

I-180 - ESTUDO DO DESEMPENHO DA DESSALINIZAÇÃO ATRAVÉS DE SISTEMA DE NANOFILTRAÇÃO EM ÁGUAS SALOBRAS

Weruska Brasileiro Ferreira⁽¹⁾

Professora efetiva da Universidade Estadual da Paraíba do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande, Mestre pela Universidade Federal de Campina Grande e Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba.

Thyago Albuquerque⁽²⁾

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba.

Maniza Sofia Monteiro Fernandes⁽³⁾

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Especialista pela Fundação Universitária de Apoio Ensino e Extensão- FURNE, mestrando em Engenharia Química pela Universidade Federal da Campina Grande.

José Raniery Rodrigues Cirne⁽⁴⁾

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, mestrando em Engenharia Sanitária, pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Kepler Borges França⁽⁵⁾

Professor efetivo da Universidade Federal de Campina Grande do Departamento da Engenharia Química.

Endereço⁽¹⁾: Rua Baraúnas- 351- Bairro Universitário – Campina Grande- Paraíba - CEP: 58429-500 - Brasil- Tel: +55 (83) 3315-3333 - Fax: +55 (83) 3315-3333 - e-mail: weruska_brasileiro@yahoo.com.br

RESUMO

O problema da escassez da água no mundo já foi bem diagnosticado, configurando-se como um dos grandes desafios para o século 21. Problema multifacetado e que envolve há décadas vários setores da sociedade, reveste-se de características dramáticas em algumas regiões do Brasil, como é o caso do semiárido. A carência hídrica é um dos principais problemas para a sobrevivência e melhoria da qualidade de vida das populações que vivem na região semiárida do Nordeste, que muitas vezes tem como única fonte hídrica disponível águas subterrâneas salobras necessitando efetuar a dessalinização para ter acesso à água potável. A técnica mais utilizada na região semiárida para dessalinizar as águas salobras é através do processo de separação de membranas de osmose inversa. Contudo, este processo traz alguns problemas de ordem ambientais devido à geração de um resíduo líquido de alto teor salino com elevado potencial de provocar danos ao meio ambiente em especial o solo quando lançado inadequadamente e possui o maior custo energético dentre os sistemas de separação por membranas por operarem com pressões elevadas. Assim, este trabalho visa avaliar o desempenho de um sistema de nanofiltração associado com membranas de microfiltração para remoção de sais em águas salobras. O sistema de nanofiltração utilizado neste estudo é composto por dois elementos de membranas, sendo um de nanofiltração e o outro de microfiltração, a água que alimentava o sistema era oriunda de um poço tubular localizado na comunidade Uruçu no município de São João do Cariri, Paraíba, que continha 1.524,8 mg/L de sais dissolvidos. Foram analisados entre vários parâmetros físico-químicos da água permeada para determinar as taxas de rejeição de sais que o sistema obteve avaliando cada constituinte que provoca a salinidade na água, alcançando taxas de rejeição superiores a 75% para a maioria dos sais presentes e com eficiência de remoção da dureza total de 92%. Dessa forma conclui-se que a tecnologia de nanofiltração pode ser utilizada para dessalinizar água, desde que essa concentração de sal não ultrapasse a capacidade que a membrana tem para rejeitar. Reduzindo com isso os custos para dessalinizar quando comparado com o processo de osmose inversa.

PALAVRAS-CHAVE: Águas salobras, Separação por membranas, Dessalinização, nanofiltração, menor custos.

INTRODUÇÃO

No Brasil a maior parte do semiárido do Nordeste cerca de 600.000km² é constituída por terrenos cristalinos. A associação nesta região com as baixas precipitações, distribuição irregular das chuvas, cobertura vegetal esparsa, especialmente no bioma caatinga, favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Assim, no cristalino do semiárido brasileiro, os poços de águas subterrâneas muito comumente apresentam vazões entre 1 e 3 m³.h⁻¹ e

elevado conteúdo salino geralmente acima dos padrões de potabilidade. Apesar disso, diversas comunidades do interior do Nordeste têm esses poços como a única fonte hídrica de abastecimento disponível.

Diante da deficiência em recursos hídricos superficiais, poderiam optar pela extração de água do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m³ de água por ano, segundo estudos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

Porém, devido às estas características geológicas juntamente com as condições climáticas, além de ações antrópicas, muitos destes aquíferos apresentam águas impróprias para consumo humano devido aos altos teores de sais. Pois, conforme Baretta (2008), a concentração média de sólidos totais dissolvidos nos aquíferos cristalinos que estão presentes na região semiárida do Nordeste é de 2.719 mg.L⁻¹. Logo, para que estas águas possam ser utilizadas para o consumo humano, faz-se necessária a utilização de processos de dessalinização. No entanto, a tecnologia dominante para dessalinização da água na região semiárida é o processo por separação de membranas via osmose inversa.

Diante das características de salinidades das águas subterrâneas do semiárido brasileiro, que podem trazer diversos males à saúde, como problemas renais, hipertensão arterial, diarreia e devido ao sabor salgado na água estes fatores favorecem a ocorrência de problemas de ordem sanitária. Uma vez que, a população poderá ser forçada a ir à busca de outras fontes de águas não seguras que poderão ter outros tipos de contaminantes potencializando a propagação de diversas doenças de veiculação hídricas.

Em geral, quando não há outra opção viável e segura de dispor de água doce, dessalinizar água salobra dos aquíferos subterrâneos é uma solução desejável, a dessalinização por osmose inversa é uma das técnicas mais econômicas, já que o custo de energia é reduzido, pois, não ocorre mudança de fase como os processos de dessalinização por evaporação. Atualmente o processo por separação de membranas por osmose inversa é a tecnologia dominante para dessalinização da água na região semiárida, estima-se que existem mais de 3000 dessalinizadores por osmose inversa instalado no Nordeste para dessalinização de águas salobras.

O processo fundamentalmente consiste em pressurizar a água salobra circulando por cima da superfície de membranas seletivas acomodadas em módulos e que praticamente só deixam permear a água com mínimas concentrações de sais. Esta é recolhida como um filtrado, para distribuição ao usuário. O sal retido se concentra na corrente que não passa pela membrana, sendo esta recolhida para descarte ou aproveitamento posterior (como, por exemplo, em tanques de criação de peixes). Os principais fatores técnicos determinantes da eficiência do processo são: a qualidade da água salobra disponível, seu pré-tratamento, o tipo de membrana e as condições operacionais (HABERT *et al.*, 1997).

O processo de Osmose inversa é uma alternativa aos processos disponíveis de dessalinização, como a troca iônica e a evaporação, além de ser o mais econômico dentro do campo de aplicação. Como no caso da troca iônica e da evaporação, é utilizado para obtenção de água com alto grau de qualidade, atuando como uma barreira para a maioria dos sais dissolvidos ou moléculas inorgânicas e orgânicas com massa molecular superior a cem. A taxa de rejeição de sais pode variar de 95% a mais de 99%, dependendo do tipo de membrana utilizada, da concentração de sais dissolvidos na corrente processada, do tipo de substância envolvida e das condições operacionais do sistema (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

O processo de separação por membranas de osmose inversa é adequado para tratar águas cuja concentração de sais dissolvidos varia de 5,0mg/L até 34.000mg/L. Com uma recuperação superior a 90% em relação ao volume alimentado ao sistema. Entretanto, a recuperação de água permeada no sistema chega ao máximo de 75%, e a pressão de operação do sistema pode variar de 3,4 a 150 bar, o que torna o processo de osmose inversa o mais dispendioso em termos energético dentre os processos de separação por membranas.

Além do custo energético outra preocupação com o sistema de osmose inversa é a geração de resíduos líquidos, os quais são águas com elevada salinidade, tornando-se um poluente ambiental, que quando lançadas no solo a médio e longo prazo poderá acarretar erosão e infertilidade do solo.

Já os processos de separação por membranas através dos sistemas de nanofiltração podem remover compostos orgânicos de massa molecular variando entre 250 e 1000g/mol e alguns sais, geralmente bivalentes. Isso se deve

porque a porosidade de suas membranas são maiores do que as do processo de osmose inversa, permitindo que sais e moléculas de baixa massa molecular passem junto com a água (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Os processos de nanofiltração operam com uma pressão inferior aos processos de osmose inversa, variando de 5 a 35 bar o que reduz seus custos operacionais.

Estes sistemas funcionam de forma adequada como abrandadores, sem causar os problemas de poluição associados aos processos convencionais, com a vantagem da possibilidade de remoção de compostos orgânicos (OSMONICS, 1997).

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de nanofiltração com membranas de microfiltração para remoção de sais em águas salobras, objetivando diminuir os custos operacionais nos processos de dessalinização de águas salobras.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de referência em dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande.

Para este estudo foi utilizado para alimentar o sistema de nanofiltração água subterrânea oriunda de um poço tubular localizado no semiárido da Paraíba na comunidade de Uruçu do município de São João do Cariri com características salobras impróprias para consumo humano e para determinados usos industriais, necessitando assim a implantação de um sistema de dessalinização.

O sistema de nanofiltração utilizado nessa pesquisa era composto: por uma membrana de microfiltração do tipo fibras ocas para pré-tratamento físico com dimensão de 6" de diâmetro e 14 m² de área, desenvolvida pela PAM e a membrana de nanofiltração modelo NF70 – 4040 da *Dow Chemical Company – Filmtec*, com área de 21m². O sistema de racalque era constituído por: uma bomba de baixa pressão modelo CAM-W4C da DANCOR com potência de 1/4 CV, para retro lavagem do sistema; uma bomba multiestágios, de alta pressão modelo *Booster* da DANCOR com potência de 3/4 CV, para alimentação do elemento de membrana da nanofiltração. 06 manômetros que apresentam faixa de leitura de (0,0 a 20,0) Kgf.cm⁻². Um sistema para pré-tratamento físico com finalidade de remoção dos sólidos em suspensão físico composto por um filtro de polipropileno expandido, para garantir uma melhor performance das membranas de microfiltração e nanofiltração, todo sistema esta ilustrado na Figura 1.

Todas as análises físico-químicas seguiram as metodologias estabelecidas pelo *STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*.

Foram coletadas águas em três pontos para se realizar as análises físico-químicas e com o intuito de avaliar o desempenho do sistema de nanofiltração, os pontos determinados para estudos foram: no tanque de alimentação (antes de entrar no sistema), na saída da do permeado (após permear pela membrana de nanofiltração) e na saída da do concentrado. A coleta das amostras foi realizada em recipientes de polietileno com capacidade de 2 litros, que foram analisadas em triplicatas.

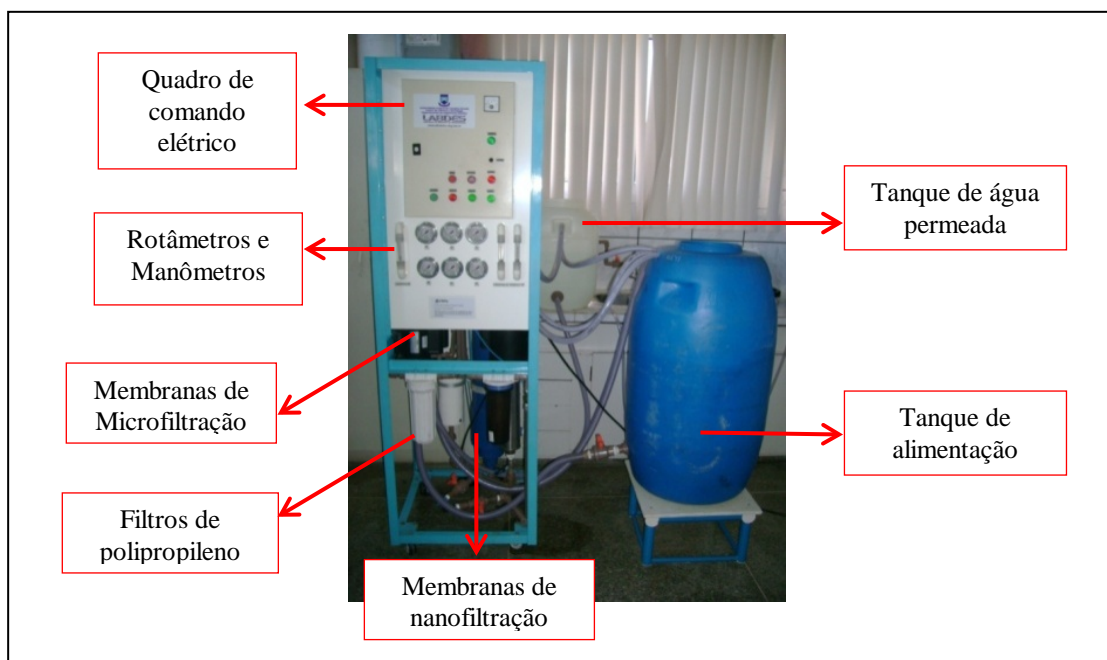


Figura 1 - Sistema de nanofiltração com membrana de microfiltração

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com esta pesquisa são pertinentes ao sistema de membranas de nanofiltração tendo como fonte hídrica de alimentação água salobra oriunda de um poço tubular do semiárido da Paraíba.

Para realizar uma melhor e eficaz comparação da eficiência do sistema para as águas analisadas, foi elaborada a Tabela 1 que apresenta as taxas de rejeição para diferentes constituintes químicos presentes na água em estudo.

O sistema obteve uma eficiência excelente na remoção da dureza em cálcio, bem como na dureza devido ao magnésio de acordo como mostra a Tabela 1, consequentemente a remoção da dureza total também apresentou um ótimo desempenho. Salientando que, a água do poço em estudo apresentava valor de dureza total de $413,5 \text{ mg.L}^{-1}$, classificando assim a água em questão como muito dura e após a permeação no sistema de nanofiltração o valor da dureza total obteve uma alta redução atingindo o valor de $29,5 \text{ mg.L}^{-1}$ passando a se classificar como água mole, conforme mostra a Tabela 2. No que se refere à remoção da alcalinidade devido aos carbonatos presente na água do poço em estudo verificou-se também ótima performance na remoção desse parâmetro atingindo 100% de remoção, conforme consta na Tabela 1. Com relação aos sólidos dissolvidos totais foi verificado bom desempenho na remoção dos mesmos, atingindo eficiência de remoção de 83,2%, como está apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Taxa de rejeição do sistema para diferentes parâmetros e amostras

PARÂMETROS	ÁGUA DO POÇO TUBULAR
Condutividade Elétrica ($\mu\text{mho.cm}$)	82,30%
Potencial Hidrogeniônico, pH	Início 8,4 e final 7,2
Turbidez (uT)	75,00%
Cor (mg Pt-Co/L)	50,00%
Dureza em Cálcio (mg.L^{-1})	92,43%
Dureza em Magnésio (mg.L^{-1})	93,15%
Dureza Total (mg.L^{-1})	92,87%
Sódio (mg.L^{-1})	79,90%
Potássio (mg.L^{-1})	80,43%
Ferro Total (mg.L^{-1})	50,00%
Alcalinidade em Hidróxidos (mg.L^{-1})	A água de alimentação não apresentava
Alcalinidade em Carbonatos (mg.L^{-1})	100,00%
Alcalinidade em Bicarbonatos (mg.L^{-1})	88,30%
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	88,96%
Sulfato (mg.L^{-1})	89,55%
Fósforo Total (mg.L^{-1})	6,67%
Cloreto (mg.L^{-1})	79,39%
Nitrito (mg.L^{-1})	0,00%
Amônia (mg.L^{-1})	100,00%
Sílica (mg.L^{-1})	87,32%
Total de Sólidos Dissolvidos (mg.L^{-1})	83,62%

Tabela 2- Valores de dureza antes e depois de permear pelo sistema de nanofiltração

Amostras	Parâmetro (mg.L^{-1})	Resultado Antes do Sistema	Resultado Depois do Sistema	Eficiência do Sistema (%)
Água do Poço de Uruçu	Dureza em Cálcio (Ca^{++})	60,8	4,6	92,43
Água do Poço de Uruçu	Dureza em Magnésio (Mg^{++})	62,8	4,3	93,15
Água do Poço de Uruçu	Dureza Total (CaCO_3)	413,5	29,5	92,87

Para o parâmetro cloreto, o sistema apresentou eficiência na remoção de 79,39% (Tabela 1), cabe ressaltar que a salinidade das águas salobras na região semiárido do Nordeste, se deve principalmente a presença de cloretos. Enfatizando que, água do poço em questão apresentava valores impróprios para consumo humano de acordo com a Portaria de potabilidade nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, após a mesma ser permeada pelo sistema de nanofiltração os valores da concentração de cloretos passaram a atender aos padrões de potabilidade em vigência. Assim sendo, o sistema de nanofiltração para remoção de sais na forma de cloretos mostra-se eficiente, evitando utilizar processos de membranas mais dispendiosos como o processo de osmose inversa ou eletrodialise, pois, é conhecido que estes processos consomem mais energia principalmente o sistema de osmose inversa por operar com pressões superiores a 60 atm.

Outro parâmetro importante que se deve considerar e que houve uma redução após permeação da água, foi a redução do ferro total, que atingiu uma remoção de 50% (Tabela 1). Assim, é importante enfatizar essa melhoria na água permeada. Uma vez que, que muitas águas subterrâneas apresentam elevados teor de ferro e manganês como ocorre nos lençóis freáticos dos estados do Maranhão e Minas gerais, podendo dessa forma ser

uma alternativa atraente para o tratamento dessas águas, evitando o uso de agentes químicos para oxidação dos referidos metais.

Na remoção de sódio o sistema apresentou boa performance como pode ser verificado na Tabela 3. Uma vez que, na água de alimentação do referido sistema o parâmetro sódio apresentou valores acima dos padrões de potabilidade requeridos pela Portaria N° 2914/11 MS, atendendo a referida legislação após permeação pelo sistema de nanofiltração.

Assim sendo, a água salobra do poço tubular em estudo que apresentava alguns parâmetros físico-químicos como: Ferro, sódio, cloreto e sólidos totais dissolvidos fora dos padrões de potabilidade requeridos pela Portaria N° 2914/11 MS. Porém, após permeação pelo sistema de tratamento por membrana de nanofiltração, estes parâmetros passaram a atender aos padrões de potabilidade ora em vigência tornando a água apta para consumo humano e sem onerar o custo de tratamento, pois, dessa forma pode diminuir os custos com a dessalinização de água salobra.

Assim, percebe-se que o processo de nanofiltração é excelente para remoção dos sais causadores de dureza, que poderá ser muito útil para substituir os processos de abrandamento que utilizam resinas ou mesmo os sistemas de osmose inversa para obter águas com baixos valores de dureza. Convém ressaltar, que a redução da dureza em águas é muito utilizada nos processos industriais principalmente os que operam com caldeiras. Desta forma, o sistema de nanofiltração poder ser uma alternativa para redução dos custos energéticos quando substituir o processo de osmose inversa, além da diminuição dos resíduos quando for uma alternativa para as resinas trocadoras iônicas.

Tabela3- Valores de sódio, cloreto e total de sólidos dissolvidos antes e depois de permear pelo sistema de nanofiltração

Amostras	Parâmetro (mg .L ⁻¹)	Resultado Antes do Sistema	Resultado Depois do Sistema	Eficiência do Sistema (%)
Água do Poço de Uruçu	Sódio	357,3	71,8	79,90
	Cloreto	530,4	109,3	79,39
	Total de Sólidos Dissolvidos	1524,8	249,7	83,62

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo conclui-se que:

- O sistema de nanofiltração foi eficaz na redução da dureza total.
- O processo de separação por membranas de nanofiltração reduziu a concentração de cloretos na água do poço em estudo para valor abaixo do padrão estabelecido pela Portaria n° 2914/11.
- O STD também sofreu redução significativa diminuindo assim o teor de sais totais dissolvidos oriundos da água do poço em estudo.
- A remoção do Ferro total nesse sistema de membranas em estudo foi satisfatória.
- A água salobra que não atendia aos padrões de potabilidade após permeação pela membrana de nanofiltração atingiu as concentrações preconizadas pela Portaria n° 2914/2011 do MS.
- Como a nanofiltração opera com pressões mais baixas, assim corrobora com assertiva que requer menos energia elétrica, portanto o processo em estudo obtém um melhor custo-benefício, em relação à osmose inversa, para tratar águas salobras, sendo capaz de remover sais e de potabilizar águas salobras.
- O processo de nanofiltração pode ser alternativo para os processos tradicionais de abrandamento como as resinas de troca iônica com a vantagem que os processos de nanofiltração reduz drasticamente a produção de resíduos líquidos, os quais são gerados durante a regeneração das resinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRETA, S. Estudo do aproveitamento econômico do rejeito de dessalinizadores e avaliação de tecnologias de tratamento de águas subterrâneas no trópico semiárido. Relatório final (CNPq), p .49, 2008.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, 14 dez, 2011.
3. FILMTEC, Tech Manual, Dow Chemical Company, 1995.
4. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. Processos de separação com membranas. Escola Piloto em Engenharia Química. COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química. Rio de Janeiro, 1997.
5. MIERZWA, J.C.; HESPAÑHOL, I. Água na indústria – Uso racional e reúso. São Paulo. Oficina de textos, 2005.
6. OSMONICS, E. Pure water handbook. 2.ed. Minnetonka: Osmonics Inc., 1997.
7. SOARES, T. M.; SILVA, I.J.D.; DUARTE, S.N.; SILVA, E.F.F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V10, p. 730-737, 2006.
8. SILVEIRA, M. C., Avaliação de sistema híbrido para dessalinização de águas salinas pelo processo de osmose inversa. UFPB, Campina Grande – PB, 1999. 201p Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).