

Dessalinização: Uma Solução Potencial para a Aridez no Nordeste do Brasil

DOI: 10.5281/zenodo.14010359

Hellen Ferreira da Silva ^{a*}

Converting seawater into potable water is an effective strategy for utilizing marine resources and can be particularly valuable for arid regions with water scarcity issues, such as the Brazilian Northeast. This study presents and examines various desalination techniques, assessing their applicability in the region, as well as their impacts.

Converter água salgada em água potável é uma estratégia eficaz para aproveitar os recursos do mar e pode ser particularmente valiosa para regiões áridas com problemas hídricos, como o Nordeste brasileiro. Este estudo apresenta e examina diversas técnicas de dessalinização, avaliando sua aplicabilidade na região, além de seus impactos.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: hellenferreiradf@gmail.com

Palavras-chave: água; dessalinização; osmose reversa; nordeste brasileiro.

Recebido em 09 de setembro de 2024,
Aprovado em 16 de outubro de 2024,
Publicado em 31 de outubro de 2024.

Introdução

A seca no Nordeste brasileiro é um problema persistente e amplamente discutido, afetando significativamente a vida das pessoas na região devido à escassez de água. Embora o Nordeste possua consideráveis reservas de água subterrânea,¹ essas águas frequentemente são salobras ou impróprias para consumo direto. Neste contexto, o presente estudo explora a dessalinização como uma solução potencial para o semiárido brasileiro, examinando suas técnicas e avaliando a eficácia do processo de dessalinização da água. O estudo analisa os impactos, custos e aplicações existentes desta tecnologia, comparando-a com outras técnicas de abastecimento de água.²

As secas são fenômenos naturais extremamente severos, que são gradualmente influenciados pelas características fisiográficas da região. Quando essas secas ocorrem em áreas habitadas, podem causar danos materiais e até mesmo perdas humanas. O fenômeno da estiagem, é atualmente considerado um dos desastres naturais mais frequentes e impactantes no mundo. Isso se deve ao fato de que a seca pode durar longos períodos e afetar grandes extensões de território. Além disso, as secas tendem a se agravar devido ao aquecimento global e às mudanças climáticas.²

Os primeiros registros de seca na região Nordeste do Brasil datam do século XVI.² Esse evento climático tem se repetido ao longo dos séculos, causando impactos significativos na vida das pessoas e nas atividades produtivas da região, especialmente na pecuária e na agricultura.

A escassez de água não está apenas relacionada à falta de água para necessidades básicas, mas também à qualidade da água disponível.³ Nesse contexto, a dessalinização surge como uma alternativa promissora para garantir o abastecimento de água doce.

Embora o planeta Terra seja frequentemente chamado de "planeta azul" devido à sua superfície ser 70% coberta por água, a maior parte dessa água é salgada e não é potável. A água doce, por sua vez, é encontrada principalmente em geleiras, rios, lagos e lençóis subterrâneos, resultando em uma quantidade limitada e desigual de água potável disponível.⁴

A dessalinização é um processo físico-químico que remove o sal e outras substâncias minerais da água salgada para torná-la potável.⁴ A água inicial pode ser proveniente do mar, de fontes de água salobra ou de água com alta carga de impurezas.

Diante do cenário de secas recorrentes e severas no Nordeste brasileiro, que têm impactado profundamente a vida das pessoas e a economia local,¹ a dessalinização surge como uma alternativa crucial para enfrentar a escassez de água. Com a crescente demanda por água potável e a degradação dos recursos hídricos naturais, a capacidade de transformar água salgada e salobra em água potável torna-se uma solução cada vez mais relevante. A dessalinização, embora com custos e desafios associados, oferece uma possibilidade real de suprir as necessidades básicas de água em regiões áridas.

Metodologia

Este estudo teve como base uma revisão bibliográfica abrangendo artigos científicos, dissertações e livros. A busca foi feita em sites como Google Acadêmico, Scopus e Periódico CAPES, utilizando as seguintes palavras chaves: “dessalinização”; “nordeste brasileiro”; “Impactos Ambientais” e “Crise Hídrica”. Foram selecionados os trabalhos dos últimos 10 anos visando informações atualizadas. O objetivo deste estudo foi realizar uma análise descritiva das principais técnicas de dessalinização e avaliar seus potenciais benefícios e desafios, com foco na sua aplicação no contexto da crise hídrica do Nordeste brasileiro.

Para a elaboração do artigo em referência,⁴ foi realizada uma busca em diversas bases de dados, incluindo artigos de revisão, dissertações, monografias e livros, nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola. Através de plataformas de pesquisa como Google Acadêmico, assim como a agência governamental *United States Bureau of Reclamation*, Associação Espanhola de Gerenciamento de Projetos e Engenharia (AEIPRO), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), o acervo da Marinha do Brasil, artigos de universidades federais e livros que abrangem assuntos como as Operações Unitárias.

Foram selecionados trabalhos publicados nos últimos vinte anos para garantir informações mais seguras, com algumas exceções de pesquisas fundamentais mais antigas que se mantêm com informações relevantes. A análise dos artigos selecionados focou na identificação dos métodos utilizados e na avaliação de como esses métodos podem ter influenciado os resultados obtidos. O objetivo era verificar a consistência entre os métodos empregados e as conclusões apresentadas pelos autores.

Resultados e discussão

Toda dessalinização segue os mesmos princípios, o sistema é alimentado com água salina pré-tratada, alguma energia é aplicada ao sistema, sendo ela térmica, mecânica ou elétrica. Depois disso, duas correntes são produzidas uma de água potável e uma de água concentrada com sais e após isso a água fresca passa por um pós-tratamento para garantir boas condições de consumo.⁶

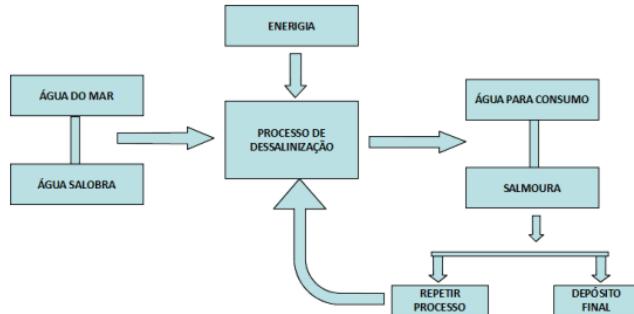
O pré-tratamento envolve a remoção de gases como o dióxido de carbono (CO₂) e impede que as substâncias normalmente presentes na água bruta tenham perdas de desempenho ou redução na quantidade de água produzida

durante a operação normal da estação. No processo de dessalinização por destilação, os maiores pontos de atenção são: a corrosão dos componentes da planta, as incrustações na superfície dos tubos trocadores de calor, a erosão das partículas sólidas em suspensão e os efeitos específicos de outros constituintes. O pós-tratamento tem o objetivo de finalizar o preparo da água para o uso a ser destinado, no qual esse processo visa o cumprimento das normas de conformidade regulatórias.⁵

Figura 1. Linha de tratamento da água. Extraído da referência 6.

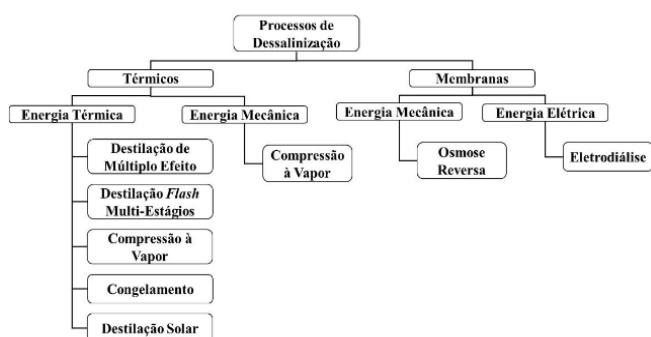


Figura 2. Princípio de dessalinização da água. Extraído da referência 6.



Cada processo de dessalinização é caracterizado pela formação de fase sendo eles, térmicos, onde há mudança de fase e os de membrana, onde não há mudança de fase. Dentre esses são classificados de acordo com a energia aplicada, térmica, mecânica ou elétrica.⁶

Figura 3. Diagrama contendo a classificação dos processos de dessalinização. Extraído da referência 8.

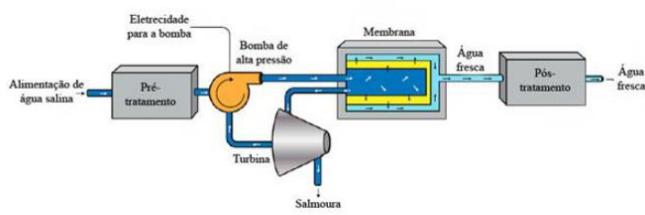


A escolha da tecnologia depende da qualidade da água a ser processada, da frequência de execução do processo e do custo envolvido. O fator determinante para a escolha do método é a qualidade da água. A seguir está exposto métodos de análise de como cada um desses processos pode contribuir para a produção de água doce, que é definida como água livre de sais, embora ainda não esteja pronta para o consumo.⁸

Osmose Reversa (OR)

Durante a osmose, a água se move do meio menos concentrado para o mais concentrado, igualando seus potenciais químicos. No entanto, na osmose reversa, ocorre o oposto: a água é forçada a passar do meio mais concentrado para o menos concentrado. Este processo é realizado por meio de uma membrana semipermeável, que permite a passagem da água, mas retém os sais e outras impurezas. Como resultado, a água que passa pela membrana se torna livre de sais, enquanto a água restante, que não atravessou a membrana, tem uma concentração de sal aumentada. Esta técnica é amplamente utilizada na dessalinização devido à sua eficácia na produção de água potável a partir de água salgada.⁸

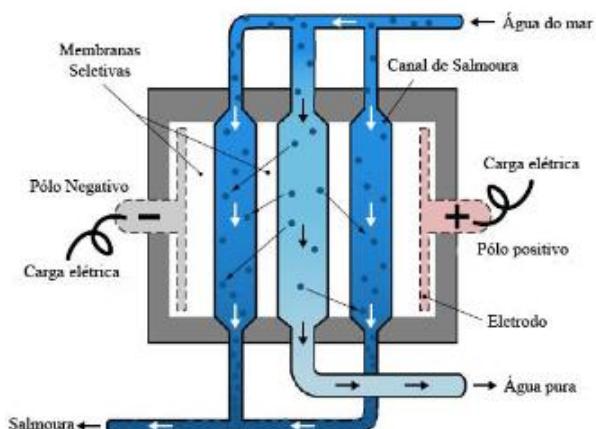
Figura 4. Diagrama esquemático de uma unidade de Osmose Reversa. Extraído da referência 8.



Eletrodiálise

O processo em questão utiliza um potencial elétrico para conduzir seletivamente íons através de uma membrana, resultando na obtenção de água doce. Nesse método, eletrodos são conectados a uma fonte externa de corrente contínua e ao recipiente contendo a água salgada, que está equipada com uma membrana seletiva de íons. Essa configuração cria canais através dos quais a água salobra flui. Com os eletrodos eletricamente carregados, os íons de sal positivos são atraídos para a membrana permeável a cátions e movem-se em direção aos eletrodos negativos, enquanto os íons de sal negativos atravessam a membrana permeável a ânions em direção ao eletrodo positivo. Esse processo resulta na remoção dos íons de sal da água, reduzindo sua salinidade e produzindo água mais pura.⁸

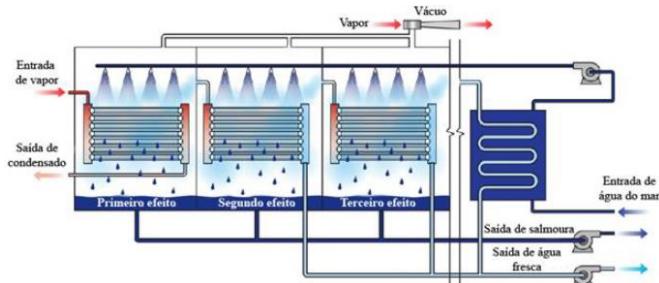
Figura 5. Diagrama esquemático de uma unidade de Eletrodiálise. Extraído da referência 8.



Destilação de múltiplo efeito

O processo de destilação de múltiplo efeito (MED) começa com a aspersão de água salgada fria sobre um conjunto de tubos aquecidos. Parte da água evapora e fornece calor para o próximo estágio do processo. A água que não evapora desce para o fundo e é bombeada para o segundo efeito, iniciando o segundo ciclo do MED. Esse processo é repetido em cada novo efeito, com a pressão e a temperatura diminuindo progressivamente a cada etapa. Calor externo é continuamente fornecido para elevar a temperatura da salmoura no primeiro efeito, permitindo que a evaporação e a transferência de calor ocorram de maneira eficiente ao longo dos estágios subsequentes.⁸

Figura 6. Diagrama esquemático de uma unidade de Destilação de Múltiplo Efeito. Extraído da referência 8.

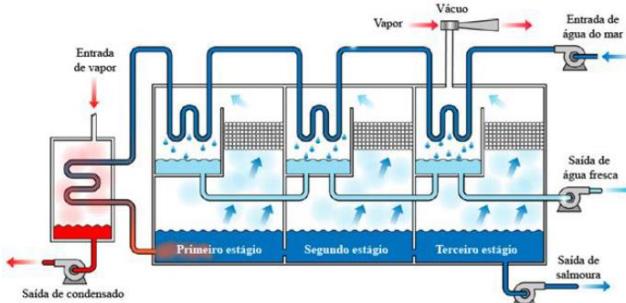


O MED adapta-se a qualquer tipo de fonte de calor, além de possuir uma capacidade para dessalinizar grandes quantidades de água salgada. É um método com baixo consumo elétrico, se comparado aos outros mais usados (Osmose Reversa e MSF). Ademais a temperatura de funcionamento é baixa, o que evita grande corrosão e não necessita de um pré-tratamento da água salgada tão complexo como o requerido pelos outros métodos. Não obstante, é uma técnica que funciona melhor anexada a uma central elétrica, o que limita sua instalação.⁸

Destilação *Flash* de múltiplos-estágios

No processo de destilação *flash* de múltiplos estágios, a água salgada fria é inicialmente circulada por um sistema de tubos envolvidos em vapor quente, o que a aquece durante sua passagem. A água salgada então entra em uma caldeira de salmoura e segue para o primeiro estágio do sistema, onde a pressão é reduzida de forma que a água ferve instantaneamente. O vapor gerado condensa ao entrar em contato com a água fria que circula através dos tubos, e o calor é transferido para a água fria. O vapor condensado é coletado em uma calha dentro do estágio, resultando em água doce que é conduzida para fora do sistema. A salmoura restante é direcionada para o segundo estágio, onde a temperatura de operação é inferior à do estágio anterior, devido à redução da pressão ao longo dos estágios consecutivos. Este processo é repetido em múltiplos estágios para aumentar a eficiência na remoção de sal da água.⁸

Figura 7. Diagrama esquemático de uma unidade de Destilação *Flash* de Múltiplos-Estágios. Extraído da referência 8.



É atualmente o segundo mais usado no mundo depois da osmose reversa.⁸

Destilação por Compressão Mecânica à Vapor

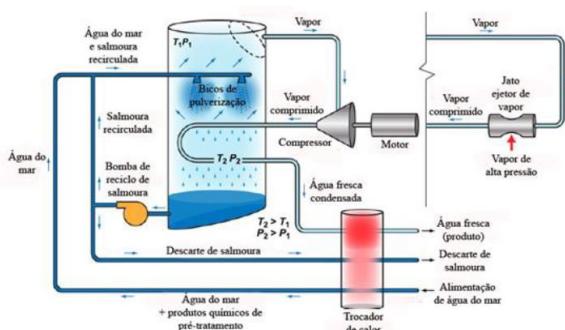
A destilação por compressão a vapor é uma técnica utilizada em escalas pequena e média, e seu princípio é semelhante ao da destilação de múltiplos efeitos. No entanto, essa técnica se baseia na compressão do vapor de água gerado a altas pressões. Existem duas formas principais de operação: a primeira utiliza um compressor mecânico acionado por eletricidade, conhecido como Compressão de Vapor Mecânica (MVC). A MVC ocorre em uma única etapa.⁸

As plantas que empregam a compressão a vapor se beneficiam do princípio de redução da temperatura de ebulição por meio da diminuição da pressão. Isso permite operar a temperaturas mais baixas, o que, por sua vez, ajuda a reduzir os efeitos da corrosão. Na operação, a salmoura concentrada é removida do vaso evaporador por uma bomba de salmoura concentrada. Essa corrente de salmoura é então dividida; uma parte é misturada com a água de alimentação, enquanto a outra parte é bombeada para descarte.⁸

Destilação por Compressão Térmica à Vapor

Este método apresenta algumas diferenças em relação ao processo de compressão mecânica. Na compressão térmica por vapor, pequenas quantidades de vapor a alta pressão são adicionadas por meio de um ejetor TVC e o processo geralmente requer múltiplas etapas para alcançar a eficiência desejada.

Figura 8. Diagrama esquemático de unidades de MVC e TVC, respectivamente. Extraído da referência 8.



Destilação por Congelamento

Na formação dos cristais de gelo, os sais dissolvidos são naturalmente excluídos. Portanto, antes que toda a massa de gelo seja descongelada, a mistura é lavada e enxaguada para remover os sais. Em seguida, o gelo é derretido para produzir água doce. Esta técnica oferece vantagens significativas sobre outras, incluindo um potencial mínimo para corrosão e pouca incrustação. O processo de congelamento pode ser realizado de duas maneiras: direta ou indireta. No congelamento direto, a água é resfriada com seu próprio refrigerante, enquanto no congelamento indireto é utilizado um líquido volátil que não se dissolve em água. Contudo, o custo energético associado à manutenção da água congelada limita a frequência de uso desse método.⁸

Destilação Solar

A destilação solar é basicamente um grande tanque com uma cobertura transparente, que utiliza da entrada de radiação solar para aumentar a temperatura da água salgada. A exposição ao sol faz com que a água evapore e condense ao tocar a parte interior da cobertura, escorrendo e sendo recolhida lateralmente por uma calha que conduz a água destilada para fora da cobertura.⁸

Essa técnica apresenta baixos custos energéticos. Contudo, está sujeita às condições climáticas, que nem sempre são as mais favoráveis à realização do processo, além de requerer uma área de implantação muito grande. O que torna a técnica viável para regiões do globo com vastas áreas desérticas e com baixos recursos técnicos e econômicos.⁸

Figura 9. Diagrama esquemático de uma unidade de destilação solar. Extraído da referência 8.



Uma das aplicações mais importantes da dessalinização no Brasil é no combate às secas no Nordeste. O processo de osmose reversa é o método predominante para dessalinização de águas subterrâneas na região, e muitos municípios já se beneficiaram do uso de dessalinizadores para obter água potável.⁷

Na localidade de Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá, o dessalinizador tornou-se a principal alternativa para o abastecimento de água, uma vez que medidas como a construção de cisternas e açudes não eram suficientes para suprir a demanda. O dessalinizador utiliza o processo de osmose reversa para tornar a água potável.⁷

No interior da Paraíba, várias comunidades, como Caluête, Poço de Pedra e Bravo, no município de Boa Vista, também se beneficiam dos dessalinizadores. Um avanço significativo na dessalinização de águas salobras tem sido a utilização de energia solar para alimentar os sistemas.⁷

No município de Riacho das Almas, foi instalado o primeiro dessalinizador do Brasil alimentado exclusivamente por energia solar.⁸ Esta alternativa oferece três impactos positivos: (a) elimina a necessidade de rede elétrica trifásica, um desafio comum nas zonas rurais; (b) reduz os custos com energia elétrica, que frequentemente são uma carga financeira para as comunidades; e (c) diminui a intervenção necessária do operador do sistema.⁹

Em 2003, foi criado o Programa Água Doce (PAD), que visa incentivar a produção e implementação de dessalinizadores em residências de pessoas de baixa renda no interior do Nordeste. Este programa já ajudou muitas famílias a obter acesso a água potável.⁸

No entanto, é importante notar que a água tratada por osmose reversa gera uma rejeição de água salobra, que não tem aplicações úteis e pode prejudicar o meio ambiente e contribuir para a desertificação se não for gerida adequadamente.

Conclusões

A dessalinização emerge como uma solução promissora para enfrentar a aridez no Nordeste do Brasil, oferecendo uma alternativa viável para a escassez de água que afeta a região. A análise das tecnologias disponíveis, como osmose reversa e destilação, demonstra que a dessalinização pode fornecer uma fonte adicional de água potável, crucial para atender às necessidades das comunidades e apoiar o desenvolvimento sustentável.

Os dados existentes revelam que, embora a dessalinização implique custos iniciais e operacionais elevados, seus benefícios em termos de disponibilidade de água e mitigação da crise hídrica são significativos.⁴ Além disso, a tecnologia tem o potencial de se integrar com outras estratégias de gestão hídrica, como a captação de água da chuva e o reuso de águas residuais, para criar um sistema de abastecimento mais robusto e resiliente.⁹

No entanto, é importante reconhecer os desafios associados à dessalinização, incluindo o impacto ambiental e a necessidade de infraestrutura adequada. Para maximizar os benefícios, é fundamental que as políticas públicas se concentrem na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis, além de promover parcerias público-privadas para viabilizar projetos de dessalinização.

Diante das mudanças climáticas e do aumento da demanda por recursos hídricos, a dessalinização representa uma ferramenta estratégica para garantir a segurança hídrica no Nordeste do Brasil. Com um planejamento cuidadoso e investimentos adequados, pode se tornar um pilar essencial na luta contra a aridez e contribuir para a melhoria da qualidade de vida na região.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de observações são de Hellen Ferreira da Silva

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) por todo o apoio concedido através do Programa de Educação Tutorial. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 Gomes, Antonio Yam Da Silva, e Hans Ronieli Cardoso Ferreira De Willegaignon. “Efeitos da seca na Região Nordeste do Brasil / Effects of drought in the Northeast Region of Brazil”. *Brazilian Journal of Development*, 7, 2021, 08–18.
- 2 Boëchat, Iola Gonçalves, et al. “Crise da Água no Brasil”. *Caderno de Geografia*, 31, 2021, 1–8.
- 3 Villes, Valesca Schardong, et al. “Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio”. *Multitemas*, 2019, 217–31.
- 4 Gouveia, Victória. “A destilação no processo de dessalinização como solução alternativa para a seca no nordeste brasileiro”. *Engineering Sciences*, 10, 2022, 46–53.
- 5 Elizaldo Júnior, José. A importância das técnicas e uso da dessalinização da água., 2020, 1–8.
- 6 Moreira, Felipe Souza. Projeto de implementação de dessalinização da água. 2023, 23–37.
- 7 Torri, Júlia Betina. Dessalinização de água salobra e/ou salgada : métodos, custos e aplicações. 2015, 8–33.
- 8 Siqueira, Antonio Marcos de Oliveira, et al. “Princípios de funcionamento de diferentes métodos de dessalinização de água do mar e análise

paramétrica de um dessalinizador de múltiplo efeito (MED)”. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, **8**, 2022, 1–9.

- 9 Soares, Tales M., et al. “Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **10**, 2006, 730–37.
- 10 Santos, Daywison Martins dos. Identificação das melhores práticas em projetos de inovação social com aplicação na implantação de sistema de dessalinização de água no nordeste brasileiro. *Universidade de Fortaleza*, 2021.
- 11 Campos, Robério Telmo. “Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses”. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, **45**, 2007, 63–84.