; VANHERPE, R.; MEESCHAERT, B.; PINOY, L.; VAN DER BRUGGEN, B. RO concentrate minimization by electro dialysis: Techno-economic analysis and environmental concerns. *Journal of Environmental Management*. v. 107, p. 28-36, 2012.