

# ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE LITERATURA

Juliana Ferreira Bezerra Moccock <sup>1</sup>, Clarissa Nogueira Pessoa <sup>2</sup>, Ângela Tainá da Silva Monteiro <sup>3</sup>, Antônio Sérgio Caseira Gonçalves Torres <sup>4</sup>, Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Recife (PE). [jfbm@poli.br](mailto:jfbm@poli.br)

<sup>2</sup> Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Recife (PE). [clarissanp@gmail.com](mailto:clarissanp@gmail.com)

<sup>3</sup> Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Recife (PE). [monteiro.ats@gmail.com](mailto:monteiro.ats@gmail.com)

<sup>4</sup> Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Recife (PE). [sergiotorres@compesa.com.br](mailto:sergiotorres@compesa.com.br)

<sup>5</sup> Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Recife (PE). [emilia.rabbani@upe.br](mailto:emilia.rabbani@upe.br)

Os dessalinizadores têm sido adotados com cada vez mais frequência haja vista que as medidas convencionais, tais como construção de cisternas e açudes, não têm sido suficientes para suprir o consumo humano durante o período da estiagem. Este trabalho teve como objetivo comparar os tipos de dessalinizadores. Para tanto, foi feita uma ampla compilação de vários trabalhos das literaturas nacional e internacional disponíveis em bases de dados sobre a dessalinização e os tipos de dessalinizadores. Consideraram-se as vantagens e desvantagens, com o objetivo de identificar qual as principais características de cada método de dessalinização. Através da vasta revisão bibliográfica, foi possível identificar as principais características dos métodos de dessalinização. Dentre as tecnologias estudadas, cada uma se destaca em um meio diferente como água do mar ou poços, apresentando vantagens e desvantagens únicas. Portanto, a utilização de uma ou outra deve ser analisada caso a caso. Em comum, todas elas apresentam um grande consumo de energia elétrica, sendo este insumo o maior responsável direto pelo preço da água dessalinizada. A osmose reversa é tida como a melhor solução na maioria dos casos. É importante salientar que a dessalinização das águas é uma solução para o abastecimento de comunidades cuja relevância deverá se acentuar nos próximos anos, face à carência crescente de água potável no mundo.

**Palavras-Chave:** dessalinização; semiárido brasileiro; alternativas sustentáveis.

## INTRODUÇÃO

A crise hídrica no Brasil sempre foi uma realidade. Contudo, nos últimos anos, observa-se um agravamento deste cenário devido ao crescimento populacional aliado a uma maior frequência dos períodos de estiagem. Unindo-se a este fator, boa parte da água é utilizada sem racionalidade, desde o âmbito domiciliar, industrial e agrícola.

Além disso, há altos níveis de perdas que ocorrem durante a distribuição dela pelas concessionárias. Para se ter uma ideia, no Brasil, em 2013 esse índice chegou a 37%, contra 20% na Inglaterra, 7% na Alemanha e apenas 3% no Japão (Asta, 2015).

No semiárido brasileiro, a falta de água para o consumo humano deve-se a fatores naturais: baixo índice pluviométrico, temperaturas médias elevadas e irregularidade espacial e temporal na distribuição das chuvas (Rocha, 2008). Uma alternativa encontrada para driblar a carência hídrica e abastecer pequenas comunidades na região foi a perfuração de poços para exploração de águas subterrâneas.

Entretanto, muitas vezes a água encontrada nesses poços é imprópria para o consumo humano devido a problemas de salinidade. É neste contexto que entram os métodos de dessalinização.

A humanidade usa técnicas de dessalinização de águas há milhares de anos. Freire et al. (2015), apontam que há evidências do uso durante o império greco-romano, onde os navegadores usavam evaporação e condensação da água do mar para consumo em suas viagens, e que essa civilização também usava filtros de barro como forma de reter o sal.

Mesmo assim, a capacidade de dessalinização da humanidade ainda não foi capaz de comparar a feita pela natureza. Os mesmos autores afirmam que, através do ciclo da água do planeta, o conjunto oceanos/sol se constitui na maior usina de dessalinização que opera na planeta: quando o sol esquentar a água dos mares, ele provoca a sua evaporação. A aplicação desses processos não está restrita a apenas água dos mares e oceanos, mas também de fontes salobras. Nessas fontes, as águas têm concentrações de sal entre a doce e a dos mares. Isto pode acontecer em reservatórios subterrâneos em região semiáridas, por exemplo.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) lançou em 2004 o Programa Água Doce (PAD), cujo objetivo é investir em sistemas de dessalinização para abastecer populações em comunidades do

semiárido no Nordeste e no norte de Minas Gerais, onde a disponibilidade hídrica é baixa e a salinidade das águas subterrâneas é elevada. Segundo o Ministério do Meio Ambiente:

Visa o estabelecimento de uma política pública permanente de acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, promovendo e disciplinando a implantação, a recuperação e a gestão de sistemas de dessalinização ambiental e socialmente sustentáveis para atender, prioritariamente, as populações de baixa renda em comunidades difusas do semiárido (Brasil, 2016?).

Os dessalinizadores têm sido adotados com cada vez mais frequência haja vista que as medidas convencionais, tais como construção de cisternas e açudes, não têm sido suficientes para suprir o consumo humano durante o período da estiagem. Diante disso, esse trabalho tem por objetivo fazer um estudo comparativo entre os métodos de dessalinização empregados de modo a identificar o mais vantajoso.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho foi um estudo de uma compilação de vários trabalhos das literaturas nacional e internacional disponíveis em bases de dados sobre a dessalinização e os tipos de dessalinizadores. Consideraram-se as vantagens e desvantagens, com o objetivo de identificar qual as principais características de cada método de dessalinização.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Através da vasta revisão bibliográfica, foi possível identificar as principais características dos métodos de dessalinização. Tais métodos são divididos em muitos trabalhos da literatura em dois subgrupos: os processos térmicos e os processos por membranas.

Na dessalinização térmica, a água é evaporada e, em seguida, sofre condensação. Essa técnica pode ser usada em conjunto com vários tipos de coletores solares, como placa plana e tubo evacuado (Chandrashekara & Yadav, 2017). Entre alguns dos processos de dessalinização térmica estão a destilação de múltiplos estágios (MSF), a destilação de múltiplos efeitos (MED) e a destilação compressão de vapor (VC).

Nessa categoria, também se encontra a Destilação Solar (SD). Nesse processo, a água é armazenada em tanques de material transparente. A luz solar atravessa o material do recipiente e a água é aquecida e, então, evaporada. Ao condensar-se na parte interna do vidro, a água escorre e recolhida num compartimento.

O processo MSF envolve o aquecimento da salmoura seguido de destilação em flash de múltiplos estágios e posterior recuperação de calor. Assim, essa técnica tem três seções importantes: aquecedor de salmoura, seções de rejeição de calor e recuperação de calor (Bandi et al., 2016). Esse método tem sido usado por muitos anos e agora é o maior setor da indústria de dessalinização sendo responsável por mais de 56% do total de água doce produzida pelas tecnologias de dessalinização (Tayyebi & Alishiri, 2014).

De acordo com Dastgerdi et al. (2016), o processo MED inclui um conjunto de estágios (efeitos), um condensador e subsistemas para recolher a água de alimentação salina e uma fonte de calor (geralmente água líquida quente ou vapor) de modo a coletar e remover a salmoura concentrada. O vapor gerado primeiro estágio será utilizado para aquecer de forma indireta a água no segundo evaporador, e assim sucessivamente.

Por fim, o vapor do último evaporador será utilizado para pré-aquecer a água bruta, que entrará no primeiro evaporador (Sampaio, 2016). Assim como no processo MSF, é utilizado vácuo para reduzir a temperatura de ebulição da água.

Quanto ao princípio de funcionamento do processo VC, como mostra Sampaio (2016), há duas formas distintas de operação nessa técnica: a compressão do vapor pode ser feita por meio de um compressor mecânico (MVC) ou podem ser adicionadas pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejetor (TVC).

Quanto aos processos de dessalinização por membranas, os principais são a osmose reversa (RO) e a eletrodialise (ED). A RO é um processo por membrana onde um fluxo de alimentação flui sob pressão através de uma membrana semipermeável, separando duas correntes aquosas, uma rica em sal e o outro pobre em sal. Como explicam Mathioulakis et al. (2007), a água passará através da membrana quando a pressão aplicada é maior que a pressão osmótica, enquanto o sal é retido. Como resultado, um fluxo com baixa concentração de sal é obtido e uma salmoura concentrada permanece no lado da alimentação.

Já a ED é um processo movido à eletricidade onde uma solução iônica é bombeada através membranas de troca de ânions e cátions dispostas em um padrão alternado entre um ânodo e um cátodo. Ainda de acordo com Mathioulakis et al.; (2007), esse fenômeno resulta em concentração de íons em compartimentos (compartimento do concentrado ou salmoura), enquanto outros compartimentos simultaneamente se esgotam (compartimento diluído).

Comparando-se RO e ED, pode-se dizer que na osmose reversa, a água é transportada através da membrana e os eletrólitos são retidos, enquanto que na eletrodialise, os eletrólitos são transportados através da membrana e a água é parcialmente retida (Baker apud Mathioulakis et al., 2007).

O Quadro 1 traz um resumo dos resultados encontrados na literatura. Consideram-se para comparação as vantagens e desvantagens de cada processo.

Quadro 1. Vantagens e desvantagens de cada processo de dessalinização

Processo	Vantagens	Desvantagens
Destilação de múltiplos estágios	Maior pureza da água (Dastgerdi et al., 2016).	Processo mais caro (Dastgerdi et al., 2016).
Destilação de múltiplos efeitos	Opera em altas temperaturas (Bandi et al., 2016).	Necessita de área de transferência de calor adicional (Bandi et al., 2016).
Compressão a vapor	Utiliza o princípio de redução da temperatura do ponto de ebulição através da redução de pressão (Sampaio, 2016).	É operado com energia elétrica (Sampaio, 2016).
Osmose reversa	As vantagens são possuir baixo custo de investimento; baixo consumo energético; ocupa área muito reduzida para instalação; aproveitamento dos efluentes; qualidade constante da água produzida; processo contínuo; possui flexibilidade para futuras instalações; o processo consegue tratar 99,4% do volume de água encaminhado ao dessalinizador (Moura et al., 2008).	A principal desvantagem do processo de osmose reversa é gerar líquidos de rejeito com elevadas concentrações de sais minerais (Ribeiro et al., 2016).
Eletrodialise	Trata-se de uma tecnologia de separação que, em geral, não envolve mudança de fase, o que significa uma economia no consumo de energia, principalmente se comparado aos processos tradicionais (Silva et al., 2010).	Desperdício de energia provocado pelo aquecimento das próprias membranas, altos níveis de energia necessárias para a prática da eletrodialise (Souza, 2002).

## CONCLUSÕES

Dentre as tecnologias citadas, cada uma se destaca em um meio diferente como água do mar ou poços, apresentando vantagens e desvantagens únicas. Portanto, a utilização de uma ou outra deve ser analisada caso a caso. Em comum, todas elas apresentam um grande consumo de energia elétrica, sendo este insumo o maior responsável direto pelo preço da água dessalinizada.

A osmose reversa é tida como a melhor solução na maioria dos casos, incluindo a utilização em poços artesianos. Este método é referência atualmente para qualquer novo projeto e é considerado aquele que utiliza a tecnologia com maior potencial de desenvolvimento e aplicação. Esse tipo de equipamento de dessalinização é bastante instalado no Brasil, e se confirmou através dos resultados dessa pesquisa como o método mais vantajoso.

O sistema de osmose reversa produzirá sempre a água potável, mas também produz água residuária (rejeito, salmoura ou concentrado). Desse modo, o sistema de tratamento de água por osmose reversa traz uma preocupação referente à deposição ou reutilização da água de rejeito. Estudos sobre a disposição adequada desse rejeito, a fim de evitar impactos negativos no meio ambiente, estão sendo realizados, como os de Silva & Texeira (2011), Vale & Azevedo (2013), e Ribeiro et al. (2016). É importante salientar que a dessalinização das águas é uma solução para o abastecimento de comunidades cuja relevância deverá se acentuar nos próximos anos, face à carência crescente de água potável no mundo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asta, Eduardo. Água no Brasil. Folha de São Paulo. <http://www1.folha.uol.com.br/infograficos/2015/01/118521-agua-no-brasil.shtml>. 2015
- Bandi, C. S.; Uppaluri, R. e Kumar, A. Global Optimization of MSF seawater desalination processes. *Desalination*, vol. 394, p30-43. Set., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.04.012>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Água Doce. [2016?]. <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>.
- Chandrashekar, M e Yadav, A. Water desalination system using solar heat: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, p1308-1330. Jan., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.058>
- Dastgerdi, H. R.; Whittaker, P. B e Chua, H. T. New MED based desalination process for low grade waste heat. *Desalination*, vol. 395, p.57-71. Out., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.022>
- Freire, E. M.; Marco, F. S. Di e Martins, V. de A. P. Análise comparativa da viabilidade ambiental, financeira, comercial e tecnológica entre métodos de dessalinização. 2015. Monografia (Graduação). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- Mathioulakis, E.; Belessiotis, V e Delyannins, E. Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination*, vol. 203, p346-365. Fev., 2007. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.531>
- Moura, J.P.; Monteiro, G.S.; Silva, J.N.; Pinto, F.A. e França, K.P. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semiárido nordestino. 2008. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008.
- Ribeiro, L.; Sanches-Pagliarussi, M. e Ribeiro, J. Reutilização da sobra de água permeada e de rejeito de uma central de tratamento de água por osmose reversa de uma unidade de hemodiálise hospitalar. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, vol. 10, n. 3, p. 259-272. Set., 2016. <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n3>
- Rocha, Thelma Soares da. Avaliação da qualidade das águas dos poços tubulares da bacia do rio do peixe equipados com dessalinizadores, com vistas ao aproveitamento econômico dos sais de rejeito. 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Salvador, 11 de junho de 2008.
- Sampaio, C. M. dos S. Dessalinização da água através de painéis solares fotovoltaicos. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade de Aveiro. Aveiro, 2016.
- Silva, J. I. S. Da; Melo, E. J. De e França, K. B. Obtenção de água para fins de análises através de um sistema composto por membranas eletrodialíticas e resinas trocadoras de íons. 2010. Anais do L Congresso Brasileiro de Química. Cuiabá, 2010. <http://www.aquimbrasil.org/congressos/2010/arquivos/T51.pdf>
- Souza, Luiz Faustino de. Análise térmica de um dessalinizador de múltiplo efeito para obtenção de água potável. 2002. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2002.
- Tayyebi, S. e Alishuri, M. The control of MSF desalination plants based on inverse model control by neural network. *Desalination*, vol. 333, p. 92-100. Jan., 2014. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.11.022>
- Teixeira, E. P e Silva, P. B. da. Reuso da água do rejeito de um tratamento de osmose reversa de uma unidade de hemodiálise hospitalar: estudo de caso. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*, vol. 4, n. 4, p.42-51. 2011.
- Vale, M. B. e Azevedo, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. *Holos (on-line)*, vol. 3, p181-195, 2013. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481548605015>