

DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

Jhonatan Eduardo Rougier¹ e Maria Laura Nery Pinto¹
Dra. Monica Tais Siqueira D'Amélio Felipe²

Universidade São Francisco
jhonatanrougier@gmail.com

¹Alunos do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professora Orientadora Doutora, Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. Com a evolução da sociedade e o aumento da necessidade e da demanda por água potável, torna-se cada vez mais viável e necessária a busca por métodos alternativos de purificação para obtenção deste recurso. O presente trabalho teve como objetivo aprofundar as pesquisas em relação ao método de dessalinização da água por osmose reversa, estudando a sua eficiência, seus custos e vantagens em diferentes regiões do mundo, bem como comparando valores e resultados obtidos em experimentos realizados por autores estudados ao longo do mesmo. Com isso, foram analisados os parâmetros fundamentais para uma água potável, os locais em que já se utiliza água proveniente de um dessalinizador e sua eficiência. Por fim, confirmado a viabilidade do método, foi proposto o projeto de um dessalinizador em condições ideais para uma situação real através do estudo de seus componentes e proposição dos que trariam a melhor eficiência.

Palavras-chave: dessalinização, processo de membranas e osmose reversa.

Abstract. With the evolution of society and the increase in the need and demand for drinking water, it becomes increasingly viable and necessary to search for alternative methods of purification to obtain this resource. The present work aimed to deepen the research on the method of water desalination by reverse osmosis, studying its efficiency, costs and advantages in different regions of the world, as well as comparing values and results obtained in experiments carried out by authors studied in the throughout it. Thus, the fundamental parameters for drinking water were analyzed, the places where water from a desalinator is already used, and its efficiency. Finally, after confirming the viability of the method, the design of a desalinator in ideal conditions for a real situation was proposed through the study of its components and proposition of those that would bring the best efficiency.

Keywords: desalination, membrane process and reverse osmosis.

Introdução

Atualmente, a falta de água doce é um problema que afeta todo o mundo. Com o avanço da industrialização, o constante crescimento populacional, o aumento da urbanização e o aumento da demanda em geral, o consumo de água potável foi aumentado consideravelmente.

Apesar de o planeta Terra ser considerado azul, devido a 70% de sua superfície estar coberta por água, cerca de 97,61% da água total é proveniente das águas dos oceanos, ou seja, água salgada. O que sobra são águas doces provenientes de calotas polares e geleiras, água subterrânea e água doce de lagos.

De acordo com projeções realizadas pela ONU (Organização das Nações Unidas) a previsão é de que até 2050, aproximadamente 45% da população mundial não terá a quantidade mínima de água, resultado proveniente do estresse hídrico devido ao consumo superior à capacidade de renovação natural desse recurso.

Com a grande quantidade de água salgada no planeta, vêm sido desenvolvidos métodos para tornar a água vinda dos oceanos apropriada para o consumo humano, viabilizando o custo e a sustentabilidade. Um dos métodos desenvolvidos é a filtração através da osmose reversa. Este é um mecanismo de fácil utilização que filtra a água retirando os sais e impurezas, tornando-a apropriada para o consumo humano.

Osmose reversa é um processo de separação em que um solvente é separado de um soluto de baixa massa molecular por uma membrana permeável ao solvente e impermeável ao soluto. Isso ocorre diante da aplicação de uma grande pressão sobre este meio aquoso, o que contraria o fluxo natural da osmose e resulta na purificação do solvente estudado.

Ainda, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), esse processo é capaz de reter até 99,98% de microrganismos, toxinas e os mais variados componentes que possam estar presentes na água. O desenvolvimento deste processo em grande escala pode sanar os problemas de escassez, uma vez que a água pode ser utilizada para limpeza, jardim, agronegócio e sistemas de esgoto, diminuindo assim o consumo de água potável utilizada para outros fins que não seja o consumo humano.

Neste contexto, este trabalho de graduação teve como objetivo aprofundar as pesquisas a respeito da viabilidade deste método nas diferentes regiões do mundo através de comparações entre parâmetros e resultados, bem como análise de dados e custos de projetos já existentes. Foi realizado também o estudo de um dessalinizador e a proposição de um projeto para uma unidade dessalinização em condições ideais e com componentes ideais para a melhor eficiência.

Referencial Teórico

Abastecimento de água para o consumo humano

O consumo mínimo de água por habitante, segundo a OMS e a UNICEF (Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância), é de 20 L por dia, cálculo este feito através das necessidades consideradas essenciais a cada cidadão (HELLER; PADUA, 2006).

A Tabela 1 apresenta a disponibilidade hídrica per capita dos estados brasileiros em metros cúbicos por habitantes em um ano. Nota-se que em 2015, 8 estados brasileiros já apresentavam indícios de falta de água.

Tabela 1 - Disponibilidade hídrica per capita dos estados brasileiros.

Disponibilidade hídrica per capita (m ³ /hab./ano)	Estados	Situação
> 20.000	AC, AM, AP, GO, MS, MT, PA, RO, RR, RS e TO	Riquíssimo
> 10.000	MA, MG, SC e PR	Muito Rico
> 5.000	ES e PI	Rico
> 2.500	BA e SP	Situação adequada
< 2.500	CE, RJ, RN, DF, AL e SE	Pobres
< 1.500	PE e PE	Situação crítica

Fonte: PENA, 2015.

Existe uma relação íntima entre os investimentos em tratamento de água e os índices de internações e gastos com saúde pública, já que isso seria diminuído caso o orçamento liberado para tratamentos fosse maior e mais bem aplicado. Dados divulgados pelo Ministério da Saúde mostram que para cada R\$1,00 investido em saneamento gera-se uma economia de R\$4,00 em investimentos com saúde. A relação encontrada é tal que, quanto menos pessoas com comprometimento de saúde, menos gasto com internações e mais produtividade elas proporcionarão ao Estado em forma de trabalho e geração de renda (FLORENÇANO; COELHO, 2014).

Dessalinização

O método consiste em retirar essas impurezas da água de duas formas distintas: processos envolvendo dessalinização térmica e processos de membranas. O objetivo de ambos é reduzir a quantidade de sólidos dissolvidos na água de origem para torná-la potável o que torna o tratamento após a extração extremamente necessário, visto que o nível de sais concentrados nesta água está além do permitido pela OMS a ser ingerido, que é de 500 ppm. Também deve-se considerar que a água bruta não é benéfica à saúde e não possui um gosto agradável.

Osmose

A **osmose direta** (OD) consiste em migração natural do solvente para o local de maior concentração para que o sistema seja equilibrado (SIGNORELLI, 2015). É um dos processos mais importantes para o equilíbrio do nosso organismo, bem como para a nutrição das nossas próprias células.

Consiste na difusão de um solvente que ocorre quando duas ou mais soluções com concentrações diferentes estão separadas pela membrana plasmática que por sua vez possui permeabilidade seletiva, ou seja, ela será permeável ao solvente, mas não ao soluto. O mecanismo depende do potencial da água e das concentrações dos solutos de cada lado da membrana. Durante o processo, existe a movimentação do meio aquoso onde a concentração da solução é menor (hipotônico) para o lado onde a concentração é maior (hipertônico) (ATKINS e PAULA, 2017).

Assim, a osmose sempre está em busca de se obter um equilíbrio chamado de equilíbrio osmótico. Este processo não usa a energia das células e por isso é considerada um tipo de transporte passivo, pois a água tende a atravessar a membrana celular naturalmente, buscando o equilíbrio. No entanto, durante o processo, existe uma pressão natural que o lado de maior concentração exerce no sistema para que a água passe para outro lado da membrana. Este fenômeno é chamado de pressão osmótica. Quanto maior for a dureza da água (grande concentração de substâncias dissolvidas) maior será a pressão osmótica presente no processo. Logo, quando se tem água pura como solução, a pressão osmótica é nula (ATKINS e PAULA, 2017).

Esse processo envolve transformações físicas, químicas e biológicas garantindo a nutrição de todas as células e está presente em todos os seres vivos na Terra.

Osmose Reversa (OR)

A **osmose reversa**, assim como a osmose direta, é um método de separação por membranas, mas ela ocorre quando há presença de uma pressão maior do que a pressão osmótica natural. Neste método, a movimentação ocorre de forma contrária à osmose, sendo que a solução flui do lado mais concentrado para o lado menos concentrado (hipertônico para hipotônico). Devido à alta concentração de substâncias dissolvidas, a membrana permite

apenas a passagem da água, retendo todo e qualquer tipo de substância dissolvida no meio, também sendo possível isolar bactérias, vírus e vários outros tipos sólidos presentes, gerando água com alto grau de pureza (FUNASA, 2014).

Atualmente, a principal utilização da osmose reversa é a dessalinização da água marinha. O mecanismo se encontra presente em navios e barcos de pequeno porte para evitar a falta de água potável para os tripulantes. Em alguns lugares do mundo, ela é fundamental para resolver os problemas da escassez de água potável. Nestes casos, o sistema e a produção possuem maior escala quando comparados aos sistemas presentes nos navios (SIGNORELLI, 2015).

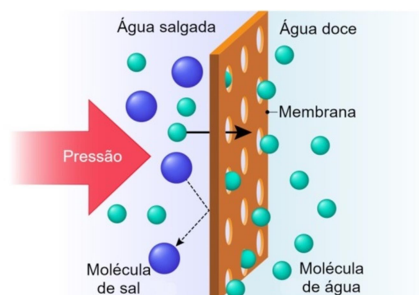


Figura 1 - Dessalinização por osmose reversa (Fonte: TORRI, 2015).

Setores de aplicabilidade da água dessalinizada

A água proveniente de osmose reversa tem diversas aplicações como a utilização para irrigação rural, setor que utiliza muito de água provenientes de rios e lagos. Também pode ser utilizada em larga escala dentro das indústrias como na alimentação de caldeiras que exigem um alto teor de purificação e também a ausência de sais na água, pois a evaporação da água causa a incrustação da superfície dos tubos, reduzindo a transferência de calor, aumentando o consumo de combustível e o risco de explosões. É muito utilizada também na produção de produtos químicos farmacêuticos, hospitalares e laboratoriais já que fornece máxima pureza em seus produtos. Além da dessalinização da água do mar, esta tem sido uma grande esperança de solução para a crise hídrica a qual vivemos. Na prática, a pressão de operação da planta de dessalinização deve superar a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução (SANTOS, 2015).

Parâmetros de Análise

Os parâmetros de análise podem ser físicos, químicos ou microbiológicos. Os **físicos** podem ser a cor e a turbidez, conforme detalhado abaixo.

A **cor** é produzida a partir da reflexão da luz em partículas com dimensões inferiores a 1 μm e é um parâmetro de origem natural e que deve ser analisado de maneira visual. A cor da água é medida através da comparação entre uma amostra de água com um padrão de cobalto-platina, dando o resultado em unidades de Hazen (uH). Este número, segundo a Portaria MS nº 2.914 /11 do Ministério da Saúde, deve ser de 15 uH para que atenda aos padrões de potabilidade. Itens como pH e sólidos suspensos podem alterar o resultado da cor e, por tanto, estes devem ser verificados antes da coleta da amostra para análise. (CAR BA, 2019).

A **turbidez** é causada por partículas suspensas que vão provocar a dispersão e absorção da luz, ocasionando aspecto nebuloso na água, além de que prejudica a desinfecção desta água já que forma uma camada sobre os microrganismos e impede que estes sejam

removidos facilmente (CAR BA, 2019). Segundo a Portaria MS nº 2914/2011, o padrão de turbidez é de 5,0 UNT como limite máximo em água potável.

Os **parâmetros químicos** são: a salinidade, número de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH, alcalinidade.

A **salinidade** é definida como a concentração total dos íons dissolvidos em água. Portanto, quanto maior a salinidade da água, maior é a quantidade de íons dissolvidos e, consequentemente, maior a sua condutividade elétrica (TORRI, 2015).

O padrão de potabilidade referido aos sólidos se restringe apenas à análise de **TDS** (do inglês - *Total Dissolved Solids* - Sólidos Totais Dissolvidos), a qual é feita a partir do total de sólidos dissolvidos em uma amostra. As águas com altos níveis de sólidos dissolvidos são consideradas inadequadas ao uso industrial já que estes podem se prejudicar os equipamentos do processo, e não ideal para o consumo humano, pois estas partículas afetam a qualidade organoléptica¹ da água (CAR BA, 2019).

A Tabela 2 traz a relação entre a potabilidade da água e o número totais de sólidos dissolvidos, em mg/L:

Tabela 2 - O sabor de água de acordo com a concentração de sólidos totais dissolvidos.

Potabilidade	Sólidos Dissolvidos (mg/L)
Excelente	Menos que 300
Boa	Entre 300 e 600
Razoável	Entre 600 e 900
Pobre	Entre 900 e 1.200
Inaceitável	Maior que 1.200

Fonte: Adaptado de TORRI, 2015.

A Tabela 3 traz números de distribuição de íons dissolvidos por litro na água do mar e, complementarmente, a Tabela 4 irá explicitar a quantidade, em gramas por litro de água, desses sais em alguns dos mares e oceanos do planeta, para a visualização da importância da dessalinização para a utilização desta água.

Tabela 3 - Distribuição dos íons dissolvidos por litro de água.

	Massa (g)	Massa molar (g/mol)	Mols
Cl ⁻	18,980	35,500	0,535
Na ⁺	10,566	23,000	0,459
SO ₄ ²⁻	2,649	96,000	0,028
Mg ²⁺	1,272	24,000	0,053
HCO ⁻	0,140	61,000	0,002
Ca ²⁺	0,400	40,000	0,010
K ⁺	0,380	39,000	0,010

Fonte: Adaptado de TORRI, 2015.

Tabela 4 - Distribuição dos íons dissolvidos por litro de água.

Localização	Quantidade (g/L)
Oceano Atlântico	35,4
Oceano Índico	34,8
Oceano Pacífico	34,0
Mar Mediterrâneo	37,4
Mar Negro	18,0
Mar Vermelho	40,0
Mar Morto	270,0
Mar de Aral	348,0

Fonte: Adaptado de DARWISH, 2000.

¹ “Propriedades **organolépticas** aquelas que podem ser facilmente percebidas pelos sentidos: olfato, visão, paladar e tato.”

A Portaria MS nº 2914/11 determina que o limite máximo permissível de *TDS* na água é de 1.000 mg/L.

A **condutividade elétrica** é resultado da capacidade de uma amostra conduzir eletricidade e, pode-se dizer que quanto maior a quantidade de sais dissolvidos, maior a condutividade elétrica (CAR BA, 2019). Ela é medida através de um condutivímetro e sua unidade de medida é $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nas águas naturais a condutividade varia entre 10 e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CAR BA, 2019).

O **pH** irá medir a concentração de íons H^+ e sua atividade na água, determinando se esta é alcalina, ácida ou neutra. O pH é uma das principais características físico-químicas da água, já que irá influenciar na distribuição dos compostos na água e no grau de solubilidade das substâncias, entre outros (CAR BA, 2019).

A seguir, na Tabela 5, é possível analisar as faixas de pH e as respectivas substâncias relacionadas.

Tabela 5 - Relação entre as substâncias presentes na água e o pH.

Substâncias	Faixas de pH
Hidróxidos e Carbonatos	11 – 9,4
Carbonatos e Bicarbonatos	9,4 – 8,3
Somente Bicarbonatos	8,3 – 4,6
Ácidos Minerais	4,6 – 3,0

Fonte: CAR BA, 2019.

A medição do pH é feita através de um pHmetro e, para a Portaria MS nº 2914/11, recomenda-se o fornecimento de água em pH na faixa de 6,0 a 9,5.

A **alcalinidade** é calculada através da medida de componentes presentes em uma amostra de água que são capazes de neutralizar os íons H^+ ou, em outras palavras, quantidade de substâncias que vão resistir às mudanças de pH, também conhecidas como tampão (CAR BA, 2019). Ela é determinada por volumetria e a unidade de medida é mg/L de CaCO_3 e, por não apresentar risco à saúde humana, ela não é considerada um padrão de potabilidade, mas precisa ser entendida, medida e estudada, já que tem ligação direta com o pH (CAR BA, 2019).

Porém, falando sobre osmose reversa, a alcalinidade é um dos principais fatores já que está diretamente relacionada com a formação de incrustações nas membranas de filtração devido ao carbonato de cálcio, processo este que resultará em perda da eficiência deste separados devido à redução da área disponível para retenção de compostos (CAR BA, 2019).

Os **parâmetros microbiológicos** são determinados através de indicadores e os tradicionais são as bactérias do grupo coliforme e, podem ser divididas em 3 grupos: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. A escolha vai variar de acordo com a necessidade, o microrganismo de interesse, as condições do ambiente e produto de teste e o tempo necessário para a saída do resultado (CAR BA, 2019).

Estes parâmetros se diferem dos parâmetros físicos e químicos e devem ser tratados como prioridade quando se refere à qualidade e potabilidade da água, já que a presença de microrganismos pode ser de alto risco. Para determinar a presença destes microrganismos são utilizados diversos mecanismos e testes com indicadores (CAR BA, 2019).

Abaixo, na Tabela 6, apresentam-se alguns parâmetros microbiológicos que serão utilizados mais tarde nos resultados como forma de comparação e apresentação de dados.

Tabela 6 - Parâmetros microbiológicos de análise da água.

Bactérias Heterotróficas	Coliformes Totais	Pseudomonas
< 100 UFC/mL	Ausente	Ausente

Fonte: Dados da empresa pesquisada (divulgação do nome não permitida).

Limitações do processo de dessalinização

Em regiões como o nordeste brasileiro, a maior parte do recurso hídrico encontra-se no subsolo, o qual possui rochas cristalinas que, quando em contato por um longo período de tempo com a água, inicia um processo de salinização. Por este motivo, o tratamento após a extração é extremamente necessário, visto que o nível de sais concentrados nesta parcela de água está além do permitido pela OMS a ser ingerido, que é de 500 ppm (SOARES *et al.*, 2006).

Ao analisar o processo de dessalinização, é importante ter uma visão bastante crítica no que se refere às águas residuais, as quais são altamente salinas e de grande potencial poluente.

Uma das opções, segundo Mickley (2004b), é a destinação em águas superficiais de mares ou rio, mas isso deve ser verificado pois é necessário que haja compatibilidade entre a água de rejeito e as águas receptoras e, este processo pode exigir diluição. E, mesmo que os custos desta opção sejam relativamente baixos, deve-se atentar às vidas aquáticas nas áreas receptoras, considerando os possíveis impactos do processo (SOARES *et al.*, 2006).

Para instalações localizadas no litoral, tem-se a facilidade destinação destes rejeitos nas águas do mar, visto que já há certa concentração de sal e, esta nova demanda descarregada do processo, é facilmente misturada nas correntes. O único ponto a ser verificado é o estudo dos ecossistemas existentes no local de potencial destinação dos rejeitos, afim de que a vida marinha não seja prejudicada (SOARES *et al.*, 2006).

Já no caso de instalações de pequeno porte situadas no interior do continente, segundo Mickley (2004b), o descarte em águas marinhas fica inviável devido às distâncias e, conseqüentemente, aos altos custos de transporte até lá. Por isso, existem outras possibilidades de destinação em rios e esgotos, no solo ou em tanques de evaporação e cristalização (SOARES *et al.*, 2006).

No caso da destinação em esgotos, pode-se acarretar a necessidade de pré tratamento ou diluição do rejeito antes do destino propriamente dito, pois sem estas etapas, o problema somente será adiado e deslocado para outro local distante da sua origem já que pode prejudicar o processo de tratamento do esgoto (SOARES *et al.*, 2006).

Pode-se comentar também quanto à destinação do rejeito em poços profundos, pois este método não é muito viável economicamente e depende das condições hidrogeológicas da região em que se deseja aplicá-lo (SOARES *et al.*, 2006).

Outro método mencionado anteriormente e não menos importante, é o tanque de evaporação que, apesar de ser viável para instalações no centro do continente, pode atrair vidas selvagens e prejudicá-las (SOARES *et al.*, 2006).

Nos EUA (Estados Unidos da América) utiliza-se a destinação da água proveniente dos rejeitos para irrigação, já que ela pode aplicada para irrigação de culturas ou vegetação, mediante aspersores ou por superfície, podendo-se ainda irrigar áreas de lazer como gramados, campos de golfe ou cinturões de preservação ambiental (SOARES *et al.*, 2006).

O processo de cristalização do rejeito seria o mais viável, visto que reduz o volume de líquidos a serem manuseados. Este processo está em estudo pois, os sais obtidos são predominantemente NaCl que pode ser utilizado para suplementação humana e animal. Se houver uma breve avaliação do clima da região nordeste, esta técnica é favorecida pelas altas temperaturas (SOARES *et al.*, 2006).

Por fim, Soares *et al.* (2006) desenvolveu um estudo a partir da utilização da água proveniente de rejeitos para o crescimento de mudas e, observou-se que houve um retorno positivo no cultivo de mudas ornamentais, florestais e frutíferas, já que isso possibilitará a diluição dos sais no ambiente, além de que isso possibilitaria a utilização em grande escala, considerando possíveis projetos de reflorestamento que podem vir a adquirir estas mudas.

Desta forma, estudou-se diversos métodos de dessalinização da água, afim de compará-los através de resultados e melhores eficiências em determinadas regiões.

Viabilidade Econômica

A dessalinização responde pelo aumento recorde na produção de água doce no ano de 2009 – 9,5 milhões de metros cúbicos por dia, um acréscimo que corresponde a cerca de 10% da capacidade de produção global (ARAIA, 2010).

Para instalações localizadas no litoral, tem-se a facilidade de destinação destes rejeitos nas águas do mar, visto que já há certa concentração de sal e, esta nova demanda descarregada do processo, é facilmente misturada nas correntes. O único ponto a ser verificado é o estudo dos ecossistemas existentes no local de potencial destinação dos rejeitos, a fim de que a vida marinha não seja prejudicada (TORRI, 2015).

Com o aumento populacional e a intensificação do aquecimento global que gera maiores fontes de água salgada no mundo, a dessalinização se torna uma das fontes mais importantes (ARAIA, 2010).

A dessalinização está entre as práticas mais sustentáveis que podemos pensar nos dias de hoje.

Com as inovações tecnológicas, a dessalinização, processo que antes chegava a necessitar de investimentos 5 ou 10 vezes maiores que os outros métodos de purificação existentes, atualmente teve esse custo reduzido em cerca de 50%, tornando-se mais viável (ARAIA, 2010). A quantidade de energia necessária para dessalinizar a água do mar foi reduzida pela metade, se analisado o período entre 1980 e 2005 devido às melhorias no processo e exploração de novos sistemas para recuperação de energia. Com a diminuição do uso da energia, há um impacto direto na precificação do processo (TORRI, 2015).

O custo de um processo de dessalinização considera o custo de capital associado à construção e aos processos de operação em si e o custo de água produzida é obtido através do cálculo da soma dos custos listados acima dividida pela quantidade total de água produzida. Além destas variáveis, o custo do processo pode ser interferido pelo aumento da precificação de materiais de construção, da energia e outros recursos diretamente ligados ao processo, bem como a dificuldade de obtenção de incentivos fiscais governamentais que podem vir a auxiliar na decisão da localização da sua planta.

Se comparados os métodos térmicos com o processo de Osmose Reversa, nota-se que eles têm um maior custo devido à alta quantidade de combustíveis que requerem para aquecer a água salgada. Mas, em termos de eficiência, quando há grande quantidade de sais, os sistemas térmicos tomam frente (TORRI, 2015).

Neste trabalho, estudou-se o sistema de dessalinização por osmose reversa, analisou-se a viabilidade pelo estudo do processo em diferentes regiões do mundo, e sugeriu-se um projeto de uma unidade de dessalinização por osmose reversa em uma situação real.

Metodologia

A metodologia deste trabalho está esquematicamente apresentada no fluxograma da Figura 2, o qual detalha o processo utilizado para a realização da seleção dos trabalhos a serem estudados e discutidos, análise de métodos e valores e, por fim, as proposições e resultados.

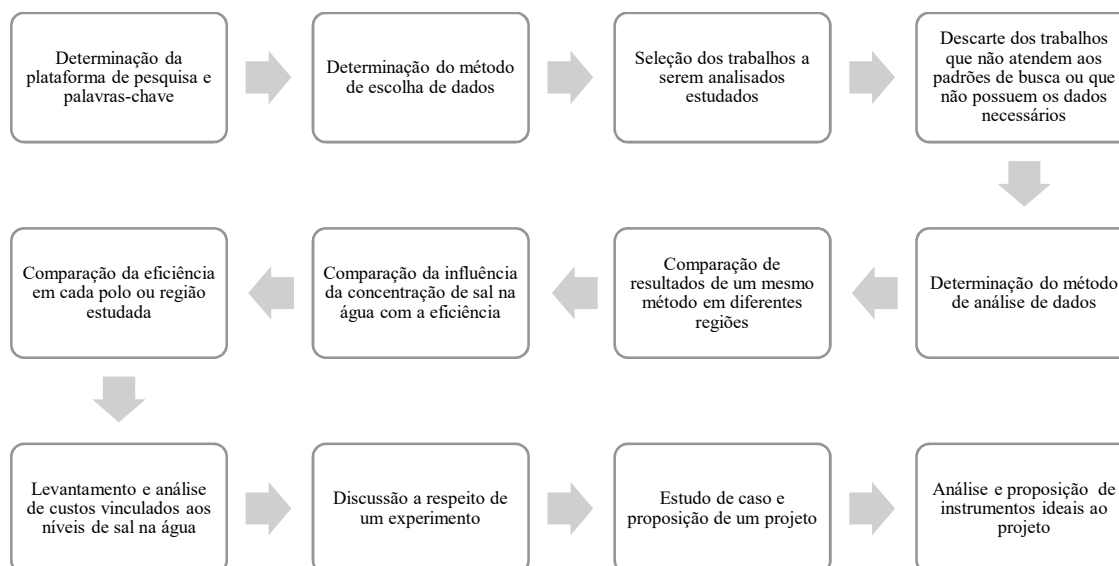


Figura 2 – Fluxograma representativo da metodologia utilizada no presente trabalho.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para obtenção de dados para realizar análises e comparações qualitativas e quantitativas sobre a dessalinização, por meio de pesquisas bibliográficas nas plataformas *Research Gate* e *Google Acadêmico*, utilizando as palavras chave: “dessalinização”, “processo de membranas” e “osmose reversa”. As fontes de coleta de informações foram selecionadas considerando a comparação de dados entre as regiões estudadas. A escolha das regiões teve como critério o maior número de dados apresentados para análise e dissertação.

Para cada polo foram apresentadas suas capacidades de dessalinização, comparadas à capacidade de dessalinização entre as regiões e à capacidade diária de produção de água dessalinizada, com o custo e com o tamanho do projeto a ser desenvolvido. O objetivo dessa análise foi mostrar que, independentemente da concentração de sais dissolvidos, o processo de dessalinização pode ser viável, se aplicado corretamente.

Foi discutido um experimento realizado por Caetano e Silva Neto no ano de 2018, no Rio de Janeiro, considerando os resultados obtidos e a forma com que foi feito também com o intuito de demonstrar a viabilidade da dessalinização utilizando o método de osmose reversa, trazendo um projeto executado e que obteve bons resultados.

Por fim, foi realizada uma pesquisa aprofundada de um dessalinizador, foi feito um estudo de caso na Universidade São Francisco, campus Bragança Paulista com dados disponibilizados no trabalho de conclusão de curso de alunas do curso de Engenharia Civil da universidade no ano de 2019, analisando-se os dados dispostos neste material e, por fim, propôs-se um projeto na situação ideal para o fornecimento de água através de um dessalinizador, considerando todos os instrumentos necessários ao processo, o rendimento desejado no tempo desejado visando, também, a integridade do aparelho dessalinizador.

Resultados e Discussão

Os resultados descritos e discutidos neste tópico estão divididos em 4 etapas: a apresentação de um dessalinizador e suas partes, apresentação de alguns polos de dessalinização com suas capacidades e características, comparação entre a capacidade de dessalinização por região de cada polo, avaliação de custos entre os polos baseada na quantidade de sal e sua influência no tamanho do projeto e, consequentemente, no custo como os tipos de bombas a serem utilizadas, discussão a respeito de um experimento realizado por

Caetano e Silva Neto (2018). Também traz um estudo de caso de cálculo de um dessalinizador com aplicação para a universidade São Francisco

Estudo dos componentes de um dessalinizador

Um dessalinizador é composto por uma série de itens primordiais para seu correto funcionamento. Esses equipamentos devem ser de boa qualidade, pois a pressão gerada pelo sistema é muito grande e sempre existe o risco de quebra. Também é necessário sempre manter o equipamento limpo. Ao menos uma vez por mês é necessário lavar todo o sistema e descartar essa água antes de voltar a produzir novamente. É necessário o operador sempre estar atento à vida útil das membranas afim de garantir a qualidade da água final e também realizar todas as manutenções preventivas para evitar problemas no abastecimento. A Figura 3 apresenta os principais componentes de um dessalinizador.

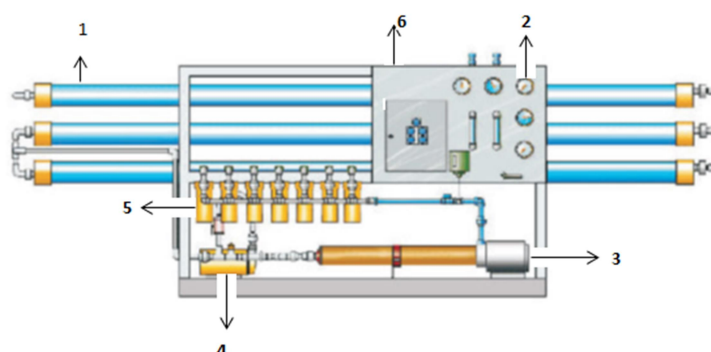


Figura 3 - Componentes de um dessalinizador (Fonte: CERB BA, 2011).

Os principais componentes são:

1. **Tubos de alta pressão** – Nestes tubos estão instaladas as membranas, onde os espelhos de travamento, tubulações e mangueiras devem estar bem encaixados e sem vazamento. A água salobra provoca a ferrugem na estrutura.
2. **Manômetros de pressão** – Utilizados para medir a pressão antes dos filtros, a pressão após os filtros, a pressão antes da passagem nas membranas, a pressão após a passagem nas membranas e a pressão de saída da água potável
3. **Bomba de retrolavagem** – É utilizada para limpeza dos elementos de membrana após o processo de dessalinização evitando que as membranas descansem com a água salobra. Deve ser ligada todos os dias após a operação do dessalinizador. Essa bomba também pode ser utilizada durante a limpeza química dos elementos de membranas para circulação da solução de limpeza
4. **Filtros de Cartuchos** – São elementos que fazem parte do pré-tratamento da água de alimentação e/ou do pós tratamento d'água permeada do sistema. A porosidade do filtro e sua área são os parâmetros que definem a taxa de filtração.
5. **Quadro de comando** - Deve ser mantido sempre limpo e com os seus parafusos, e terminais bem apertados.
6. **Bomba de Alta Pressão (Pressão Positiva)** – É o componente do sistema que gera a pressão necessária para as membranas produzirem uma vazão de água requerida com certa qualidade. Usualmente, as bombas são do tipo: estágio único, centrífuga de alta velocidade, pistão com deslocamento positivo, centrífuga com multiestágios.

Além das bombas citadas, ainda existe a **bomba dosadora**. Esta é utilizada para fazer a injeção de produtos químicos antes dos elementos de membranas (anti-incrustantes ou

inibidores) como também na corrente de permeado (correção de pH e/ou desinfecção), e podem ser do tipo diafragma ou peristáltico.

A utilização de bombas é essencial em todos os sistemas. Elas são responsáveis por gerar a pressão no sistema. Também são responsáveis por limpar as membranas após o processo e dosar os produtos químicos que são utilizados no processo.

Viabilidade da dessalinização em alguns polos mundiais

A capacidade de dessalinização dos polos é medida em metros cúbicos por hora e os custos gerados pela produção são calculados a cada metro cubico de água produzida.

Os polos de dessalinização estudados foram: Fernando de Noronha (Brasil), Espanha, Israel e Arábia Saudita.

O arquipélago de Fernando de Noronha possui o maior sistema de dessalinização do Brasil para tornar a água potável. É a principal fonte de água potável do lugar abastecendo cerca de 4 mil moradores e de 500 turistas mensais. A capacidade de dessalinização atualmente é de 15 m³/h e corresponde, atualmente, a 60% do abastecimento da ilha, o restante é preenchido com captação de água doce do Açude do Xaréu e por poços artesianos.

A Espanha, atualmente, possui mais de 800 plantas de dessalinização, produzindo um total de 5,2 milhões de m³ de água por dia para mais de 10 milhões de pessoas. Hoje, é o quarto país que mais dessaliniza água salina do mundo, ficando atrás apenas da Arábia Saudita, Emirados Árabes e Estados Unidos (HABIBI e SABATO, 2013).

Em Israel, mais da metade do território em área é composto pelo deserto. Sendo assim, 76% da água para consumo doméstico já provém da dessalinização. As usinas de dessalinização fornecem 670 milhões de metros cúbicos por ano, dos 880 milhões consumidos domesticamente no país. A planta de *Sorek* é a maior do país, com capacidade diária de produção de 560.000 m³ de água dessalinizada, a um custo de 0,52 US\$/m³ de água produzida (TENNE, 2015).

A Arábia Saudita é o país que mais dessaliniza atualmente. A maior parte do país é banhada pelo Mar Vermelho e pelo Golfo Árabe. Do Mar Vermelho se dessaliniza 2.428.880 m³ de água por dia, já do Golfo Árabe, são dessalinizados 2.727.414 m³, totalizando 5.156.294 m³ de água dessalinizada por dia. (AL-ALSHAIKH, 2015).

A Tabela 7 mostra a capacidade de dessalinização diária de diferentes regiões.

Tabela 7 - Capacidade de dessalinização diária por região.

Polo de Dessalinização	Capacidade Diária
Fernando de Noronha	360 m ³
Israel	560 mil m ³
Espanha	5 mi de m ³
Arábia Saudita	5,2 mi m ³

Custos da dessalinização

Os custos de dessalinização dependem da salinidade da água utilizada no processo gera uma leve influência no custo final da produção e abastecimento de água. Em locais com maior concentração de sal na água marinha o custo é levemente maior quando comparado à locais de menor concentração.

Outro fator que influenciou no custo de produção foi a quantidade produzida de água diariamente. Para sistemas de tamanho médio, 12.000 - 60.000 m³ de água por dia, o custo da dessalinização variou de 0,44 US\$/m³ e 1,62 US\$/m³. Para unidade com capacidade diária de 1000 - 5000 m³ o custo da dessalinização ficou na faixa de 0,56 US\$/m³ e 3,15 US\$/m³ e para unidades com uma capacidade menores que 1000 m³, o custo apresentou ser mais caro, cerca de 1,78 US\$/m³ - 15,20 US\$/m³. (DMAE, 2015; CEDAE, 2015).

Isso mostra que a capacidade e a quantidade de produção de água promovem um impacto direto no custo final do processo. Locais com maiores dependências e demandas como os países do Oriente Médio apresentaram um custo menor do que locais em com baixa demanda como Fernando de Noronha.

Nos países de Oriente Médio, o custo da água produzida variou entre 0,80 US\$/m³ e 1,20 US\$/m³. Já para países europeus, o custo ficou em torno 0,50 US\$/m³ e 1,00 US\$/m³. O polo de Fernando de Noronha cobra pela água o equivalente a R\$ 2,74/m³ (0,48 US\$/m³, considerando o dólar à R\$ 5,68 cotação da época analisada). A Tabela 8 compara os custos da dessalinização de acordo com a região que foi analisada.

Tabela 8 - Custos de dessalinização por região.

Polo de Dessalinização	Salinidade (g/L)	Custo (US\$/m ³)
América do Sul	35,4	0,87
Europa	35,4	0,5 a 1,00
Oriente médio	40,0	0,80 a 1,20

Apesar das diferenças de concentrações de sal na água do mar entre as regiões, o sistema de osmose reversa foi capaz de purificar a água com eficiência, se mostrando uma alternativa promissora como solução para a crescente escassez de água doce mundial e, nesse aspecto, a Figura 4 mostra a capacidade global acumulada de dessalinização planejada e realizada.

Segundo dados fornecidos, a capacidade mundial de dessalinização em 2012 era de 77,4 milhões de m³ por dia (TORRI, 2015).

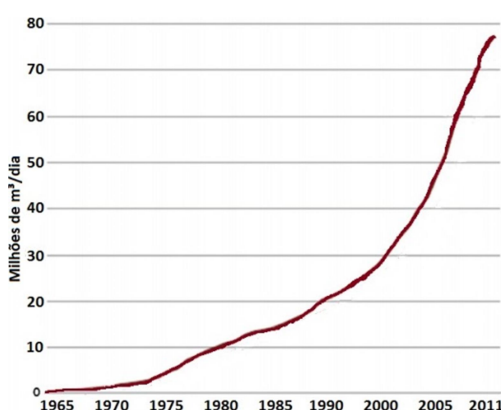


Figura 4 - Capacidade global acumulada de dessalinização planejada e realizada (Fonte: Adaptado de GWI DesalData, 2012).

Apresentação da viabilidade da dessalinização quando aplicada em diversas concentrações de sólidos totais dissolvidos na água de entrada

Considerando o método de osmose reversa, Caetano e Silva Neto (2018) desenvolveram um protótipo dessalinizador por osmose reversa, analisando amostras de água salobra de uma determinada região do Rio de Janeiro com três concentrações de sal diferentes, 1, 2 e 3 ‰, buscando obter, ao final do estudo, água isenta de sal.

O esquema experimental consiste em dois reservatórios para simular a fonte de água salobra e armazenar a água pré-filtrada, bem como outros recipientes para acondicionamento da água filtrada e dos resíduos.

Os procedimentos foram executados em períodos diferentes, mas seguindo sempre os mesmos métodos e, os resultados estão expressos na Figura 5. As retas representadas em cada gráfico seguem as mesmas cores afim de facilitar a comparação entre os estudos: reta azul da salinidade da água de entrada mostra que a concentração foi aumentada durante o tempo; as

retas vermelha, verde e roxa comprovam que a salinidade do permeado, a quantidade de permeado produzida e o resíduo produzido permaneceram constantes independente do abastecimento do sistema.

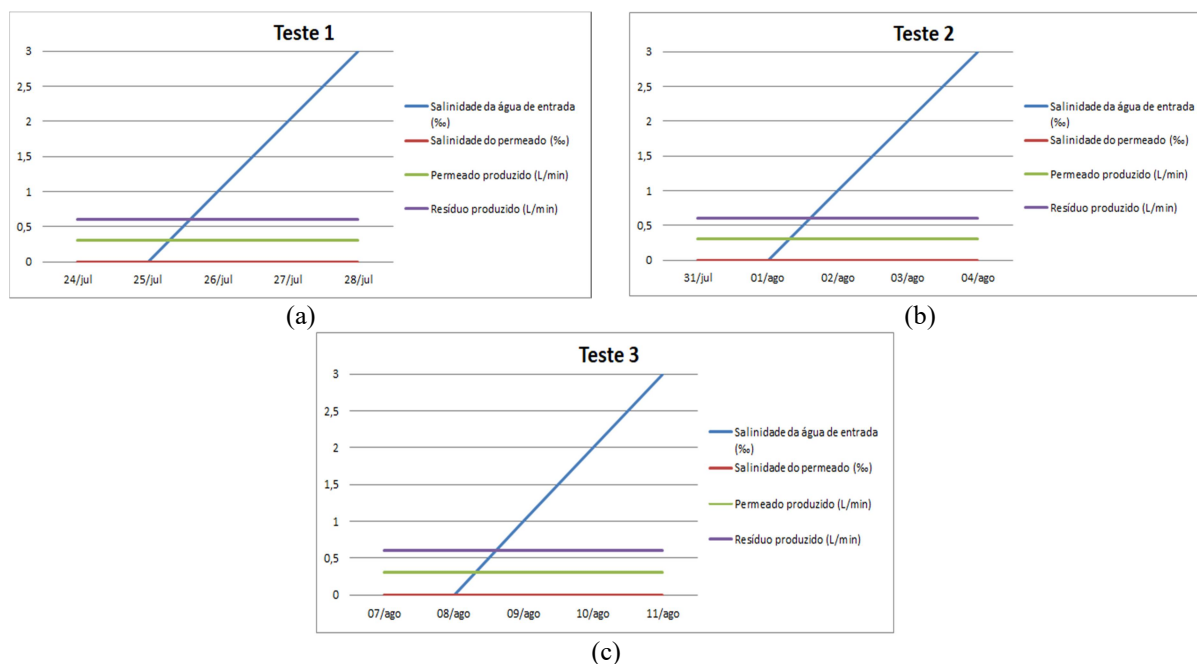


Figura 5 - Resultados obtidos (a) primeiro teste; (b) segundo teste e (c) terceiro teste do protótipo (Fonte: Adaptado de CAETANO e SILVA NETO, 2018).

É possível notar que o projeto foi totalmente eficaz e que, ao longo do estudo, o permeado teve salinidade igual a 0‰ independente da salinidade da água de entrada, alcançando os parâmetros determinados pela Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Houve também uma constância se observada a vazão de saída de permeado e resíduos.

As análises são realizadas afim de acompanhar a estabilidade de um estudo, monitorar a qualidade da água obtida após certo método e, principalmente, demonstrar que o método aplicado para purificação da água foi de fato eficaz.

Dimensionamento Dessalinizador para a Universidade São Francisco – Campus Bragança Paulista

Para o projeto de um dessalinizador, foram utilizados dados de consumo de água no ano de 2018 na Universidade São Francisco campus Bragança Paulista, o qual corresponde a 79.292,00 m³ no ano ou 6.607,67 m³ por mês. O custo anual gerado por este consumo corresponde a R\$ 1.321.334,00 (MATOS e HEREDIA, 2019).

Propondo alternativas para a fonte hídrica, foi desenvolvido um projeto para um dessalinizador que pudesse abastecer a Universidade e o dimensionamento do projeto foi feito considerando a capacidade mensal expressa acima para o cálculo da média diária, que foi de 217,24 m³ a serem produzidos por dia ou 9,052 m³/hora (9052 L/ hora).

A partir desses dados, fez-se o estudo da capacidade produtiva de um dessalinizador a partir dos parâmetros apresentados por Ferran (2021). Esses dados permitiram determinar a quantidade de horas necessária no funcionamento do dessalinizador para que a quantidade desejada de água seja produzida por dia.

Na Tabela 9, apresenta-se as especificações do dessalinizador e a relação com as horas a serem trabalhadas.

Tabela 9 - Especificações do dessalinizador e relação com as horas a serem trabalhadas.

Modelo	Vazão (L/h) – Água Dessalinizada	Quantidade – Membranas	Potência (CV)	Dimensões (larg. x h x prof.)	Horas Trabalhadas/dia
WW90	9000	9 – 8”x40”	15	3,5 x 1,5 x 1,0m	24
WW120	12000	12 – 8”x40”	20	3,5 x 1,5 x 1,0m	18,1
WW150	15000	15 – 8”x40”	25	3,5 x 1,5 x 1,0m	14,5
WW180	18000	18 – 8”x40”	30	6,5 x 12,0 x 1,0m	12,1

Para o bom funcionamento do sistema, é importante dimensionar bem o projeto para que não sobrecarregue a planta e nem o sistema da osmose. Considerando isso, é importante projetar um sistema que não permaneça o tempo todo funcionando para que, além de não sobrecarregar a planta, ainda seja possível ter tempo para realizar manutenções preventivas e realizar a limpeza do sistema.

Sendo assim, o projeto que atenderia às necessidades seria o modelo WW150. Com ele, o tempo de trabalho para produzir a quantidade necessária de água diária seria de 14,5h conforme o recomendado. Assim é possível prevenir que ocorram grandes desgastes ou que a água seja saturada.

Com um tempo de operação destes, é possível realizar toda a preparação da membrana e do equipamento pré tratamento e também pós tratamento sem que haja parada na rotina e no período de funcionamento da Universidade. Considerou-se que a Universidade mantém suas atividades das 8h às 22h, o que gera a necessidade de manuseio entre este intervalo de tempo.

Nesse sistema, o acionamento do sistema é feito através de um sensor de nível no tanque de estocagem ou através de um relé temporizador digital. Assim, se o nível de água abaixar o sensor faz com que o sistema inicie até completar toda a capacidade programada. O relé temporizador é responsável por controlar o tempo em que o sistema ficará em funcionamento. Ambos devem ser configurados previamente de acordo com a necessidade do usuário.

Foi feito um estudo de tipos de membrana e discussão sobre qual a ideal para este caso, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Tipos de membrana e relação com porosidade e produtividade.

Tipo de Membrana	Espessura	Porosidade e produtividade	Referência
Poliamida Aromática	10 a 200 µm	Devido ao grande volume ocupado pelos poros e pela espessura elevada, a produtividade e porosidade dessas membranas são muito pequenas, assim como o fluxo de permeado. Isso faz com que fiquem fora da faixa de interesse comercial.	MOURA <i>et al.</i> 2008
Acetato de Celulose	0.1 a 0.5 µm	Apesar de possuir custos de produção mais baixos, possui grande tendência em compactar-se em uma estrutura cada vez mais densa devido à baixa espessura, o que leva também a baixa resistência a pressões do processo de filtração, diminuindo a vida útil da membrana.	MOURA <i>et al.</i> 2008
Compósito de Filme Fino (TFC)	Filme 50 a 400 nm Microporos 140 µm	Grande vazão de água e maior rejeição de sais devido ao fato de possuir um filme fino juntamente com a camada porosa.	KHORSHIDI, B. <i>et al.</i> 2016

Ao realizar a análise da Tabela 10 para a determinação da membrana ideal, escolheu-se a TFC devido à grande vazão e maior rejeição de sais, visando o destino dessa água tratada dentro da Universidade, resultados estes que somente são alcançados devido ao uso do filme fino juntamente com a camada porosa. Analisando as outras membranas, elas não são utilizadas como base para cálculos e análise já que a primeira, de poliamida aromática, possui

Para a tubulação do sistema é recomendado que se projete com tubos de inox devido às suas características como resistência a corrosão, boa troca de calor e alta durabilidade. Também é recomendado que seja feito em inox, pois a água final será para consumo humano e o inox é livre de contaminantes. O diâmetro e comprimento das tubulações é determinado através de um *software* desenvolvido pela empresa Ferran Tratamento de Água devido à alta complexidade dos cálculos a serem feitos. Infelizmente não foi possível ter acesso a esses dados.

Tabela 11 - Preço dos dessalinizadores da Ferran Tratamento de Água.

Vazão (L/h)	Custo (R\$)
200	17.000,00
4000	66.000,00
6000	110.000,00
10000	205.000,00
13000	300.000,00
15000	381.000,00

Sendo assim, o projeto se torna viável. Considerando o custo mensal de R\$ 110.111,00 para o abastecimento da universidade e desconsiderando os custos de operação, a planta se pagará em aproximadamente 4 meses de atividade.

O projeto escolhido apresenta potência total de 25cv. Logo, as bombas de sucção e pressão positiva juntas devem ter a potência de 20cv enquanto a de retrolavagem deve ter 5cv de potência.

Energia (Elétrica) <small>MOTOBOMBA CENTRÍFUGA</small> Indústria Schulz S.A. Mod: SM22-375		Consumo de Energia (kWh/h) 6,06 Rendimento do Conjunto (%) 44,30 Rendimento da Bomba (%) 49,00	
Mais eficiente 		Vazão (m³/h) 14,00 Altura Manométrica (m c.a.) 70,70 Rotação Corrigida (rpm) 3500 Diâmetro do Rotor (mm) 138,0 Reg. Inmetro 000307/2018	menos eficiente



Figura 6 - Bomba Centrífuga (Fonte: ELETRISHOP, 2021).

Foi escolhida devido ao baixo índice de manutenção e o bom custo benefício relatado por clientes que a avaliaram. No entanto, essa bomba não possui boa eficiência energética apresentando classe de nível D. Isso já era esperado pois bombas centrifugas costumam ter rendimentos baixos devido às várias perdas como na cavitação e recalque do fluido.

As bombas de retrolavagem e alimentação utilizam 5cv cada uma. Para esse sistema o modelo escolhido foi uma **Bomba Schneider Multiestágio Me-al 2250v 5,0CV – Trifásica**, apresentada na Figura 7.



Figura 7 - Bomba multiestágio (Fonte: BOMBAS SHOPPING, 2021).

Essas bombas são usadas em grande escala nas indústrias e podem ser encontradas facilmente assim, como mão de obra para manutenção. A bomba de dosadora tem uma única função, então não existem modelos com grandes diferenças. Sendo assim, a bomba que foi escolhida foi uma **Bomba Dosadora Exata 07bar 5l/h**, apresentada na figura 8.



Figura 8 - Bomba Dosadora (Fonte: VIA FILTROS, 2021).

Essa bomba é a mais comum no mercado e atende todas as necessidades do projeto.

A Tabela 12 mostra o custo de cada uma das bombas que foram escolhidas para o projeto.

Tabela 12 - Custo total de bombas necessárias para o projeto.

Modelo	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Motobomba Centrífuga	2	R\$ 2.853,00	R\$ 5.706,00
Bomba Schneider Multiestágio	2	R\$ 4.551,00	R\$ 9.102,00
Bomba Dosadora	1	R\$ 874,00	R\$ 874,00

Com isso, o custo com bombas para o projeto é de R\$ 15.682,00. Considerando o gasto mensal de R\$ 110.111,00 para o abastecimento da universidade e desconsiderando os custos de operação, a planta se pagará em aproximadamente 4 meses de atividade.

Conclusão

O objetivo deste trabalho de graduação foi aprofundar as pesquisas a respeito da viabilidade da dessalinização por osmose reversa comparando dados e custos de diferentes regiões, bem como estudar um dessalinizador e propor um projeto para uma unidade dessalinização em condições e componentes ideais. A dessalinização está sendo um grande

aliado no combate à escassez hídrica mundial. Esta pode ser realizada de inúmeras formas com grande eficácia. Sem dúvidas, este método é a principal alternativa para garantir o abastecimento de toda população e ainda preservar o meio ambiente.

Sobre o trabalho de CAETANO e SILVA NETO, concluiu-se que, independentemente da concentração de sal contida na água a ser dessalinizada, o procedimento é viável e eficiente, fato este que pode ser evidenciado pela água produzida ser pura e potável conforme determinam as normativas e diretrizes atuais e vigentes.

O cálculo para dimensionamento de um projeto se mostrou um tanto complexo. Este é um dos motivos por ainda ser um projeto de alto custo, mas, se comparado há pouco tempo, o custo vem diminuindo e várias regiões do planeta já contam com esse processo. Também foi visto que já existem empresas que fornecem o sistema pronto, projetado e esquematizado, de acordo com a necessidade do cliente.

O estudo de caso envolvendo o projeto de um dessalinizador para abastecer a Universidade São Francisco no Campus de Bragança Paulista permitiu estudar diversos componentes e seus objetivos, possibilitando realizar o dimensionamento de um sistema que atendesse a demanda da Universidade. Sendo assim, o sistema ideal seria um dessalinizador por osmose reversa que operasse 14,5h por dia com 25cv de potência, utilizando membranas do tipo Compósito de Filme Fino (TFC) e tubulação de inox.

Para isso, baseou-se nos estudos realizados ao longo desse trabalho que comprovaram a eficiência do método através da exposição, comparação e discussão de valores e formas de aplicação em diferentes regiões do mundo, sendo interessante e viável em todas elas.

Logo, a dessalinização por osmose reversa se mostrou uma das formas mais seguras e de ação imediata como alternativa para a escassez hídrica, mesmo sendo um processo em desenvolvimento que necessita estudos aprofundados, empenho e especialmente investimentos.

Agradecimentos à professora e orientadora Dra. Monica Tais Siqueira D'Amélio Felipe que nos orientou nos permitindo finalizar este trabalho com maestria. Agradecimentos à Universidade São Francisco que nos possibilitou concluir esta graduação sempre fornecendo todo o apoio necessário. Também a todo o corpo docente que nos fizeram engenheiros.

Referências Bibliográficas

AL-ALSHAIKH, A. 2015. *The World's Largest Desalination Market: Saudi Arabia*. In: Water Reuse And Desalination For Latin America Development.

ARAIA, Eduardo. 2010. **Dessalinização. Você ainda vai beber dessa água.** Revista planeta. Nº edição: 455. Disponível em: <https://www.revistaplaneta.com.br/dessalinizacao-voce-ainda-vai-beber-dessa-agua/>. Acesso em: 18 de abril de 2021.

ATKINS, P.; PAULA, J. 2017. **Físico-Química – Fundamentos**. 6ª edição. LTC: Grupo GEN.. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634577/>>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

BOMBAS SHOPPING. 2021. **Bomba multiestágio Schneider**. Disponível em: <https://www.bombashopping.com.br/bomba-schneider-me-al-2250-50cv-trifasica-60hz-220380440v-0030000001527/p>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

CAETANO, E.; SILVA NETO, R. 2018. **Desenvolvimento de protótipo experimental de dessalinizador por osmose reversa para o tratamento em água salobra em áreas rurais**. Revista Águas Subterrâneas, v. 32, n.3, p. 372-379.

CAR BA. 2019. **Parâmetros do processo de osmose inversa e de qualidade da água em sistemas de dessalinização**. Programa Água Doce, Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional, Governo do Estado da Bahia. Disponível em: http://www.car.ba.gov.br/sites/default/files/2019-07/Anexo_3_Manutencao_C.pdf. Acesso em: 14 de junho de 2021.

CEDAE. 2015. **Estrutura Tarifária**. Governo do Estado: Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

CERB BA. 2011. **Manual de dessalinizador**. Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia. Disponível em: [http://www.cerb.ba.gov.br/sites/www.cerb.ba.gov.br/files/sala_de_imprensa/publicacoes/MANUAL%20DESSANILIZADOR\[1\].pdf](http://www.cerb.ba.gov.br/sites/www.cerb.ba.gov.br/files/sala_de_imprensa/publicacoes/MANUAL%20DESSANILIZADOR[1].pdf). Acesso em: 02 de outubro de 2021.

DARWISH, M.A. 2000. **Desalination Process: A Technical Comparison**. In: Proceedings of IDA World Congress on Desalination and Water Sciences, Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos, Vol. I, 149–173.

DMAE. 2015. **Informações – Água; Tarifas**. Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?reg=9&p_secao=177. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

ELETRISHOP. 2021. **Motobomba Centrífuga Multiestágio**. Disponível em: <https://www.eletrishop.com.br/bombas-d-agua/motobomba-centrifuga-multiestagio-sm22-375-7-5cv-220v-380v>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

FERRAN. 2021. **Osmose Reversa A Partir De 1600 L/h**. Ferran Tratamento De Água. Disponível em: <https://ferran.com.br/sp/osmose-reversa-a-partir-de-2500lh/>. Acesso em: 02 de outubro de 2021.

FLORENÇANO, José Carlos Simões; COELHO, Francisco de Assis. 2014. **O abastecimento de água e seus reflexos na saúde da população**. Revista Construindo, v. 06, n.º. 1, p. 42-50. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/2575>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

FRANKLIN ELECTRIC. 2019. **Tabela de seleção de bombas e motobombas**. Franklin Electric. Disponível em: https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/264019/schneider_tabela_selecao_01-2019_rev08.pdf. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. 2014. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Brasília: Funasa.

GLOBAL WATER INTELLIGENCE. 2012. **Market Profile: Desalination Markets 2007 Preview**, p.27.

HABIBI, A.; SABATO, R. 2013. **Escassez de água: desafio ameaçador, mas com um futuro promissor**. University of Pennsylvania, Wharton, jan. 2013. Disponível em: <https://www.knowledgeatwharton.com.br/article/escassez-de-agua-desafio-ameacador- mas-com-um-futuro-promissor/>. Acesso em: 09 de setembro de 2021.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. 2006. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG. Belo Horizonte. ISBN: 85-7041-516-8. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt->

BR&lr=&id=XFnnhzqetCoC&oi=fnd&pg=PA29&dq=hist%C3%B3rico+água&ots=Hy1vue82lr&sig=XTSVwU4hQvVXDOvNo9ofPv_CKq8#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 07 de abril de 2021.

KHORSHIDI, B. et al. 2016. **Uma nova abordagem para a fabricação de membranas de poliamida compostas de filme fino de alto desempenho**. Sci. Rep. 6, 22069; doi: 10.1038 / srep22069.

MATOS G, F.; HEREDIA M.L, G. 2019. **Estimativa de redução no consumo anual de água através de aproveitamento de água pluviais para fins não potáveis – Estudo de caso da Universidade São Francisco (Campus Bragança Paulista)**. Orientador: Prof. Me. Heitor Berger Campos. Engenharia Civil. Universidade São Francisco.

MOURA, J.P.; MONTEIRO, G.S.; SILVA, J.N.; PINTO, F.A.; FRANÇA, K.P. 2008. **Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino**. Universidade Federal de Campina Grande-UFCG-LABDES-Laboratório de Dessalinização.

PENA, Rodolfo F. Alves. 2015. **Distribuição da água no Brasil**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

SANTOS, Vanessa S. dos. 2015. **Podemos beber a água do mar?**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/biologia/podemos-beber-agua-mar.htm>. Acesso em 10 de abril de 2021.

SIGNORELLI, Matheus R. M. 2015. **Dessalinização: Métodos e Possibilidades**. Orientador: Jorge Eduardo Da Silva Ourique. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

SOARES, Tales M.; SILVA, Iran J. O. da; DUARTE, Sergio N.; SILVA, Ênio F. de F. 2006. **Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 730-737. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2021.

TENNE, A. 2015. **Closing the gap the Israeli experience**. In: Water Reuse And Desalination For Latin America Development.

TORRI, Júlia B. 2015. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações**. Orientadora: Aline Schilling Cassini. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

VIA FILTROS. 2021. **Bomba dosadora**. Disponível em: https://loja.viafiltros.com.br/bomba-dosadora?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&sku=86&gclid=Cj0KCQiAys2MBhDOARIsAff1D1fp_L6frMrrhol9MrO8nmzjdj077Zkjoy8tKyV6U9IlyzqnhvCk0-toaAv2CEALw_wcB. Acesso em: 10 de novembro de 2021.