

XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII
ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS

**APROVEITAMENTO E DESTINO DO CONCENTRADO DE PROCESSOS
DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

Daniel Brooke Peig¹ & Marcela de Paula Ramos²

Resumo – As tecnologias de separação por membranas (Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e Osmose Reversa) têm como característica inerente do processo a geração de uma corrente de água purificada, o permeado, e de outra corrente contendo os sólidos retidos, o concentrado. Questões relacionadas à destinação e tratamento do concentrado são recorrentes entre técnicos, engenheiros e empreendedores das áreas de saneamento ambiental e da indústria.

Ao contrário do lodo gerado em estações de tratamento de água e efluentes, o concentrado dos processos de membranas nem sempre é considerado um passivo, cujo tratamento e disposição requer altos investimentos e tecnologia de forma a atender os requisitos legais. O concentrado, em muitos casos, pode ser reaproveitado diretamente sem quaisquer prejuízos.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar as correntes de concentrado usualmente geradas em processos de separação por membranas apresentando alternativas de uso direto, tratamento e disposição de acordo com os requisitos da legislação ambiental vigentes. As possibilidades de aproveitamento foram levantadas em casos disponíveis na literatura técnica e publicações no Brasil e no exterior.

Abstract – The membrane separation technologies (Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration and Reverse Osmosis) have as an inherent process characteristic the output of a purified water stream, the permeate, and the output of another stream, that contains the retained solids, the concentrate. Issues related to the destination and treatment of the concentrate are discussed by the technicians, engineers and enterprisers of the sanitary environmental area and of the industry.

While the sludge generated at water and wastewater treatment plants require high investments and technology for the treatment and disposal fill the legal requirements, the concentrate of the

¹ Perenne S.A., Rua da Consolação, 247, 8º andar – São Paulo -SP - CEP: 01301-903 – Brasil, Tel: +55 (11) 3546-1800 , e-mail: daniel.peig@perenne.com.br

² Perenne S.A., Rua da Consolação, 247, 8º andar – São Paulo -SP - CEP: 01301-903 – Brasil, Tel: +55 (11) 3546-1800 , e-mail: marcela.ramos@perenne.com.br

membrane processes is not always considered a problem. The concentrate, in many cases, can be reused directly without harm.

This paper objective is to characterize the concentrate streams usually generated in membrane separation processes showing alternatives of direct use, treatment and disposition following the current environment legislation requirements. The possibilities of reuse were based on the available cases at the technical literature and in Brazilian and foreign publications.

Palavras-Chave – Membranas, Concentrado, Tratamento

INTRODUÇÃO

A tecnologia de membranas, em crescente expansão trouxe inúmeras vantagens com relação aos processos convencionais de tratamento de água, dentre elas a redução do consumo de produtos químicos se comparada à ETAs de clarificação por processos físico-químicos ou à desmineralização por troca iônica e a melhoria da qualidade do produto final através da aplicação do conceito das múltiplas barreiras.

Os processos de membranas utilizam o princípio de barreira passiva (European Membrane Society) e por não contarem com reações químicas de conversão de massa como os processos biológicos, acabam por gerar uma corrente de sólidos que garante o balanço de massa. Esta corrente de sólidos é denominada concentrado ou rejeito e, dependendo do processo pode chegar a volumes significativos devendo ser destinada de acordo com a legislação local vigente ou reaproveitada. Quanto maior a eficiência de conversão da água bruta em água tratada, mais concentrada torna-se a corrente ao mesmo tempo em que seu volume diminui.

Segundo a resolução CONAMA nº 357, são estabelecidos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água baseados em concentrações de diferentes poluentes. Um dos pilares das discussões entre técnicos sanitaristas e ambientalistas é o fato de que os processos de separação por membranas concentram poluentes naturalmente existentes em cursos de água e mananciais naturais, sem acrescentar quaisquer outros contaminantes. Quanto mais eficiente o processo de separação por membranas, menor o volume de concentrado gerado, porém maior o teor de sólidos, eventualmente ultrapassando os limites da portaria. Na prática, alguns produtos químicos adicionados durante a etapa de condicionamento da água como coagulantes, biocidas, cloro e antiincrustantes podem, em caso de dosagem elevada, mudar a composição desta corrente tornando-a imprópria para o lançamento em corpos de água.

Caracterizando corretamente as correntes de concentrado, torna-se possível encontrar uma destinação, tratamento ou reaproveitamento. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma caracterização geral das correntes de concentrado mais comuns encontradas em processos de separação por membranas e indicar as práticas que vem sendo adotadas para o seu aproveitamento ou descarte.

CARACTERIZAÇÃO DO CONCENTRADO

Atualmente em operação, existe uma grande diversidade de aplicações e processos de membranas. Cada aplicação conta com características exclusivas e específicas o que torna praticamente impossível o estabelecimento de uma solução única e genérica, aplicável em qualquer caso. De qualquer forma, é possível separar os processos de membranas com base no manancial ou fonte de origem e tecnologia adotada, apontando então diferentes alternativas de manejo, destinação ou tratamento para cada grupo.

De uma forma geral, os processos de membranas para tratamento de água mais utilizados podem ser divididos em dois grandes grupos. O primeiro grupo consiste dos sistemas cujo principal objetivo é a remoção de sólidos em suspensão e colóides da água, ou seja, a clarificação. Fazem parte deste grupo os processos de Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF). No Brasil os processos de clarificação por membranas ainda são pouco difundidos tendo a sua aplicação praticamente restrita ao mercado industrial em outros países, o saneamento é o principal consumidor.

O volume de concentrado produzido em sistemas de MF/UF, dependendo do regime de operação pode ser intermitente em função de operações de contralavagem ou contínuo no caso de operação com fluxo tangencial. É interessante colocar que a maioria dos processos de MF/UF utilizados na área de saneamento (Membranas de fibra oca) não requer coagulante ou, quando necessário, em pequenas doses (aprox. 1mg/L). Esta característica permite reduzir significativamente a emissão de sólidos na forma de lodo se comparado à algumas aplicações do processo de coagulação, decantação e filtração convencional.

O segundo grupo de processos trata dos processos capazes de remover compostos dissolvidos na água como a Osmose Reversa (OR) e a Nanofiltração (NF). A aplicação desta classe é voltada para a dessalinização de água do mar, remoção de metais pesados, abrandamento, produção de água ultra-pura e para alimentação de sistemas de vapor. No Brasil, o processo de Osmose Reversa é utilizado em larga escala na área de saneamento público para a dessalinização de poços de água salobra na região do semi-árido, alimentação de sistemas de vapor e produção de alimentos e bebidas.

A produção de concentrado em sistemas de Osmose Reversa e Nanofiltração é contínua e varia de acordo com a composição da água de alimentação. A limitação da recuperação é dada por dois fatores, a saturação dos sais que provoca precipitação de cristais na superfície da membrana colmatando-a e a pressão osmótica, no caso da água do mar, que influencia significativamente o consumo energético e conseqüentemente a viabilidade econômica do processo (FILMTEC, 2004).

Um conceito prático aplicável à determinação da composição do concentrado é o do fator de concentração. O fator de concentração (equação 1) representa quantas vezes a concentração de contaminantes na corrente de alimentação é multiplicada para atingir a concentração de contaminantes no permeado e pressupõe que sistema de membranas não modifica a composição dos sólidos, apenas a sua concentração, ou seja, não há transformações químicas. Este princípio pode ser aplicado com certa segurança em sistemas para o tratamento de água e efluentes permitindo uma verificação rápida do atendimento a requisitos de descarte como os estabelecidos pela resolução nº 357 do CONAMA para constituintes de interesse, além disso, foi referenciado pela IUPAC em 1996. Um sistema de Osmose Reversa, por exemplo, alimentado com 10mg/L de cloretos e fator de concentração igual a 4 produzirá uma corrente de concentrado com 40mg/L de cloretos.

$$FC = \left(1 - \frac{V_{prod}}{V_{alim}}\right)^{-1} \quad (1)$$

Aonde:

FC = Fator de concentração de contaminantes

V_{prod} = Volume total efetivo de água produzida, não inclui a água produzida que foi consumida em limpezas.

V_{alim} = Volume total de água que alimenta o processo.

A relação entre o volume de água efetivamente produzida (V_{prod}) e o volume de água total que alimenta o sistema (V_{alim}) é denominada recuperação (Y) de água ou fator de produção de concentrado. Através dela é possível estimar o volume de concentrado produzido.

O concentrado oriundo de cada um dos processos de separação, por sua vez, pode ser classificado de acordo com a origem da corrente e o fator de concentração do sistema. A tabela 1, abaixo, relaciona os principais processos de separação por membranas com as fontes de água, a recuperação e frações de sólidos. Foi elaborada com base em fatores de concentração e recuperação usualmente utilizados em projetos de estações de tratamento de acordo com a base de dados de sistemas instalados fornecidos pela Perenne Equipamentos e Sistemas de Água S/A.

Tabela 1 – Características dos concentrados gerados por processos de separação por membranas

Origem da água	Finalidade	Processo	FC	Y	Sólidos Dissolvidos (mg/L)		Sólidos Suspensos (mg/L)	
					Alimentação	Concentrado	Alimentação	Concentrado
Mar	Potabilidade	OR ¹	1,8	45%	36.000	64.800	0	0
Superfície	Potabilidade	UF/MF	20	95%	100	100	100	2.000
Superfície	Caldeiras	OR ¹	4	75%	100	400	0	0
Poços salobros de baixa vazão ²	Potabilidade	OR	1,4	30%	2.000	2.800	0	0
Poços salobros de alta vazão ³	Potabilidade	OR	5	80%	2.000	10.000	0	0
Efluentes secundários	Reuso não potável	UF/MF	5	80%	500	500	200	1.000

¹ Requer pré-tratamento por ultrafiltração (ver superfície/potabilidade) ou processos convencionais para a remoção de sólidos suspensos.

² Poços de até 4000L/h.

³ Poços com vazões superiores a 4000L/h

TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DO CONCENTRADO

Osiose Reversa de água do mar

O procedimento mais comumente adotado para descarte de efluente de Osiose Reversa é a emissão direta em água do mar. Este tipo de descarte ocorre principalmente pelo baixo custo e dos sistemas instalados ao redor do mundo. Produtos utilizados durante o pré-tratamento como anti-incrustantes, coagulantes, biocidas e cloro são considerados fatores complicadores para este tipo de prática (Morton et Al; 1996, Einav et Al; 2002).

O concentrado de Osiose Reversa, evidentemente pode conter sais em concentrações tóxicas para a vida marinha. A implantação de novas plantas de grande porte nos EUA, Austrália, Espanha e Oriente Médio tem sido considerada viável do aspecto ambiental desde que realizados estudos da pluma de dispersão e da zona de mistura limitando estas áreas de influência a poucos metros a partir do ponto de lançamento. Sistemas de difusores distribuídos têm sido adotados embora existam referências na literatura de injeção em poços submarinos (Torquemada, 2009). Vedavyasan (2008) também sugere a disposição submarina, realizada via uma longa tubulação, ao invés da disposição direta na costa.

Osmose Reversa de água salobra

Entre as referências de disposição de rejeito gerado por osmose reversa, a condição água de alimentação mais encontrada é de poços salobros para o abastecimento de populações urbanas e de pequenos vilarejos. Como as fontes de água salobra se encontram dentro dos continentes, fica inviável transferir o rejeito para descarte no oceano. A disposição do rejeito em águas de superfície é dificultada pelas leis locais que impedem concentrações de sais tão altas, principalmente considerando as classes dos rios em que estes produtos são lançados.

Uma das alternativas é a injeção do rejeito em poços profundos, que é restrita aos grandes projetos de dessalinização e depende das características de cada terreno. Tal prática é empregada na Flórida (EUA) e em diversos países do mundo para plantas de grande porte (acima de 1000 m³/h), porém devido a contaminação dos reservatórios de água potável, tal prática deve obedecer a requisitos legais (Mickley 2004). No Brasil não há referências de casos de injeção do concentrado em poços, todavia esta prática está prevista na resolução CONAMA n° 396/2008 desde que não implique na contaminação do aquífero ou alteração do enquadramento.

Outra alternativa para o reaproveitamento do concentrado é a disposição direta na superfície solo, que ocorre na forma de percolação em lagoas, irrigação e lixiviação em campos de pastagem. Soares et al (2006) aponta que a aplicação do rejeito em culturas ou na vegetação, mediante a aspersores ou por superfície, em substituição à água de melhor qualidade pode aumentar a conservação desta. Esta é, sem dúvida é a solução que vem sendo adotada em grande parte dos sistemas instalados na região do semi-árido Brasileiro. Resta, todavia, a dúvida referente aos danos que podem ser causados ao solo em decorrência deste tipo de prática por períodos prolongados.

Pode ser efetuada também a evaporação solar para cristalização dos sólidos dissolvidos. Esta opção se torna viável em instalações de dessalinização de pequeno porte localizadas no interior do continente, onde há grande taxa de insolação e o rejeito não pode ser transportado economicamente para o mar ou ser usado na agricultura (Soares et al 2006). Caso não existam contaminantes tóxicos no rejeito, os sólidos dissolvidos podem ser utilizados na agricultura, na indústria e no setor agropecuário.

O descarte em redes de esgotos depende do volume e da composição do rejeito e pode requerer pré diluição e pré tratamento. É o segundo método mais utilizado para descarte do rejeito nos EUA (Mickley 2004). Em Nederlof et AL (2004) é descrito o descarte do rejeito na estação de tratamento de água Schiermonnikoog, Holanda, onde é aplicada a nanofiltração para o tratamento de água salobra subterrânea com altos valores de cor e altos valores de dureza. A vazão máxima de alimentação da instalação é de 22,5 m³/h e operada com 80% de taxa de recuperação. Por ser

gerado apenas 5 m³/h de rejeito, o concentrado pode ser descartado no sistema de esgoto, sendo que o ferro presente no rejeito auxilia na remoção de fosfatos na estação de tratamento de efluentes local sem alterar o enquadramento do efluente.

Como alternativa de descarte do rejeito no nordeste brasileiro, Amorim et al (2004) sugere a utilização do rejeito líquido para criação de Tilápia koina (*Oreochromis sp.*). Os peixes são criados por um período de seis meses em um tanque com água de rejeito de osmose reversa de água salobra. Pelo estudo ficou comprovado que além da sobrevivência dos peixes (dentro dos padrões de cultivo), houve a engorda e reprodução dos mesmos. A criação de tilápias em água de rejeito de osmose reversa também tem como vantagem a melhora do sabor dos peixes, pesquisado por Porto et al (1997). Outras opções para a disposição de concentrados, propostas por Soares et al (2006), são a criação de camarão, cultivo de erva-sal (*Atriplex Mummularia*), mudas cítricas e porta-enchertos e o retorno do concentrado ao poço de abastecimento. Obviamente, estas alternativas são limitadas a vazões pequenas.

Osmose Reversa alimentada por águas de superfície para processos industriais

Um assunto que vem sendo discutido como solução para os problemas com a disposição de rejeitos industriais provenientes dos tratamentos de águas em membranas é o conceito de descarte nulo de líquido ou ZLD (Zero Liquid Discharge). Para a viabilização desse processo se torna necessário a utilização de um pré tratamento da água de alimentação eficiente, aumentando assim durabilidade das membranas. Em uma planta de desmineralização o descarte nulo pode ser obtido por uma combinação entre pré tratamento da alimentação com uma taxa de recuperação de 99% e a evaporação no fim do processo (Heijman and Sheng Li et al; 2006). As variáveis afetam a performance e os custos de um sistema de ZDL são o fluxo de concentrado, a salinidade, a composição química e o local onde será executada (Mickely 2006).

É interessante colocar que estas etapas adicionais de tratamento influenciam significativamente no custo de capital da planta tendo sido este o principal empecilho para a sua viabilização. No Brasil, quando não reutilizado, o concentrado usualmente tem sido misturado com outras correntes de efluentes industriais e tratado para a remoção de compostos biologicamente degradáveis. Como a presença de compostos degradáveis é muito baixa assim como a salinidade do concentrado (< 1000 mg/L) é possível o descarte direto desde que atendidos os requisitos de neutralização de pH.

Existe uma grande tendência, no Brasil para reuso do concentrado da Osmose Reversa em processos que requerem água em condições menos restritivas. Dentre eles: Torres de resfriamento, lavagem de matéria prima, lavagem de peças, bacias sanitárias, irrigação de jardins ornamentais,

limpeza de pisos e equipamentos. Em alguns casos o próprio concentrado atende aos requisitos de potabilidade da portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde em virtude das etapas de pré-tratamento que removem com eficiência vírus, bactérias e clarificam a água a patamares de turbidez inferiores a 0,5 NTU.

Ultrafiltração de água de superfície e efluentes

Segundo Schneider et al. (2001), o rejeito dos sistemas de ultrafiltração e microfiltração é composto pelos sólidos suspensos nas águas de retrolavagem e os efluentes da lavagem química. Enquanto os efluentes da lavagem química ocorrem em pequeno volume e são normalmente lançados na rede coletora de esgotos, os resíduos da retrolavagem são gerenciados da mesma forma que os resíduos de filtros de plantas convencionais, ou seja, através de processos tradicionais de tratamento de lodo ou descarte direto.

Tratamentos do rejeito antes da disposição

Para saber se o rejeito dos processos de tratamento de águas por membranas sofre algum tratamento antes de ser descartado, Mickley (2006) realizou um estudo nos Estados Unidos para levantar quais os tratamentos pelos quais o concentrado passa antes de ser descartado. Um resumo dos resultados deste trabalho encontra-se abaixo nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2- Tipos de tratamento do rejeito originado por Microfiltração e Ultrafiltração antes da disposição nos EUA, segundo Mickley (2006)

Sistema	Disposição	Sem tratamento	Sedimentação	Ajuste de pH
Microfiltração	Águas Subterrâneas	55%	-	-
	Rede de esgoto	10%	5%	-
	Solo	10%	-	10%
	Recirculação	5%	5%	-
	Total Microfiltração	80%	10%	10%
Ultrafiltração	Águas Subterrâneas	11%	11%	11%
	Rede de esgoto	22%	-	-
	Solo	22%	-	-
	Recirculação	22%	-	-
	Total Ultrafiltração	78%	11%	11%

Tabela 3 - Tipos de tratamento do rejeito originado por Osmose Reversa antes da disposição nos EUA, segundo Mickley (2006)

Sistema	Disposição	Sem tratamento	Aeração	Desgaseificação	Desinfecção
Osmose Reversa	Águas Subterrâneas	42%	10%	3%	3%
	Rede de esgoto	29%	-	-	-
	Poço profundo	4%	3%	1%	1%
	Evaporação em lagoa	4%	-	-	-
	Total Osmose Reversa	79%	13%	4%	4%

Tabela 4 - Tipos de tratamento do rejeito originado por Nanofiltração antes da disposição nos EUA, segundo Mickley (2006)

Sistema	Disposição	Sem tratamento	Ajuste de pH	Air Stripping	Defoaming	Desinfecção
Nanofiltração	Águas Subterrâneas	6%	-	6%	-	-
	Rede de esgoto	25%	6%	-	6%	-
	Poço profundo	38%	-	-	-	6%
	Reúso na planta	-	6%	-	-	-
	Total Nanofiltração	69%	13%	6%	6%	6%

CONCLUSÕES

Assim como qualquer processo de tratamento de água, as membranas produzem resíduos na forma de correntes de sólidos concentrados que devem ser reaproveitados ou, em último caso, dispostos de forma correta. O concentrado tem características muito distintas de acordo com a tecnologia selecionada e as condições de qualidade do manancial requerendo estudo individual para o seu aproveitamento.

Em grande parte das aplicações, a legislação atual Brasileira permite o descarte em corpos de superfície ou a injeção em poços, todavia, cada vez mais, órgãos públicos e indústrias têm despertado interesse para os custos da água e disposição voltando-se para aplicações de reuso direto ao mesmo tempo em que tem descartado alternativas de pós-tratamento em função dos custos envolvidos.

Com base nas características da água de alimentação e nas condições do processo, é possível estimar com boa precisão a concentração e volume de concentrado permitindo a avaliação de soluções de reuso antes da implantação do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IUPAC Terminology for membrane process, 1996

AHMED, M. ; SHAYYA W. H.; HOEY D.; AL-HANDALY, J. Brine disposal from reverse osmosis desalination plants in Oman and the United Arab Emirates. *Desalination*, Amsterdã, v. 133, p. 135-147, 2001.

AHUJA, N. and HOWE, K.J. Strategies for Concentrate Management From Inland Desalination. Chapter 28 in *Membrane Treatment for Drinking Water & Reuse Applications: A Compendium of Peer-Reviewed Papers*. Edited by Dr. Kerry J. HOWE. AWWA, Denver, CO, 2006.

AMORIM, M. C. C.; Porto, E. R.; Araújo, O. J.; Silva Júnior, L. G. Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (*Oreochromis* sp.). <http://www.cepis.ops-oms.org/indexpor.html>. 10 Jul. 2004

EINAV, R.; HARUSSI, K; PERRY, D. (2002) The footprint of the desalination processes on the environment, *Desalination* 152: 141-154.

HEIJMAN, S.G.J., LI, S., DIJK, J.C. VAN,, “Treatment concept for future drinking water production”, Proceedings WQTC conference, Denver, 2006.

MICKLEY, M. C. Membrane concentrate disposal: practices and regulation. Denver: U.S. Department of the Interior. (Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No.69). <http://www.usbr.gov/pmts/water/media/pdfs/report069.pdf>. 10 de jul. 2004a

MICKLEY, M. C. Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulations. Denver: US Department of the Interior (Desalination and Water Purification Research and Development Program Report N° 123), 2006.

MORTON, A.J.; CALLISTER, I.K.; WADE, N.M. (1996) Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes, *Desalination* 108: 1-10.

NEDERLOF, M. M.; VAN PAASSEN, J.A.M.; JONG, R. Nanofiltration concentrate disposal: experiences in the Netherlands. *Desalination*, Amsterdã, v. 178, p. 303-312, 2005.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; ARAUJO, O.J.; JUNIOR, L.G.A.S. Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. 1º Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-árido brasileiro. Petrolina, p. 17-21, 1997.

SCHNEIDER, R.P.; TSUTIYA, M.T. Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso. 1º Ed. – São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 234p, 2001.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S.N. e SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de desalinização por osmose reversa. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.03 p. 730- 736, Campina Grande, 2006.

TORQUEMADA, Y.F.; LIZASO, J.L.S. Mixing behavior of brine discharge from a SWOR desalination plant.; IDA World Congress 2009

VEDAVYASAN, C.V. Concentrate Handling – New challenges ahead. AMTA-SEDA Conference - Naples 2008