

## VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA PARA OBTENÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS VIA DESSALINIZAÇÃO

### TECHNICAL ECONOMIC FEASIBILITY TO OBTAIN WATER RESOURCES VIA DESALINATION

Guilherme Cazelli Conde<sup>1</sup>  
Leonardo Marques Ferreira<sup>2</sup>

**RESUMO:** A redução dos reservatórios por consequência de uso indiscriminado, aliado à gradativa contaminação de volumes de água potável utilizados pelos grandes núcleos habitacionais e a redução dos volumes devido à estiagem, faz as metodologias e estudos sobre a dessalinização tornarem-se cada vez mais necessários para extinguir ou, ao menos, amenizar o problema da escassez de água potável. Exemplos de pessoas carentes deste recurso são as que se encontram em regiões menos favorecidas de recursos hídricos como no Nordeste brasileiro, onde pode ser considerada uma região de baixo desenvolvimento econômico e têm maior possibilidade de sofrer a falta desse bem. O fato é que, dependendo da localização geográfica e clima de cada região, o acesso à água consumível se torna cada vez mais raro e difícil, problema que assola o país por séculos em alguns lugares, e que governantes não conseguiram apresentar soluções viáveis ou realmente funcionais. No entanto, estudos e projetos recentes estão se voltando para a opção da dessalinização, vez que nosso país possui uma extensa área litorânea, mas isso nem sempre foi opção, pois o Brasil infelizmente fica mal colocado na corrida de pesquisas dessa tecnologia, diferente de Israel, Espanha, Japão, Estados Unidos, entre outros que são dados como exemplos de excelência nos resultados de implantações destes tipos. Isto posto, esta revisão mostra a dessalinização como solução para o problema de escassez e diferentes necessidades que possam ser encontradas na abrangência deste assunto, aplicada como exemplo da necessidade de proliferar dados, estimular nossas faculdades e pesquisadores a avançar na procura de novas tecnologias, assim como apresentar as destinações corretas para os rejeitos produzidos ao final do processo. Sendo possível concluir que, este artigo mostra que a dessalinização é a somatória dos processos físico-químicos, com diferentes modalidades de execução, sendo algumas delas: a Osmose Reversa, Eletrodialise e Destilação Térmica, etc., tendo como fim separar materiais indesejáveis da água possível de ser consumível. Assim, está análise surge para relacionar algumas das possíveis razões pelas quais levam tanto a população brasileira quanto internacional a precisar da dessalinização e os processos que surgiram em consequência da tentativa de amenizar estes impasses, expondo neste documento os processos de dessalinização mais economicamente viáveis na atualidade para se obter água potável.

957

**Palavras-chave:** Abastecimento. água Potável. Dessalinização.

**ABSTRACT:** The reduction of reservoirs as a consequence of unconscious use, coupled with the gradual contamination of potable water volumes used by large housing units and drought, makes desalination methodologies and studies increasingly necessary to extinguish or at least mitigate the problem of scarcity. Examples of people in need of this resource are those in distant regions such as Northeast Brazil, where it can be considered a region of low economic development and

<sup>1</sup> Engenheiro Civil- SP. E-mail: guilhermecazelliconde56@gmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Cívil- SP.

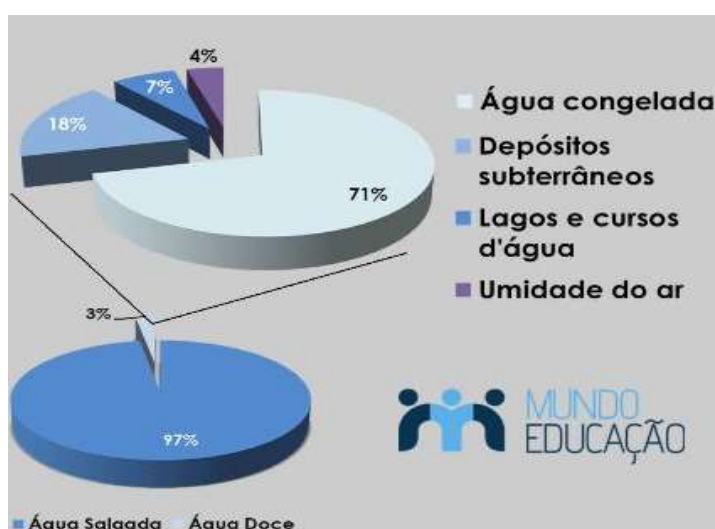
are more likely to suffer from the lack of this good. Depending on the geographical location and climate of each region, access to consumable water is becoming increasingly rare and difficult, a problem that has plagued the country for centuries in some places, and rulers have failed to come up with viable or truly functional solutions. However, recent studies and projects are all turning to the desalination option, as our country has an extensive coastal area, but this has not always been an option, as Brazil unfortunately is poorly placed in the research race of this technology, unlike Israel, Spain, Japan, the United States, among others that are given as examples of excellence in the results of deployments of these types. That said, this review shows desalination as a solution to the problem of scarcity and different needs that can be met within the scope of this subject, applied as an example of the need to proliferate data, to stimulate our faculties and researchers to advance in the search for new technologies, as well as how to present the correct destination for tailings produced at the end of the process. It can be concluded that this article shows that desalination is the sum of physicochemical processes, with different execution modalities, being some of them: Reverse Osmosis, Electrodialysis and Thermal Distillation, etc., aiming to separate undesirable materials from water. possible to be consumable. Thus, this analysis arises to list some of the possible reasons why both the Brazilian and the international population need desalination and the processes that arose as a result of the attempt to ease these impasses, exposing in this document the most economically viable desalination processes today. to get drinking water.

**Keywords:** Supply. Drinking water. Desalination.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais importantes da Terra. Com dois terços da superfície da Terra coberta por água e o corpo humano constituído por 75% dela, é evidente que a água é um dos principais elementos responsáveis pela vida na Terra. A água circula pela terra, assim como pelo corpo humano, transportando, dissolvendo, reabastecendo nutrientes e matéria orgânica, enquanto carrega resíduos. Na Figura 1, vislumbra-se a distribuição da água no Mundo, na Figura 2, suas opções de uso, e na Figura 3 a relação entre disponibilidade de água e a população por continente (ARAÚJO, 2013).

958

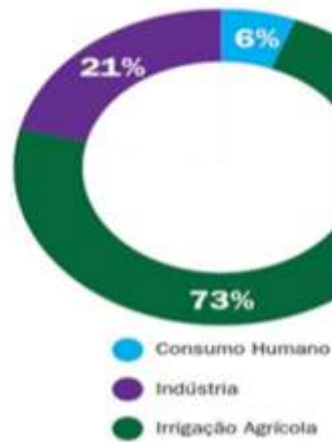


**Figura 1.** Distribuição da água no Mundo

**Fonte:** Google Acadêmico, 2019

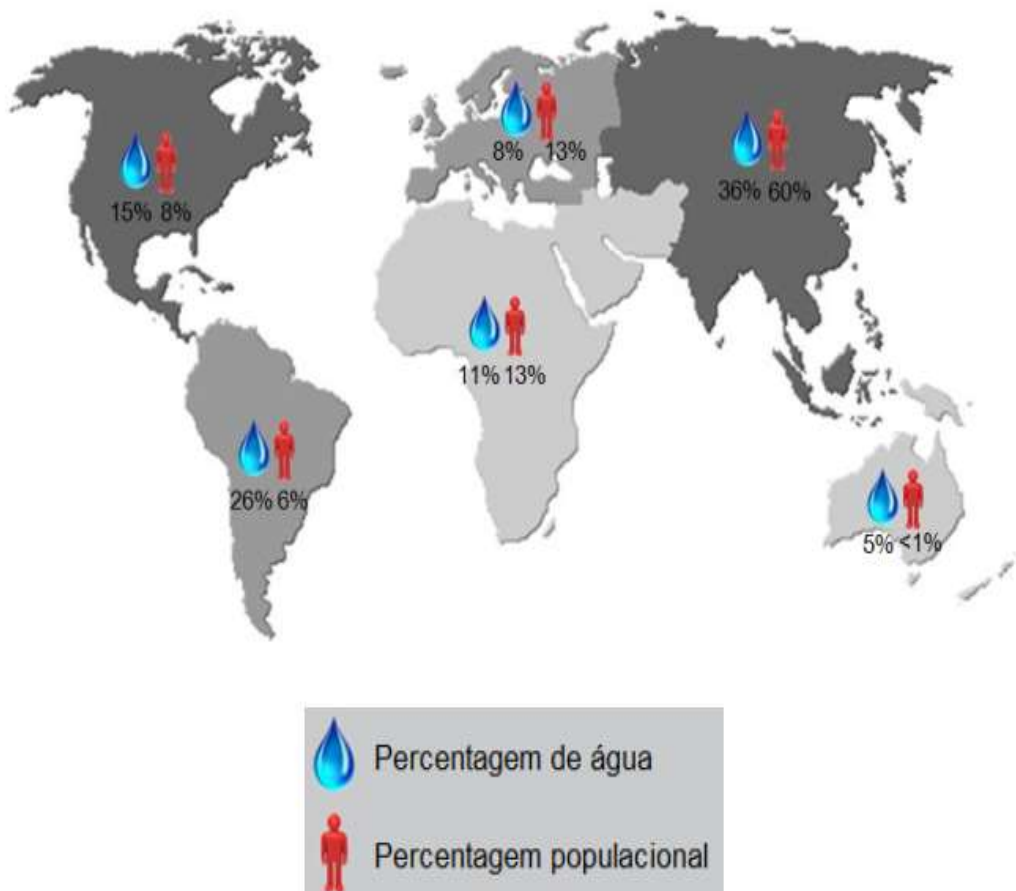
**Figura 1.** Distribuição da água no Mundo.

Fonte: (PENA, 2013, p. 1).



**Figura 2.** Usos da água no Mundo.

Fonte: (ONU, 2015, p. 1).



**Figura 3.** Relação entre disponibilidade de água e a população por continente.

Fonte: GAIO, 2016.

Mediante tal afirmação torna-se ainda mais preocupante a possível falta de água no Planeta, uma realidade que parece ser tendenciosa, mas na verdade tem se tornado bem real, e para combater a carência no abastecimento de água, há uma crescente adoção de fontes não convencionais, entre elas a dessalinização. Os critérios econômicos e ambientais a tornam uma boa alternativa para obter recursos hídricos, a principal vantagem da dessalinização é sua autonomia na disponibilidade de água doce de alta qualidade, em relação ao clima ou aos ciclos de seca, de um recurso tão abundante quanto a água do mar. Pode-se dizer que a dessalinização é a solução para os problemas globais da escassez de água (NASSIF, 2019).

De fato, os custos marginais da água (isto é, produção) ou, em uma perspectiva diferente, o potencial e as limitações de diferentes tecnologias, tornam o uso de tipos específicos de métodos de dessalinização uma possibilidade crescente. O crescente uso de sistemas híbridos destaca o reconhecimento dessas tecnologias como oportunidades aceitas para diversificar as fontes de água e, sob uma perspectiva diferente, tornar as soluções de dessalinização mais eficientes e eficazes. Assim, o estudo dos determinantes de custo que conferem uma importância dinâmica a essas tecnologias é primordial e relevante para as políticas (DIOGO, 2016).

960

Quando se fala em dessalinização, deve-se levar conta dois importantes fatores, sendo eles os fatores econômicos e os ambientais. Há trinta anos, a dessalinização da água do mar era uma técnica improvável do ponto de vista econômico e técnico. Contudo, a tecnologia atual de dessalinização da água do mar permite obter água adequada para consumo humano, infelizmente como se trata de uma técnica em evolução ainda possui custos relativos quanto ao pré tratamento, pós tratamento, filtragem, remoção de dureza, aditivos, absorção etc., esses custos muitas vezes interferem na sua implantação, mas a tendência é baixar cada vez mais esses preços devido ao desenvolvimento da tecnologia de membrana imposta ao mercado, eles na verdade já estão sendo reduzidos consideravelmente. Isso se deve à redução do preço das membranas, que, além de serem cada vez mais de maior qualidade, valem metade do que valiam dez anos atrás (ARAÚJO, 2015).

Os elementos utilizados no processo de Osmose Reversa, utilizam um gradiente com elevada pressão, que por sua vez conduz a água através de uma membrana semipermeável, conseqüentemente os sais ou outro tipo de moléculas maiores são retiradas. Este mesmo procedimento tem sido utilizado para a dessalinização de águas

salobras e água do mar, ou na recuperação de efluentes municipais, algumas empresas que produzem os elementos que constituem a membrana possui certificação que permite o contato com alimentos e por isso tem sido usado para aplicações de laticínios, açúcar e outras aplicações sanitárias, salienta-se que os elementos que possuem certificação pela NSF International (fundação que fiscaliza e gerencia produtos com base num padrão de qualidade, dedicando à proteção e promoção da saúde humana global) também têm sido usados no tratamento de águas municipais (SUEZ, 2019).

A qualidade das membranas, o prazo de validade e os custos de manutenção e substituição melhoraram graças às novas técnicas de fabricação e ao invólucro automático de membranas, permitindo que as empresas forneçam seus produtos a custos muito competitivos. Em relação ao consumo de energia, a liberalização do mercado de eletricidade também contribuiu para uma redução geral dos preços já apreciados por todos os consumidores desde 1997. Outro fator a ser considerado é a diminuição do consumo de energia por meio de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes em termos de energia ou através de melhorias no próprio equipamento da planta de dessalinização, como bombas de alta pressão mais eficientes e maiores. Atualmente, a tendência é a recuperação de energia com a instalação de duas plantas de produção de energia e água (SILVA, 2018).

961

O impacto ambiental associado aos prejuízos gerados pelas usinas de dessalinização, como a descarga de salmoura, a geração de Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e Número de Oxidação ( $\text{NO}_x$ ) causados pelo consumo de energia, não devem ser negados. No entanto, esses problemas são resolvidos com um bom planejamento e design adequado dos parâmetros de engenharia para a construção e distribuição das salmouras. Além disso, há cada vez mais a instalação de usinas de dessalinização que usam energia renovável como fonte de energia com menor impacto ambiental. Em contrapartida, os trabalhos hidráulicos necessários para a realização física da transferência de água têm um grande impacto ambiental na paisagem e no funcionamento dos ecossistemas em áreas naturais de grande interesse ecológico e ambiental que são mais difíceis de resolver e às vezes podem ser irreversíveis (GAIO, 2016).

Através da dessalinização, os recursos hídricos permanentes são gerados em comparação com a natureza marcadamente temporária da transferência, pois dependerá dos recursos existentes nas bacias produtoras. Em caso de seca, a dessalinização não gera alarme social, o que não ocorre nas transferências (TUNDISI, 2014).

Concluindo, podemos destacar as enormes perspectivas que a dessalinização tem como fonte adicional de obtenção de recursos hídricos utilizáveis para atividades humanas, como consumo, agricultura, indústria, etc.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Realizar uma revisão de literatura verificando através de estudos já evidenciados a possibilidade e viabilidade econômica de recursos hídricos via dessalinização, vez que milhares de pessoas tanto em nível nacional quanto em internacional, sofrem com a escassez de água potável.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Identificar os métodos de dessalinização;
- Verificar os meios de obtenção sem uso de membranas;
- Analisar a viabilidade do processo por Eletrodiálise;
- Verificar os meios de obtenção com o uso de membranas;
- Viabilidade do processo de Osmose Reversa;
- Análise do pós tratamento;
- Gerência de concentrados e rejeitos do processo de dessalinização.

962

## 3. METODOLOGIA

Uma revisão de literatura é um resumo abrangente de pesquisas anteriores sobre um tópico. A revisão de literatura pesquisa artigos acadêmicos, livros e outras fontes relevantes para uma área específica de pesquisa. A revisão deve enumerar, descrever, resumir, avaliar objetivamente e esclarecer essa pesquisa anterior. Deve fornecer uma base teórica para a pesquisa e ajudar o autor a determinar a natureza da sua pesquisa. A revisão da literatura reconhece o trabalho de pesquisadores anteriores e, ao fazê-lo, assegura ao leitor que seu trabalho foi bem concebido. Supõe-se que, ao mencionar um trabalho anterior no campo de estudo, o autor tenha lido, avaliado e assimilado o conteúdo no trabalho em questão.

Uma revisão de literatura cria uma paisagem para o leitor, oferecendo a ele uma compreensão completa dos desenvolvimentos no campo. Essa paisagem informa ao leitor

que o autor de fato assimilou todos (ou a grande maioria dos) trabalhos anteriores significativos no campo em sua pesquisa. Ao escrever a revisão de literatura, o objetivo é transmitir ao leitor quais conhecimentos e ideias foram estabelecidos sobre um tópico e quais são seus pontos fortes e fracos. A revisão de literatura deve ser definida por um conceito orientador (por exemplo, seu objetivo de pesquisa, o problema ou questão que você está discutindo ou sua tese argumentativa), não é apenas uma lista descritiva do material disponível ou um conjunto de resumos.

#### 4. REVISÃO DE LITERATURA

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de 969.589 km<sup>2</sup> e inclui os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha (CORREIA et al., 2011).



Figura 4. Delimitação do Semiárido brasileiro.

Fonte: IBGE, 2017.

A região Nordeste do Brasil especificamente, enfrenta ao longo dos tempos um quadro de descompasso dentre a disponibilidade e a necessidade por água, a sua

distribuição irregular no Brasil faz com que a região nordestina, onde vive 28,91% da população brasileira, consuma apenas 3,3% desse volume (ARCILA, 2014).

Mas quando se fala em escassez de água em tempos atuais não se pode limitar apenas ao Nordeste brasileiro, as consequentes mudanças climáticas na verdade têm atingido todo o País de forma direta ou indireta.

Em pesquisa realizada pela FAPESP (2019), mais de 70 milhões de brasileiros podem sofrer com falta de água até 2035, sem investimentos em infraestrutura, a escassez hídrica ameaça à saúde da população e traz prejuízos econômicos.

Apesar de possuir a maior reserva terrestre de águas superficiais e duas das maiores áreas do mundo, que seriam elas o Pantanal Mato-Grossense e a Bacia Amazônica, além é claro, de diversos e vastos reservatórios de água subterrânea, o país não possui garantias hídricas, sem contar que tais recursos estão distribuídos de forma irregular por todo território nacional, não havendo qualquer tipo de infraestrutura que garanta abastecimento, 74 milhões de brasileiros podem sofrer com a falta d'água até 2035 (ALISSON, 2019).

A água é um recurso de suma importância para o Brasil, onde já vemos regiões, como o Sudeste, que têm enfrentado crises hídricas bastante sérias nos últimos anos, disse à Agência FAPESP Carlos Joly, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e membro da coordenação da BPBES (ALISSON, 2019).

964

Tem-se que levar em consideração que a falta de água poderá gerar sérios conflitos, vez que além da população e da biodiversidade brasileira, grande parte das atividades econômicas são dependentes de água, podendo destacar a agricultura irrigada e a pecuária, sendo os principais usuários, para se ter uma ideia consomem respectivamente, por volta de 750 mil e 125 mil litros de água por segundo (ALISSON, 2019).

Além disso, 85% da produção agropecuária nacional – localizada nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul – depende da água proveniente das chuvas, que tem, aproximadamente, 40% de sua origem na evapotranspiração da Amazônia. Já a indústria usa mais de 180 mil litros de água por segundo e, pelo menos, 80% dos reservatórios hidrelétricos recebem água proveniente de unidades de conservação, que asseguram o fornecimento do recurso em quantidade e qualidade necessárias para suas operações, apontam os autores (ALISSON, 2019).

É preciso salientar que todos os setores econômicos, assim como parte da população brasileira vem sofrendo constantes impactos pois está ocorrendo a diminuição desses recursos, devido às mudanças climáticas, ao uso constante e muitas vezes irregular do solo, a cisão de ecossistemas e elevado grau de poluição. É fundamental entender que a água não é só um recurso hídrico, mas elemento primordial da biodiversidade, constituinte do



patrimônio cultural do país, e elemento fundamental da existência da população brasileira (ALISSON, 2019).

Portanto, o problema é bem maior do que conseguimos vislumbrar, medidas devem ser rapidamente tomadas, partindo dessa premissa, a dessalinização vem ganhando cada vez mais adeptos e espaço no governo brasileiro, até porque no Brasil a extensão litorânea é excepcional como pode-se ver na **Figura 5**.



**Figura 5.** Extensão litorânea brasileira.

**Fonte:** (Sanches & Jokura, 2018, p. 1).

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, com 8.514.876 km<sup>2</sup>. O país possui um litoral com 7.367 km, banhado a leste pelo oceano Atlântico. O contorno da costa brasileira aumenta para 9.200 km se forem consideradas as saliências e reentrâncias do litoral. O litoral brasileiro é extenso e pouco recortado (DECICINO, 2019).

A plataforma continental - terreno da crosta terrestre que avança para o mar - tem profundidade média de 200 metros e largura média de 90 km, sendo assim a dessalinização é um processo totalmente viável no Brasil (DECICINO, 2019).

Conta Taranto (2019), já são conhecidos projetos e operadores no segmento do trato de águas no Brasil com a habilidade necessária tanto no planejamento, na instalação como operação dos sistemas de dessalinização, como consequência disto, as barreiras

tecnológicas deixam de ser empecilhos para viabilidade de fontes alternativas como abastecimentos públicos e privados, o autor salienta o modelo de Fernando de Noronha,

O exemplo de Fernando de Noronha, permanece dependente de água da chuva como abastecimento. Assim, no total são 40% da água consumida em todo o ilhéu conduzidas de poços e reservatórios. O resultado disso é a presença de sucessivos racionamentos, que não aconteceriam se todo o fornecimento tivesse como fonte o sistema de dessalinização, presentemente responsável por 60% da água consumida que chega às casas e comércio de Noronha. Até com a presença destacada da dessalinização no Brasil, custos de operação e conservação destas estruturas deixam em dúvida o quanto é viável em médio prazo a iniciativa, sendo o custo integral de administração por metro cúbico (1.000 litros) de água de dessalinização, em determinadas regiões do território nacional, quatro vezes maior que nos tratamentos tradicionais de água doce.

Não obstante, ano após ano está equabilidade se equilibra, tanto pela dificuldade de captação e tratamento da água, ou do progresso das regras tarifárias, como também através do aumento de pesquisas no nicho, avanço tecnológico dos procedimentos, insumos e instrumentos ativos, que leva a uma consequente diminuição dos custos dos sistemas de dessalinização. (TARANTO, 2019).

Visto isto, poder-se-ia completar que a dessalinização é possível de ser vindoura no tratamento de água no Brasil. Obras e projetos nessa direção seriam de grande importância a fim de poupar recursos hídricos naturais, diminuir perdas e amenizar o uso da capacidade das estações de tratamento de água existentes em locais e cidades isoladas ou afastadas dos litorais, além garantir a qualidade numa água sem impurezas, que através dos sistemas de tratamento tradicionais não se repetiria (SOUSA, 2006).

966

De acordo com Andrade (2019),

Atualmente 15,9 mil plantas de dessalinização encontram-se em operação no planeta, com capacidade para purificar cerca de 95 milhões de m<sup>3</sup> de água por dia, segundo estudo publicado em dezembro de 2018 na revista *Science of the Total Environment*. Essas usinas estão localizadas principalmente no Oriente Médio, norte da África, Estados Unidos, China e Austrália. Na Europa, a Espanha é o principal país a usar a tecnologia. A planta de Barcelona, na costa do Mediterrâneo, com capacidade para processar 2,3 m<sup>3</sup> de água por segundo, é uma das principais do continente.

No mundo, existem cerca de 15.900 usinas de dessalinização, que produzem por volta de 95 milhões de m<sup>3</sup> de água por dia, o suficiente para abastecer mais de 120 milhões de pessoas. Na Espanha, mais de 700 usinas de dessalinização podem produzir 800.000 m<sup>3</sup>/dia de água adequada ao consumo humano e a processos produtivos, além de fornecer 2% dos recursos hídricos disponíveis. Os custos variam de acordo com o investimento realizado em cada usina e seu custo de energia, mas foram reduzidos pela metade nos últimos dez anos, como resultado do notável aumento da eficiência energética dessas usinas, do progresso na qualidade das instalações das membranas e reduzindo seu preço. O governo planeja construir 23 novas usinas de dessalinização na costa do Mediterrâneo, que

contribuirão com 555 hm<sup>3</sup>/ano. O consumo total da piscina de dessalinização será de 1.950 GWh/555hm<sup>3</sup>/ano. O objetivo dos Ministérios é garantir que as emissões líquidas da dessalinização sejam zero (SOUSA, 2006).

Atualmente, aproximadamente 1% da população mundial depende de água dessalinizada para atender às necessidades diárias, mas a ONU espera que 14% da população mundial encontre escassez de água até 2025. A dessalinização é particularmente relevante em países secos, que tradicionalmente dependem da coleta de chuvas atrás de barragens para obter água. Diante do cenário atual pesquisadores brasileiros de diferentes áreas têm voltado seus olhares para o tema dessalinização (ONU, 2019).

É notório que o Estado do Ceará é um dos principais estados brasileiros que sofrem com a escassez de água, mediante a essa necessidade o mesmo tem se preparado para construir a maior usina de dessalinização de água salgada do país, estima-se que estando pronta a usina ajudará no abastecimento da capital, Fortaleza, e dos municípios da região metropolitana, alcançando 4 milhões de pessoas, o Projeto foi iniciado no ano de 2016, segundo a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), a licitação deveria ter sido iniciada no primeiro semestre de 2019, os estudos necessários para a implantação foram realizados por um consórcio liderado pelo Grupo GS, da Coréia do Sul. A previsão de operação é para o ano de 2022, sendo a mesma viabilizada por uma parceria público-privada (PPP). É preciso salientar que o local ainda não foi estabelecido, mas a probabilidade é que seja na praia de Mucuripe, próxima ao porto de Fortaleza. Acredita-se que a usina será capaz de produzir 1 metro cúbico (m<sup>3</sup>) de água por segundo (o equivalente a mil litros), para se ter uma ideia a Região Metropolitana de Fortaleza consome 8 m<sup>3</sup> por segundo, estima-se um crescimento de 12% na oferta de água na região, o que é suficiente para abastecer cerca de 720 mil pessoas. Os responsáveis afirmam que o valor estimado desse projeto está em torno de R\$ 480 milhões, e que a empresa vencedora da licitação deverá assumir a construção e terá o direito de uso por 30 anos (ANDRADE, 2019).

Em abril de 2019, na Universidade Federal de Campina Grande- PB, foi inaugurado o Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização (CTTD), instalado no Laboratório de Referência em Dessalinização da Universidade (Labdes/CCT), o mesmo encontra-se vinculado ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), ambos tem como escopo analisar, avaliar e testar a performance de sistemas que comercializam a dessalinização/purificação de águas salobras/salinas, sendo capaz de dar suporte no aspecto tecnológico, através de

ações e processos referentes à expansão do acesso à água potável, dessalinizada e purificada, voltada ao Semiárido Brasileiro (DONIDA, 2019).

É importante relatar também sobre a Portaria do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações Nº 888, de 7 de março de 2019, a qual visa instituir o Programa de Apresentação de Unidades de Dessalinização e Purificação de Águas Salobras e Salinas para Teste e Análise de Desempenho. Tal legislação é considerada resultado dos investimentos realizados pelo atual governo e tem como objetivo acabar ou ao menos minimizar a seca que atinge o Nordeste brasileiro, baseando-se nos conceitos usados nos desertos em Israel. Todavia é preciso frisar que a mesma tem sido objeto de discussão, vez que pesquisadores e conhecedores sobre o assunto afirmam que a dessalinização de água, não pode ser a única solução, pois não existe água salobra por toda a região, ou seja, se outras medidas não forem adicionadas será apenas promessa de campanha.

#### **4.1. Dessalinização como forma de obtenção de água potável**

Os processos de dessalinização da água separam sais dissolvidos e outros minerais da água. A alimentação do equipamento pode incluir fontes água salobra, marítima, poços, superfície (rios e córregos), águas residuais e industriais, alimentação e de processamento. A separação por membrana requer forças motrizes, incluindo pressão (aplicada e vapor), potencial elétrico e concentração para superar as pressões osmóticas naturais e forçar efetivamente a água através dos processos de membrana. Como tal, a tecnologia consome muita energia e a pesquisa está em constante evolução para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia (CAMPOS, 2017).

De acordo com GAIO (2016), a dessalinização é o processo de obtenção de água fresca através da remoção da água presente no sal de mares e oceanos. O conteúdo salino da água é geralmente medido em partes por milhão (ppm), a unidade equivalente aos miligramas de sal contidos em cada litro de água (mg/L). Existem diferentes graus de salinidade na água, o que afeta a dificuldade e os custos do tratamento:

- Baixa salinidade: entre 1.000 e 3.000 ppm
- Salinidade moderada: entre 3.000 e 10.000 ppm
- Alta salinidade: entre 10.000 e 35.000 ppm

A água que contém níveis de salinidade abaixo de 1.000 ppm é considerada água doce e é segura para consumo ou para uso em ambientes domésticos e agrícolas, enquanto a água do oceano contém cerca de 35.000 ppm de sal. Quanto maior a concentração de sal na água, mais energia e esforço são necessários para dessalinização (GAIO, 2016).

#### **4.2. Métodos de dessalinização**

Segundo LEVY (2008), existem vários tipos de tratamentos de água salgada, que são classificados de acordo com as tecnologias de membrana e térmica, sendo o uso de energia elétrica, essencial para o desenvolvimento desses processos de purificação de água.

Nos métodos usados hoje, pode ser dividido em dois grandes grupos:

- Dessalinização por destilação ou evaporação.
- Dessalinização por membranas

##### **4.2.1. Dessalinização por destilação ou evaporação**

A dessalinização por evaporação utiliza do calor gerado pela queima de combustíveis ou através da conversão de energia elétrica em calorífica para a condensação das gotículas de água, assim separando o solvente aquoso dos sais, quando os vapores de água são depositados num recipiente livre de sais e impurezas após resfriadas. Contando com diversos dispositivos e tipos de dessalinização por destilação, ressalta-se esta classe sendo a pioneira nos processos de dessalinização registrados na história.

969

##### **4.2.1.1. Dessalinização térmica**

A Dessalinização térmica consiste em aplicar calor para evaporar a água salgada, separar o vapor d'água do resíduo salino e coletar água dessalinizada assim que o vapor esfriar. Além disso, o calor aplicado para evaporar a água permite que muitas bactérias morram durante o processo, evitando a aplicação de cloro para eliminá-las. Esse método de dessalinização pode ser realizado mesmo em escala doméstica, se tiver acesso à água do mar, para atender às necessidades pessoais de água doce. A necessidade de produção de energia, uma vez que é necessário vapor como força motriz, faz com que estes sistemas sejam mais comuns no médio Oriente, onde existe simultaneamente falta de água e abundância de petróleo, sendo este utilizado muitas vezes como fonte de energia primária para a produção de energia elétrica. (LEVY, 2008).

De acordo com GAIO (2016), existem diversas tecnologias por destilação das quais se destacam:

- Destilação Solar (DS)
- Destilação Flash De Múltiplo Estágio (DFMs)
- Destilação Múltiplo Efeito (DME)
- Destilação Por Compressão De Vapor (DCV)

#### **4.2.1.2. Congelamento**

Para este sistema, a água do mar de baixa pressão deve ser pulverizada em uma câmara refrigerada. Assim, formam-se cristais de gelo no sal que são então separados. Esse é um processo de dessalinização no qual, ao realizar um processo, a água do mar é pulverizada em uma câmara refrigerada a baixa pressão, permitindo a formação de cristais de gelo na salmoura. Em seguida, esses cristais são separados e lavados com água fresca. E desta maneira a água adequada para consumo e uso agrícola e industrial é alcançada. (SILVEIRA et al., 2015).

#### **4.2.1.3. Evaporação de raios**

A água é introduzida em uma câmara de baixa pressão abaixo da pressão de saturação. Muitas dessas gotas são convertidas em vapor, que uma vez condensado, obtemos água potável. Esse processo também chamado em inglês de evaporação instantânea, é um processo de destilação de água salgada em que é introduzido na forma de gotas finas em uma câmara a baixa pressão, abaixo da pressão de saturação (é a pressão, a dada temperatura, na qual a fase líquida e o vapor estão em equilíbrio). Uma parte dessas gotas de água imediatamente se transforma em vapor, que é posteriormente condensado, obtendo água dessalinizada. Enquanto outra parte, a água residual, é introduzida em outra câmara, as pressões são ainda mais baixas e, através do processo de aquecimento, pulverização e evaporação de raios, é obtida outra parte da água dessalinizada. Assim, esse processo será realizado tantas vezes até que os valores desejados de dessalinização sejam alcançados. Existem usinas de dessalinização por raios que podem ter mais de 24 estágios. Esses processos são chamados com o nome de EVE (evaporação em vários estágios). (CAMPOS, 2017).

#### 4.2.1.4. Formação de hidratos

Este método não é usado em larga escala. É conseguido através da aplicação de hidrocarbonetos que cristalizam o sal e subsequentemente separados. É um dos processos mais trabalhosos e caros, juntamente com o processo de congelamento. Este tipo de dessalinização por formação de hidrato não é amplamente utilizado industrialmente. Esse processo de dessalinização é que a água salgada entra em contato com uma série de sais anidros muito higroscópicos (são compostos que têm a capacidade de atrair água na forma de vapor ou líquido circundante) que possuem uma grande quantidade de água de cristalização. Posteriormente, esses sais hidratados são removidos, lavados e desidratados novamente por meio de calor, obtendo água de alta pureza e a série de sais anidros reutilizáveis (SILVEIRA et al., 2015).

#### 4.3. Meios de obtenção com uso de membranas

De acordo com GAIO (2016), no processo de dessalinização por membrana, a dessalinização é feita recorrendo-se a uma membrana semipermeável com capacidade de filtrar os sais presentes na água, obtendo-se uma solução com baixa salinidade e um concentrado com elevada salinidade, ao aplicar-se um gradiente de pressão ou uma diferença de potencial elétrico entre as superfícies das membranas.

971

As tecnologias mais utilizadas no processo de dessalinização por membrana são:

- Eletrodialise (ED)
- Osmose Reversa (OR)

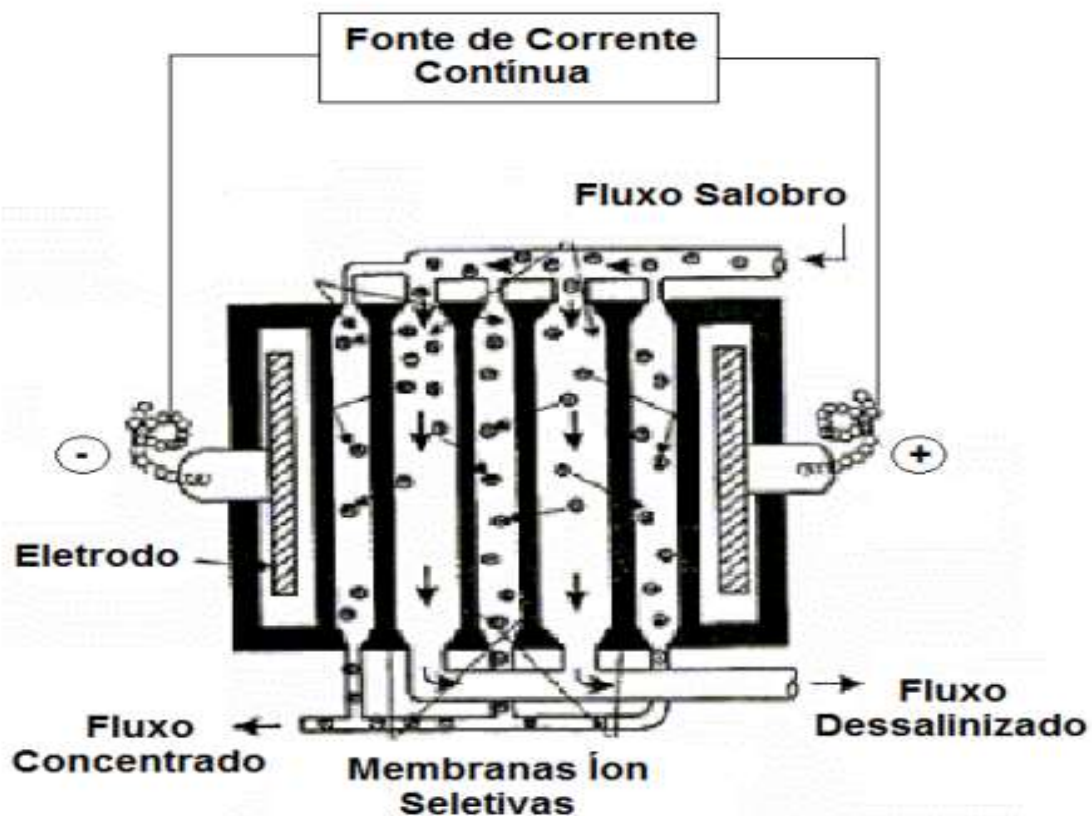
##### 4.3.1. Dessalinização por Eletrodialise e Eletrodialise Reversa

A Eletrodialise (ED) é um processo eletroquímico usado para a dessalinização da água com alto teor de sais dissolvidos. Esta técnica funciona através da transferência de íons dissolvidos da água de contribuição, para outra solução onde está concentrada, através de membranas seletivas à passagem de cátions ou ânions e pela aplicação de um campo elétrico. Como resultado desse processo, obtém uma água do produto com uma concentração de sal menor que a da água de alimentação e um subproduto de rejeição, salmoura, com uma alta concentração de sal. As duas correntes de água fluem paralelamente entre as membranas: a água do produto dessaliniza progressivamente, enquanto a salmoura também é gradualmente concentrada. Os cátions na água a ser

tratada atravessam a membrana catiônica em direção ao cátodo, sendo impedidas na membrana aniônica e depois direcionadas para o duto da salmoura. Assim como, os ânions na água a ser tratada atravessam a membrana aniônica em direção ao a

ânodo, sendo impedidas na membrana catiônica e depois direcionadas para o duto da salmoura. Da mesma forma, os ânions da água a serem tratados atravessam a membrana aniônica em direção ao ânodo e depois passam para a salmoura (ALVES, 2017).

O processo eletroquímico de Eletrodialise é utilizado para transportar íons de sal de uma solução para outra usando membranas de transferência de íons sobre uma diferença de potencial elétrico. Uma unidade comercial de Eletrodialise contém entre 200 e 1000 membranas separadoras de elétrons empilhadas alternadamente e em arranjo paralelo (JUCÁ, 2004). Entre essas membranas existe um separador, que é por onde a água irá correr. Ao final desse empilhamento de membranas temos placas catódicas e anódicas.



**Figura 6.** Ilustração básica da Eletrodialise

**Fonte:** ALVES, 2017 apud UNEP, 1998.



Na Eletrodialise, um potencial elétrico é estabelecido entre a placa catódica e anódica, esse potencial provoca a separação dos sais contidos nas soluções entre catodos e anodos. Quando soluções com eletrólitos são bombeadas por entre as membranas, íons positivos são forçados a migrar na direção do catodo e íons negativos são forçados a migrar na direção do anodo. O transporte entre compartimentos se dá pelo movimento dos cátions migrando em direção ao cátodo, atravessando a membrana catiônica e em seguida sendo retidos pela membrana aniônica. Da mesma forma ocorre com os ânions, que se movimentam em direção ao ânodo, transpassando a membrana aniônica e sendo retidos em seguida pela membrana catiônica adjacente (LIEB, 1986).

A Eletrodialise é uma técnica baseada no transporte de íons através de membranas seletivas sob a ação de um campo elétrico. Num reator de Eletrodialise típico, as membranas de troca catiônica e aniônica são dispostas alternadamente entre o cátodo e o ânodo. Quando uma diferença de potencial é aplicada entre os dois eletrodos por uma fonte de corrente direta, os cátions se movem em direção ao cátodo e os ânions em direção ao ânodo. Os cátions passam através das membranas de troca catiônica e são retidos pelas membranas de troca aniônica. Pelo contrário, os ânions circulam através das membranas de troca, enquanto são retidos pelos catiônicos. Isso causa o aumento da concentração de íons em algumas correntes (compartimentos "concentrados") e sua diluição em outras adjacentes (compartimentos "diluídos") (ALVES, 2017 apud COSTA, 1996, p. 60).

973

Portanto, no processo de Eletrodialise, eles apenas se movem das membranas, os sólidos dissolvidos, mas não o solvente (água). A direção e taxa de transporte de cada íon dependem de sua carga e sua mobilidade, a condutividade da solução, as concentrações relativas, da intensidade do campo elétrico aplicado e está intimamente relacionado às características da membrana de troca iônica. A capacidade de eliminação pode ser aumentada juntando-se a série de várias baterias, embora não seja competitivo na dessalinização da água do mar. Essa técnica não fornece um efeito de barreira, como se faz em as outras técnicas de membrana de pressão (DUBON e PINHEIRO, 2001).

É uma técnica mais robusta contra mudanças na qualidade da água ou paralisações do sistema e possui um bom comportamento contra elementos como bário (Ba), estrôncio (Sr) ou sulfatos. Seu desempenho melhora em temperaturas elevadas e para íons com várias cargas. Uma fração da salmoura pode ser recirculada para reduzir a quantidade de água residual. Essa recirculação aumenta muito a concentração da salmoura, de modo que a

adição de ácido ou outros reagentes (como anti-incrustantes) à alça de salmoura que impedem a deposição de sais nas membranas (LEVY, 2008).



**Figura 7.** Membrana de dessalinização por reversão por Eletrodiálise.

**Fonte:** ASSOCIATION, 2016, p.1

Por outro lado, a preocupação social com o meio ambiente está crescendo todos os dias nos países desenvolvidos, o que se manifesta na adoção de legislação cada vez mais exigente sobre proteção ambiental. Esse interesse levou à pesquisa e desenvolvimento de novas formas de energia renovável. Uma das mais difundidas e estudadas é a energia solar fotovoltaica. Entre as vantagens do uso da energia solar fotovoltaica, destacam-se a não poluente, silenciosa, abundante, descentralizada, gratuita e sem fim, à qual devemos acrescentar a longa vida útil dos painéis solares fotovoltaicos (PSFV) e o baixo custo de manutenção de esses sistemas. Geralmente, um campo de painel fotovoltaico consiste baterias, um regulador ou controlador, um inversor e cargas, sendo conectados em série e/ou paralelo e transformam a radiação solar incidente em sua superfície em energia elétrica contínua. A eletricidade gerada é transmitida ao regulador, que protege as baterias contra sobrecargas e descargas excessivas. As baterias armazenam energia que pode ser consumida quando a demanda de energia e a disponibilidade de horas solares não são

simultâneas. O inversor converte corrente direta em corrente alternada para os dispositivos que trabalham com este último. Esses sistemas podem ser usados em locais isolados da rede elétrica para fornecer energia elétrica de forma autônoma e confiável (GUERREIRO, 2019).

A realização do fornecimento elétrico ao eletrodializador diretamente dos PSFV reduziria substancialmente o custo de investimento desses sistemas, dado o alto custo de baterias e inversores. A filosofia da conexão direta ao reator de Eletrodiálise é simples: em vez de acumular energia elétrica em baterias para uso posterior, a água produzida durante o dia é armazenada, pois é muito mais barato armazenar água em tanques do que energia elétrica em um sistema eletroquímico de baterias ou acumuladores. Em conclusão, existem atualmente vários sistemas de dessalinização que podem ser operados com energia renovável em suas várias formas. Entre todos eles, o sistema ideal pode ser selecionado para cada aplicação ou situação específica. Assim, o sistema ideal para locais isolados onde há acesso a água salobra seria a tecnologia de Eletrodiálise (ED) alimentada por painéis solares fotovoltaicos (PFV). Por outro lado, devido às perspectivas de desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica e dos sistemas de ED, é previsível que no futuro sejam alcançados sistemas mais eficientes e com menor custo do que os atuais, o que pode levar a uma grande proliferação desses sistemas podendo até se tornar economicamente viáveis para a dessalinização da água do mar (LEVY, 2008).

975

De acordo com ALVES (2017), os usuários potenciais da tecnologia de energia solar Eletrodiálise-fotovoltaica são:

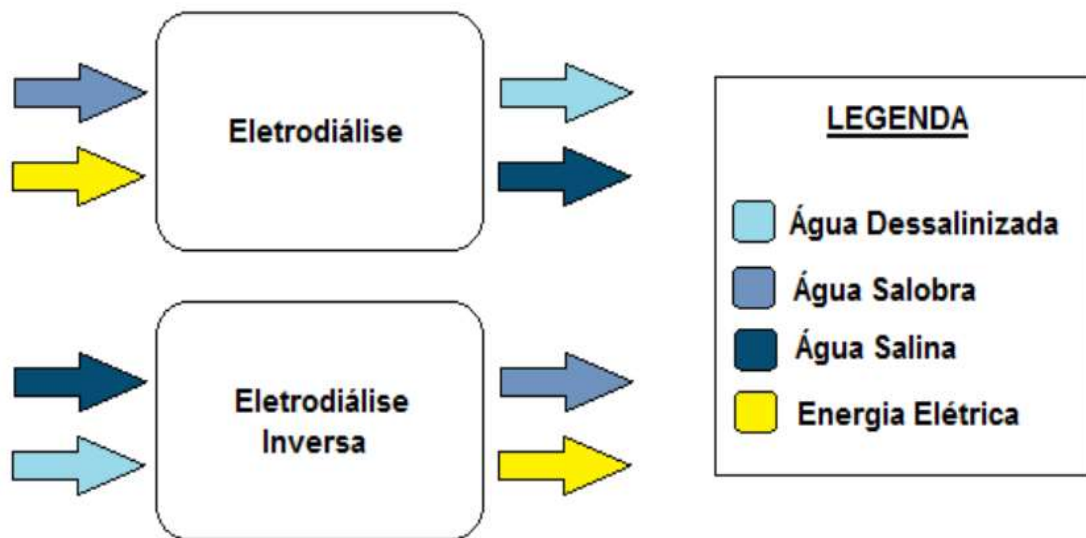
- Populações em áreas remotas ou isoladas, onde é necessário aumentar os recursos hídricos, nacional e internacionalmente.
- Fazendas isoladas com recursos salobros.
- Usuários privados com poços salobra e / ou água de rede com baixa qualidade de serviço.
- Hotéis, resorts e comunidades que precisam pré tratar a água na rede para melhorar sua qualidade.
- Grandes instalações recreativas, como parques aquáticos e aquários, onde é necessário fornecer água de qualidade para sua operação.
- Instalações de demonstração para universidades, centros educacionais, administrações públicas, etc.

- Municípios ou empresas de abastecimento de água sensibilizadas com o meio ambiente.
- Organizações sem fins lucrativos que desejam apostar no uso de energia renovável.

Para entender a geração de energia pela reversão do processo de Eletrodiálise (Eletrodiálise Reversa), em um primeiro momento faz-se necessário o esclarecimento dessas nomenclaturas. Como são oriundas da língua inglesa, uma tradução literal não permite a diferenciação clara entre *Electrodialysis Reversal* (EDR) e *Reversal Electrodialysis* (RED). Esses termos, que se referem à Eletrodiálise Reversa e à reversão do processo da Eletrodiálise, respectivamente, se confundem muito quando traduzidos literalmente, causando estranheza e até incompreensão de textos. Portanto, a Eletrodiálise Reversa, como já visto anteriormente, se refere ao sistema de limpeza interna permitida pela inversão da polaridade. Este mecanismo é utilizado geralmente para a dessalinização. E por fim, foi adotado como tradução livre para a *Reversal Electrodialysis* (RED), o termo “Eletrodiálise Reversa”. Assim, a própria nomenclatura deixa claro que se trata do inverso do processo da Eletrodiálise. Tendo compreendido o sistema de Eletrodiálise convencional, no qual é alcançada a separação dos sais da solução, pode-se facilmente compreender como funciona a geração de energia pelo processo reverso de Eletrodiálise (Eletrodiálise Reversa) (BACHER, 2016).

976

Para se ter uma imagem inicial do funcionamento do processo, basta se imaginar o processo eletroquímico como um sistema simples que tem uma entrada e uma saída. Na entrada há um único fluxo de solução de água com sais, na saída, temos dois fluxos distintos, um concentrado, outro dessalinizado. A energia elétrica é aplicada no processo para que se possa criar uma diferença de potencial, que é responsável pela indução do movimento dos íons, separando-os e possibilitando o resultado conhecido. A grosso modo, é possível compreender o sistema de geração de energia simplesmente invertendo a ordem do processo de Eletrodiálise. Ou seja, colocando dois fluxos com salinidades distintas como entrada do processo e tendo como produto o fluxo de água salobra, pode-se extrair a energia gerada pela movimentação dos íons, que ocorre pela existência de potencial elétrico gerado pela diferença de salinidade entre os fluxos. Essa diferença de potencial entre os fluxos é conhecida como potencial de membrana (LIEB, 1986).



**Figura 8.** Esquema de diferenciação dos processos de Eletrodialise.

Fonte: ALVES, 2017.

O gradiente salino, que deve ser entendido como a diferença na salinidade entre os fluxos, resulta em uma diferença de potencial. Essa diferença de potencial pode ser subdividida entre o potencial elétrico e o potencial químico. Quando combinados, essas potências têm a nomenclatura de potencial eletroquímico. As membranas e os eletrodos continuam com a mesma função, o que permite a aplicação dos mesmos conceitos matemáticos. Esse fator foi fundamental para a escolha de tratar, no presente trabalho, de ambos os produtos do processo (BOUNDLESS, 2016).

977

#### 4.3.2. Dessalinização por Osmose Reversa

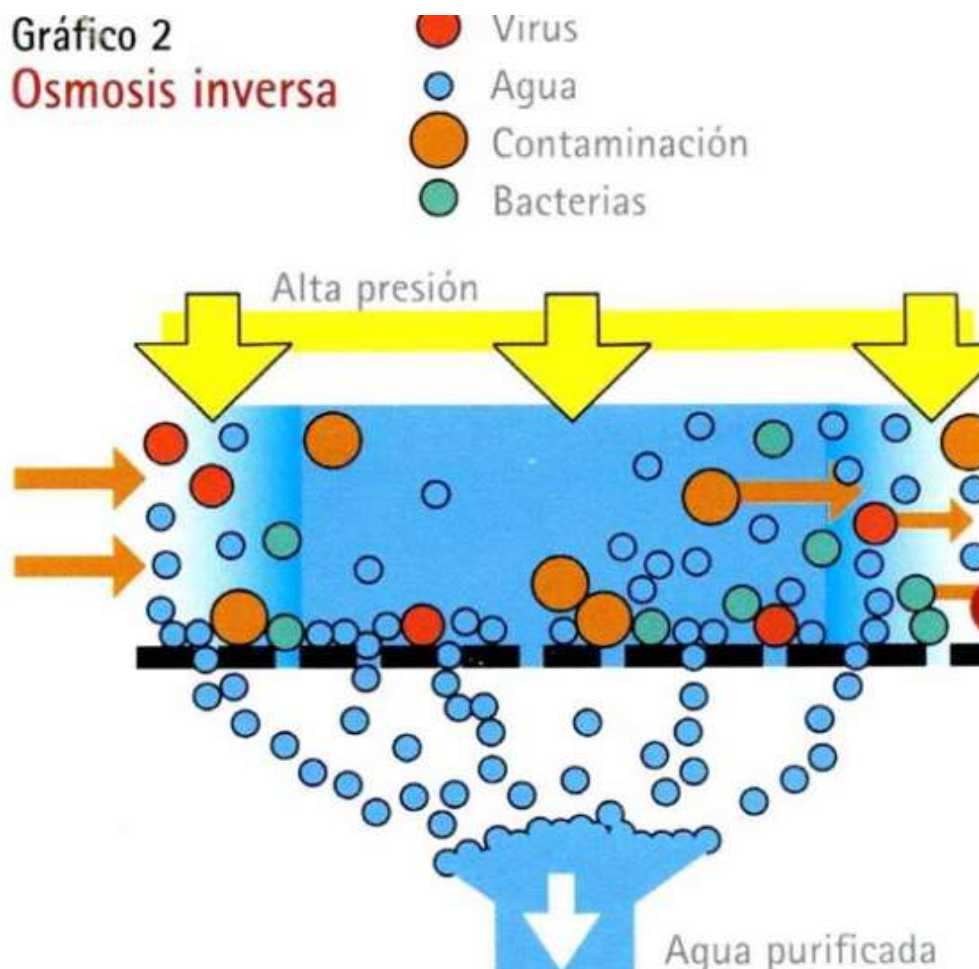
Osmose Reversa é o processo mais difundido e do qual a maior parte da água dessalinizada vem. Neste método, a pressão é usada para passar a água salgada através de membranas semipermeáveis que retêm o sal e deixam a água passar. É considerado o método de dessalinização que requer menor consumo de energia em processos de larga escala. No entanto, existem várias desvantagens no uso da Osmose Reversa, uma vez que as membranas ficam entupidadas com microrganismos transportados por pressão e também se deterioram quando o cloro é usado no tratamento de bactérias. Mesmo assim, sua principal desvantagem é que a qualidade da água produzida pela dessalinização não é adequada para consumo direto e, após o processo de Osmose Reversa, deve passar pelo

tratamento usual de purificação, duplicando o gasto energético até atingir nossas torneiras. Esse procedimento de dessalinização é o mais usado atualmente, sendo usado em navios, aviões, indústrias, hospitais e residências.

Através deste processo, pode-se obter água dessalinizada com menos de 15.000 microsiemens/cm de condutividade elétrica, a partir de uma água do mar com uma condutividade entre 20.000 e 55.000 microsiemens/cm. A condutividade da água está relacionada à quantidade de sais dissolvidos que ela contém. Também ao realizar esse processo, é alcançado que, de toda a água que entra na usina de dessalinização, são obtidos 40% da água do produto e entre 50-60% da água salgada. O processo é que a água entra por gravidade em um poço. A água é transportada para o sistema de dessalinização por meio de bombas de alimentação, onde ao final delas são adicionadas uma série de elementos químicos. Em seguida, a água passa para quatro tipos de filtros que retêm partículas maiores que quatro microns. No primeiro, a água é separada da mistura de sais e minerais contidos na água do mar. Essa filtragem é feita no estágio de Osmose Reversa (OR) (GAIO, 2016).

Para conseguir um processo econômico de Osmose Reversa, é necessário que os sais cristalizem dentro dos módulos, ou então, que as partículas de diatomáceas e microalgas cheguem às membranas. Para isso, três etapas de filtragem de areia e uma etapa final de microfiltração são realizadas através de cartuchos de fibra sintética. Os elementos químicos adicionados ajudam a impedir a precipitação de minerais dentro das membranas. Finalmente, a água obtida é transportada por bombeamento para o tanque de armazenamento de água potável. Uma vez no tanque, a água é conectada à rede de distribuição (LEVY, 2008).

Globalmente, a maioria das usinas de dessalinização possui uma membrana de Osmose Reversa, onde a água do mar é mecanicamente pressurizada a 60 bar para penetrar no filtro com poros. Não há consumo de energia elétrica. Nanotubos de carbono são usados para fazer a membrana RO, ideal para pequenas plantas a bordo de barcos de pesca e submarinos. A pressão mecânica na membrana é um pouco maior que a pressão osmótica. Luz ultravioleta aplicada à água (ondas de 185nm e 204nm destroem quase todas as bactérias). Há nanofiltração, muito semelhante à OI, a água do mar atravessa a nanomembrana sob pressão mecânica, com poros (100 nm) um pouco maiores que os poros da OR (ALVES, 2017).



**Figura 9.** Diagrama da Osmose Reversa.

**Fonte:** (Association, 2016).

Na parte superior do cilindro, uma pressão mecânica de 20 a 50 atmosferas atua na água do mar. À esquerda vem água dura com sais. À direita vem a água salobra. Abaixo, a água pura de que precisamos flui através dos poros. Bactérias e vírus saem à direita. Outras tecnologias, como a Eletrodialise, comprimem a água com bombas elétricas, para conseguir a separação dos íons positivos e negativos (DIOGO, 2016).

#### 4.4. Novos métodos

O primeiro é um chip desenvolvido pela Universidade do Texas. A aplicação é muito simples. Simplesmente deixe a água correr através de um pequeno canal e uma corrente elétrica de 3 watts é aplicada continuamente. Com isso, consegue-se neutralizar os íons cloreto de sódio e, assim, pode convertê-lo em água potável adequada ao consumo.

A segunda invenção com não menos destaque, é o grafeno, que além de ser o elemento das telas do futuro, também encontrou outro uso. Um estudo da Universidade de Manchester revelou que este material é capaz de filtrar e separar sal da água. Isto é devido à possibilidade de ajustar os poros através dos quais é filtrado em uma escala muito pequena. Dessa forma, pode-se filtrar qualquer impureza, por menor que seja.

Filtros de polímero. Este sistema é muito semelhante ao usado pelas fraldas, esse tipo de filtro absorve a água e, quando expulso, retém a maior parte desse sal. Mesmo assim, não separa 100%, ainda precisa de melhorias.

Atualmente, a Espanha é o quinto país do mundo em número de usinas de dessalinização, com um total de 900. No momento, esse processo só é útil para usar essa água em irrigação, limpeza de estradas ou limpeza de canos, entre outros, o que não é pequeno. No entanto, dados os estragos causados pelas mudanças climáticas, é importante encontrar uma solução de garantia para o futuro. Como se pode ver, ainda é um sistema que ainda precisa de anos de pesquisa para ser rentável e eficaz.

#### 4.5. Pós-tratamento

A água produzida pelos processos de dessalinização precisa de um pós-tratamento, a fim de adaptá-la ao uso que será dado, seja para água potável, agricultura ou para uso industrial. No caso particular deste projeto, é de uso industrial, portanto, a água deve ser adaptada às condições exigidas pela indústria. No caso da água potável, isso deve ser adaptado aos padrões de pureza estabelecidos na Lei. A água pura é um produto químico relativamente reativo. Quando o ar é dissolvido em água extremamente pura, ou seja, com uma quantidade total de sólidos dissolvidos menor que 1 ppm, a solução aquosa resultante demonstra-se com uma alta taxa de corrosão. A água sem ar dissolvido tem um gosto ruim e é imprópria para o consumo humano. Dependendo da aplicação da água tratada, o permeado da Osmose Reversa deve ser condicionado antes do uso final. O permeado de dessalinização por Osmose Reversa apresenta um pH levemente ácido após a Etapa 1, uma concentração de Sais Dissolvidos Totais (SDT) de 70 a 350 mg / L, 2 a 6 mg / L de Ca + Mg e uma concentração de boro entre 0,5 e 1,2 mg / L com base na salinidade da água de alimentação e temperatura (GUERREIRO, 2019).

O quadro 1, logo a seguir, expõem as características de composição química pré-requisitadas para os diferentes tipos de utilização de água:



**Quadro 1.** Tecnologias de tratamento, dependendo da aplicação final.

	Água potável	Água de irrigação	Água de processo
Cloreto de sódio	minimizado	Otimização de SAR	minimizado
Cálcio, Magnésio	Dureza 6-10 <sup>ou</sup> D		minimizado
pH	6,5-8,5		
Boro	minimizado		
Desinfecção	Obrigatório	Não é necessário	

**Fonte:** LEVY, 2008.

Com isto, é possível ramificar em três diferentes tipos de composições exigidas para uso da água, no pós-tratamento:

**a. Água potável**

O cloreto de sódio e o boro podem ser reduzidos adicionando uma segunda etapa de OI, com membranas de água salobra ou de água do mar. Quando a água passa por um segundo passo, o cálcio residual e a concentração de magnésio ficam próximos de zero. Portanto, uma segunda etapa de OI deve ser remineralizada para atingir uma dureza residual típica de 8<sup>o</sup>D (100 mg / l CaCO<sub>3</sub>). Esta solução atende aos requisitos de baixa água de poço de sódio e alto teor de cálcio (KONZEN, 2013).

**b. Água de irrigação**

A água irrigada é mais complexa, com base no equilíbrio entre sódio, cálcio e magnésio, que garante uma boa filtração no solo. Esse equilíbrio é medido pela taxa de absorção de sódio (em inglês, razão de absorção de sódio, SAR) e condutividade elétrica, CE que nada mais é do que o dispositivo usado para especificar o característico elétrico de um material, e pode nos mostrar o grau de eficiência na condução elétrica de materiais.

O boro deve ser removido, pois representa um veneno tóxico para as plantas. Para manter uma CE mínima de 0,3 dS / cm (~ 200 mg / L SDT), uma concentração suficiente de cálcio e magnésio, a segunda etapa da OI deve ser evitada ou, principalmente, desviada.

Portanto, a solução ideal é fazer uso de uma resina de troca iônica específica para remoção do boro e remineralizar (KONZEN, 2013).

### c. Água de processo de arrefecimento

Água de processo é um termo muito genérico que inclui todos os tipos de água que não precisam atender aos requisitos da OMS para água potável. Os requisitos são normalmente os do fabricante da máquina que faz uso de água, como trocador de calor, caldeira, diluição de água, etc. (KONZEN, 2013).

No quadro 2 encontram-se os procedimentos pré-requisitados para que a substância esteja apta para seus diferentes tipos de utilização:

**Quadro 2.** Resumo pós-tratamento

Processo	Água potável	Água de irrigação	Água de processo
remover cloreto de sódio	2º passo OI (BW ou SW)	-	2º passo OI (BW ou SW)
adicionar cálcio / magnésio	remineralização		-
para neutralizar o pH +/- 7	Injeção de NaOH / HCl		
eliminar boro	injeção de soda cáustica	Eliminação específica de boro IX	
desinfecar	Obrigatório	Não requerido	

982

**Fonte:** LEVY, 2008.

Nas indústrias de aquecimento / resfriamento, o processo de água normalmente deve ter uma baixa mineralização para evitar depósitos de tártaro nos tubos ou corrosão por cloretos.

### 4.6. Desvantagens da dessalinização

Embora a dessalinização da água salgada dos mares e oceanos seja uma alternativa viável para solucionar o problema da falta de água doce no planeta, é importante ter em mente que seu uso apresenta uma série de desvantagens: A maioria desses processos devolve o sal resultante ao mar, contribuindo para o aumento do nível de salinidade da água dos mares e oceanos em locais de descarte. Isso dificulta os processos subsequentes de dessalinização e afeta seriamente a vida da fauna e flora marinhas.

O início de uma usina de dessalinização implica em custos muito altos de investimento e manutenção, além de um considerável consumo de energia coberto principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, com os danos ao meio ambiente que isso implica. Finalmente, é importante destacar que a geografia desempenha um papel importante no processo de dessalinização global. Como é evidente, é muito mais caro suprir populações de regiões interiores do que populações localizadas em regiões costeiras. Altitudes mais altas e longas distâncias requerem grandes recursos para o transporte e tratamento de água dessalinizada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem vários tipos de dessalinização e eles diferem em custo, impacto ambiental, qualidade do produto e energia consumida, por comparação entre processos térmicos e de membrana, as diferentes tecnologias foram encontradas existente para dessalinizar a água do mar, número instalações instaladas, tecnologia utilizada, fontes de suprimento e uso de água dessalinizado.

Existem tantos tipos de membrana quanto aplicações. Eles variam de "alta rejeição" a "ultrabaixa energia" ou "alta rejeição de boro". O dispositivo de recuperação de energia é o principal fator que determina os custos elétricos da planta. Ele deve ser escolhido cuidadosamente com base nos custos locais de energia e nas políticas ambientais.

As etapas de pós tratamento ou polimento são necessárias para condicionar a água após o processo de membrana de Osmose Reversa para torná-la adequada para sua aplicação.

O descarte de salmoura pode ser uma questão ambiental e econômica em algumas áreas onde a fauna e a flora são sensíveis ao aumento da salinidade da água do mar local. O descarte de salmoura deve ser estudado e projetado caso a caso.

A arte da dessalinização é determinar e combinar as tecnologias disponíveis para otimizar os custos e a qualidade da produção de água.

As melhorias contínuas nas tecnologias de membrana, sistemas de recuperação de energia e plantas de dessalinização de acoplamento a fontes de energia renováveis oferecem oportunidades para reduzir os custos econômicos da, embora tendências em direção a diretrizes ambientais mais rígidas e fatores de permissão possam fazer com que a tendência de queda nos custos de dessalinização diminua, estabilize ou reverta.

Independentemente, serão necessárias reduções contínuas nos custos econômicos para que a dessalinização seja considerada uma opção viável para abordar essas técnicas em países de baixa renda. As melhorias contínuas nas tecnologias de membrana, sistemas de recuperação de energia e plantas de dessalinização de acoplamento a fontes de energia renováveis oferecem oportunidades para reduzir os custos econômicos da dessalinização, enquanto as tendências em direção a diretrizes ambientais mais rígidas e fatores de permissão pode fazer com que a tendência de queda nos custos de dessalinização diminua, estabilize ou reverta.

Como se pode comprovar, no momento não é um sistema completamente viável e só seria considerado em uma situação crítica. Mesmo conhecendo alguns métodos de dessalinização da água do mar, ainda existem muitos avanços nesse campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALISSON, E. Mais de 70 milhões de brasileiros podem enfrentar falta d'água até 2035. Ago. de 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/mais-de-70-milhoes-de-brasileiros-podem-enfrentar-falta-dagua-ate-2035/31177/>. Acesso: set. de 2019.

ALVES, G.A. **Uso de Eletrodialise para geração de energia elétrica e/ou dessalinização.** Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2017/guilherme-arruda-2017.pdf>. Acesso: jan. de 2019.

984

ANDRADE, R. O. **Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir a primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo.** 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/05/10/para-tirar-o-sal-da-agua/>. Acesso: set. de 2019.

ARAÚJO, A. C. S. P. A. **Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água.** 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/10203>. Acesso em: mar. de 2019

ARCILA, R. I. A. **Gestão de recursos hídricos: governança e gerenciamento de conflitos pelo uso da água em região do Semiárido Nordestino.** 2014. 146 f. Tese (Doutorado). Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19575>. Acesso em: ago. de 2019.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS-ASSOCIATION. **Dessalinização por Reversão por Eletrodialise.** 2016. Disponível em:

[https://www.amtaorg.com/Electrodialysis\\_Reversal\\_Desalination.html](https://www.amtaorg.com/Electrodialysis_Reversal_Desalination.html). Acesso em: nov. de 2019.

BACHER, L. E.; VENZKE, C. D.; GIACOBBO, A. STRIVING, J.; RODRIGUES, M. A. S. **Eletrodialise Reversa e Nano filtração como tratamento de água para abastecimento público.** Disponível em: [https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=449&ano=\\_quinto](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=449&ano=_quinto). Acesso: set. de 2019.

BOLUFER, P. **A China oferece a dessalinização do mar mais econômica.** nov. 2016. Disponível em <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/164303-China-nos-ofrece-la-desalacion-de-mar-mas-economica.html>. Acesso: nov. de 2019.

BOUNDLESS BIOLOGY. **Gradiente eletroquímico.** 2017. Disponível em: <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/structureand-function-of-plasma-membranes-5/active-transport-66/electrochemical-gradient-336-11473/>>. Acesso: set. de 2019.

CAMPOS, R. T.; **Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses.** Brasília: Rev. Econ. Sociol. Rural, vol.45 no.4 out./Dec. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v45n4/a07v45n4>. Acesso em: nov. de 2019

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A. de; ARAUJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira.** Embrapa Semiárido. 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54762/1/01-A-regiao-semiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf>. Acesso em: nov. de 2019

985

COSTA, R. F. **Emprego da Técnica de Eletrodialise na Remoção e Concentração de Cromo em Solução Aquosa Ácida.** Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BR, 1996.

DECICINO, R. **Litoral brasileiro - Costa tem grande importância e deve ser preservada.** 2019. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/litoral-brasileiro-costa-tem-grande-importancia-e-deve-ser-preservada.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso: nov. de 2019.

DIOGO, M. A. A. P. **Dessalinização da Água do Mar.** Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. Covilhã, jun. 2016. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3198/1/RELAT%C3%93RIO%20de%20EST%20%20GIO.pdf>, Acesso em: set. de 2019

DONIDA, E. **Centro de testes de tecnologias de dessalinização é inaugurado na UFCG.** 2019. Disponível em: <http://cct.ufcg.edu.br/noticias/centro-de-testes-de-tecnologias-de-dessalinizacao-e-inaugurado-na-ufcg/>. Acesso: set. de 2019.

DUBON, J. A., e PINHEIRO, J. C. (31 de julho de 2001). repositório. Aproveitamento de águas residuais provenientes de dessalinizadores instalados no estado do Ceará.

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. Disponível em UFC:  
<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/5301>. Acesso em: set. de 2019.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. Mais de 70 milhões de brasileiros podem enfrentar falta d'água até 2035. ago. de 2019. Disponível em:  
<http://agencia.fapesp.br/>. Acesso: out. de 2019

GAIO, S. S. M (2016). **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica.** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE DE LISBOA, Lisboa, Portugal, p.1-76. Disponível em:  
[https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740\\_tm\\_Susana\\_Gaio.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf). Acesso em Jan. de 2019.

GUERREIRO, M. F. L. D. **Dessalinização para produção de água potável: Perspectivas para Portugal.** Jul. de 2009. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização Em Hidráulica. Disponível em:  
<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60336/1/000136611.pdf>. Acesso: set. de 2019.

JUCÁ, S. C. S. **Dimensionamento de uma planta de Eletrodialise acionada por sistema fotovoltaico autônomo.** AGRENER 2004, 5º Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, SP, 2004. Disponível em:  
[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022004000100048&lng=pt&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100048&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: fev. de 2019

986

KONZEN, G. B. **Gestão dos Recursos Hídricos: Elaboração de Modelos Estatísticos, para a Estimativa de Cenários Futuros – O Caso do Rio dos Sinos.** 2013. 106p. Dissertação de Mestrado. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2017). Base cartográfica. **DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO.** Sudene, Nordeste; Sudeste. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em Agosto de 2019.

LEVY, J.Q. **Novas Fontes de abastecimento de água: Reutilização e dessalinização.** Lisboa: Ecoserviços, 2008. ISBN: 978-989-96061-0-4.

LIEB, W. R, STEIN W. D. Chapter 2. Simple Diffusion across the Membrane Barrier. Transport and Diffusion across Cell Membranes. San Diego: Academic Press. pp. 69–112, 1986.

NASSIF, L. O risco de escassez de água doce. 2019.

Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/o-risco-de-escassez-de-a-gua-doce.2019-03-15.4724785357>. Acesso: set. de 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS- ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. 2019. Disponível em <https://www.un.org/>. Acesso: abr. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS- ONU. **Água e Mineração: Fatos e Verdades.** 2015. Disponível em: [http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD\\_CHAVE=241456](http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=241456). Acesso: nov. de 2019.

ORGANIZATION, UNICEF and World Health. **Progress on Drinking Water and Sanitation.** 2012. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2012/jmp\\_report/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/jmp_report/en/). Acesso: set. 2019.

PENA, R. F. **Mundo Educação.** Setembro de 2013. Disponível em Uol: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/a-distribuicao-agua-no-mundo.htm>. Acesso em jun. de 2019.

PEREIRA JÚNIOR, J.S. **Dessalinização de água do mar no litoral nordestino e influência da transposição de água na vazão do Rio São Francisco.** Disponível em: [https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/arquivos-pdf/pdf/2004\\_12195.pdf](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/arquivos-pdf/pdf/2004_12195.pdf). Acesso: set. 2019.

SANCHES, D. & JOKURA, T. **Mundo estranho.** 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/ate-onde-vai-o-territorio-do-brasil-fora-do-continente/>. Acesso: set. de 2019.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal.** São Paulo: Nobel, 2018. 286 p. Disponível em: [https://evz.ufg.br/up/66/o/PROGRAMA\\_BIOCLIMATOLOGIA.pdf](https://evz.ufg.br/up/66/o/PROGRAMA_BIOCLIMATOLOGIA.pdf), Acesso: set. de 2019.

987

SILVEIRA, A. P.; NUVOLARI, A.; DEGASPERI, F. T.; FIRSOFF, W. **Dessalinização de Águas.** São Paulo: Oficina de Textos. 2015. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Dessalinizacao-de-aguas-DEG.pdf>. Acesso: fev. de 2019.

SOUSA, F. L. **DESSALINIZAÇÃO COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA POTÁVEL.** *Norte Científico*, v.1, n.1. 2006. Disponível em UFPB: [http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ppger/documentos/VERSAO\\_FINAL.pdf](http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ppger/documentos/VERSAO_FINAL.pdf). Acesso em jan. de 2019.

SUEZ W. **Água e tecnologias de água. Membranas de Osmose Reversa para tratamento de água.** 2019. Disponível em: <https://www.suezwatertechnologies.com.br/products/reverse-osmosis>. Acesso: set. 2019.

TARANTO, D. **Dessalinização já é realidade no Brasil.** 2019.

Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/dessalinizacao-realidade-brasil/>. Acesso: set. 2019.

TUNDISI, J.G. **Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.: 25 cm. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0103-40142008000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-40142008000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: mar. de 2019.

UNEP - United Nations Environmental Programme: Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Small Island Developing States. 1998. Disponível em: <http://www.nzdl.org/gsdldmod?e=d-00000-00---off-ofnl2%2E2--00-0-----o-10-0---o---odirect-10---4-----o-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4-----o-0-11-10-outfZz-8-00&cl=CL3,31&d=HASH3d2b712eafacff9c7fe5f7&x=1>. Acesso em: nov. de 2019.