



**MARINHA DO BRASIL**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**

**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**

**BRUNELLA DUTRA CALDEIRA**

**DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NA MARINHA MERCANTE**

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**BRUNELLA DUTRA CALDEIRA**

**DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NA MARINHA MERCANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Nélio Fernandes Pereira

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**BRUNELLA DUTRA CALDEIRA**

**DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NA MARINHA MERCANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof. Nélio Fernandes Pereira

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho aos meus pais Adroaldo Junior e Sandra, pessoas que sempre me incentivaram, apoiaram e acreditaram que eu poderia chegar onde estou hoje. Além disso, investiram nos melhores estudos e educação e me ensinaram os valores e caráter de um ser humano.

Agradeço primeiramente a Deus, porque sem Ele seria impossível chegar onde estou hoje.

Sou grata aos meus pais pelo apoio que sempre demonstraram, investimento nos estudos e por me ensinarem os valores que moldam o caráter do ser humano.

Agradeço ao meu orientador Nélio, que estava sempre pronto a me ajudar e que conquistou meu respeito e admiração como docente no decorrer desses anos.

Agradeço também aos meus amigos, sobretudo aos mais próximos, que com o tempo se tornaram a minha família dentro da escola, sou grata pelo suporte e companheirismo. Aos amigos fora da escola agradeço a paciência e o apoio que sempre demonstraram.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si”.

*Ayrton Senna*

## RESUMO

A água doce acessível representa apenas 1% de toda a água do mundo, ela é indispensável para a vida na Terra como no interior das embarcações. Por isso, foram desenvolvidos sistemas para dessalinizar a água salgada, esses equipamentos podem ser os destiladores ou osmose reversa, que tem sido usados em usinas em terra para a produção de água potável em regiões que sofrem com escassez ou em embarcações marítimas a fim de que se tornem autossuficientes navegando. Serão analisados os pontos positivos e negativos de cada sistema de dessalinização, a tendência do mercado, os mais utilizados a bordo, o princípio de funcionamento de cada um e a manutenção.

**Palavras-chave:** Dessalinizadores. Água destilada. Destilador. Osmose Reversa.

## **ABSTRACT**

The available freshwater represents only 1 % of all water in the world, it is essential to life on Earth as inside the vessels. Therefore, systems have been developed to desalinate seawater , such equipment can be distillers or reverse osmosis , which has been used in land plants for the production of fresh water in regions suffering from shortages or marine vessels so that become self-sufficient sailing . The positives and negatives of each desalination system will be analyzed, the market trend, the most frequently used on board, the operating principle of each and maintenance.

**Keywords:** Fresh water generators. Fresh water. Distiller. Reverse Osmosis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição da água no mundo	11
Figura 2	Usina dessalinizadora em Jubail na Arábia Saudita	14
Figura 3	Usina de dessalinização de Tel Aviv em Israel	15
Figura 4	Interior da usina de Israel	15
Figura 5	Dessalinização por corrente elétrica	16
Figura 6	Água de arrefecimento do motor	19
Figura 7	Funcionamento do trocador de calor	20
Figura 8	Funcionamento do destilador	23
Figura 9	Destilador Alfa Laval aberto	24
Figura 10	Incrustação na placa de titânio do destilador	27
Figura 11	Equipamento de osmose reversa	28
Figura 12	Osmose	29
Figura 13	Osmose e osmose reversa	30
Figura 14	Membrana de osmose reversa	31
Figura 15	Esterilização ultravioleta	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>A ÁGUA NO PLANETA</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Fonte de água doce</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>DESSALINIZAÇÃO ANTIGA, ATUAL E MODERNA</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>O USO DOS RECURSOS HÍDRICOS A BORDO</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>O uso da água destilada a mineralizada a bordo</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>O uso da água salgada a bordo</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>EQUIPAMENTOS PARA A DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Destilador</b>	<b>21</b>
5.1.1	Processo	21
5.1.2	Equipamento	23
5.1.3	Uso em embarcações	25
5.1.4	Manutenção	26
<b>5.2</b>	<b>Osmose reversa</b>	<b>27</b>
5.2.1	Processo de osmose	28
5.2.2	Processo de osmose reversa	29
5.2.3	Equipamento	30
5.2.4	Uso em embarcações	32
5.2.5	Manutenção	33
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE DESTILADOR E OSMOSE REVERSA</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>TENDÊNCIA DO MERCADO</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Custo do equipamento</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>Mão de obra especializada</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A dessalinização da água do mar é fundamental a bordo das embarcações mercantes, seja para a utilização nas máquinas ou para o consumo básico da tripulação. O uso de água destilada a bordo pode ser exemplificada nas caldeiras, no arrefecimento do motor, nos chuveiros e para a limpeza.

Os dois sistemas mais encontrados a bordo são o destilador e a osmose reversa. As embarcações têm substituído os destiladores, utilizam a evaporação da água salgada no processo de dessalinização, pelas membranas de osmose reversa, utilizam membranas semipermeáveis para reduzir a quantidade de sal na água.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as características, o funcionamento, o custo de instalação e manutenção dos equipamentos de dessalinização. Além disso, comparar o destilador e a osmose reversa, em relação ao custo, manutenção, quantidade de água produzida e PPM (partícula por milhão) na água produzida.

## 2 A ÁGUA NO PLANETA

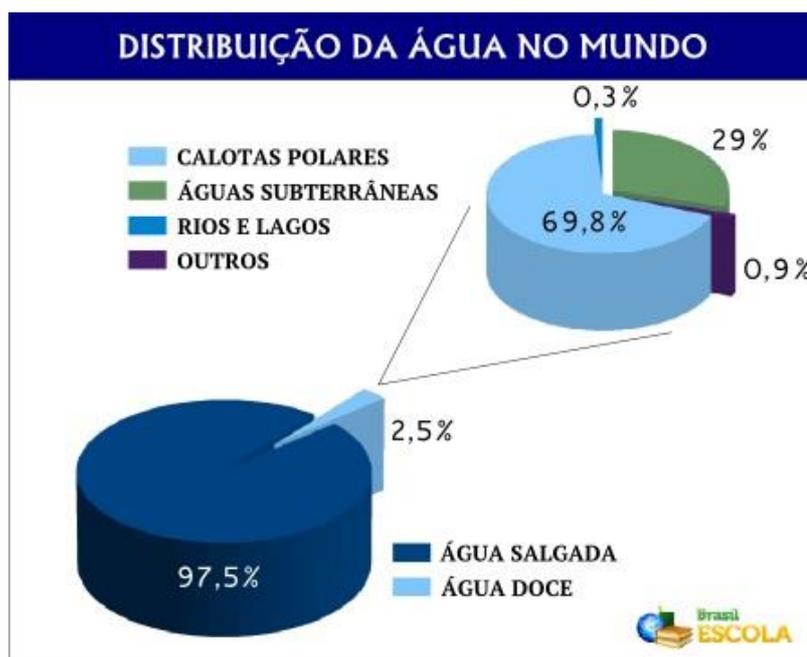
Todos os seres vivos, independente do que fazem e de que parte do planeta Terra vivem precisam de água para sobreviver. Incluindo os seres humanos que são composto de 70% a 75% de água e precisam diariamente de água.

A água potável é um recurso finito que se espalha em partes desiguais pela superfície terrestre. Se, por um lado, seu ciclo natural se responsabiliza pela sua manutenção tornando-a um recurso renovável, por outro, suas reservas são limitadas.

Preocupar-se com a escassez de água em um planeta que tem 75% de sua superfície coberta por água e é chamado de planeta água parece absurdo. No entanto, a maior parte do volume de água no planeta encontra-se nos mares e oceanos como água salgada, impróprio para o consumo e utilização humana.

O planeta Terra possui 75% da sua superfície recoberto de água, mas apenas 3% representa água doce. E somente 1% é acessível e destinada ao consumo do qual a sua potabilidade deve estar dentro dos padrões da OMS (Organização Mundial de Saúde). O restante está concentrado em geleiras, calotas polares e lençóis freáticos profundos.

Figura 1 Distribuição da água no mundo



Segundo a ONU um terço da população mundial, mais de dois bilhões de pessoas, não tem acesso a água tratada. Se os atuais padrões de consumo se mantiverem, duas em cada três pessoas no mundo vão sofrer escassez moderada ou grave de água até 2025.

## **2.1 Fontes de água doce**

A água doce utilizada pelo homem vem das represas, rios, lagos, açudes, reservas subterrâneas e em certos casos do mar (após o processo de dessalinização). Viabilização da produção e consumo de água destilada em embarcações e terminais.

A água doce é uma necessidade das embarcações também, para que ela seja independente de fontes externas, procura-se os melhores alternativas de produção e utilização de água destilada produzida pelos dessalinizadores. Além disso, esse modelo pode ser utilizado pelas regiões que sofrem com escassez de água doce, para torna-las potáveis, ou seja, apropriada ao consumo humano.

### 3 DESSALINIZAÇÃO ANTIGA, ATUAL E MODERNA

Com a mecanização no período da revolução industrial países onde a escassez de água doce era hostil passaram a utilizar um sistema de desmineralização da água do mar por evaporação térmica conhecida como destiladores que foram introduzidos nos navios para suprir e aumentar a sua autonomia nos mares. E, após os anos 60 uma nova tecnologia revolucionou o processo de dessalinização da água, o processo conhecido como osmose reversa.

O processo de dessalinização por osmose reversa é recente. Entre 1953 a 1959 ocorreu a primeira tentativa nos EUA, por JE Breton e CE Reid, Califórnia, foi inaugurada uma planta piloto de dessalinização por osmose reversa.

Na segunda metade dos anos 60 os EUA incentivaram parcerias com as universidades e empresas privadas, gerando projetos inovadores que dão um passo decisivo no tratamento de água por osmose reversa. Surgem a partir daí empresas que passam a dominar a fabricação de membranas.

Em 1965 a planta piloto da Califórnia, EUA, é incorporada ao sistema de abastecimento de água potável, marcando o início do fornecimento comercial de água potável a partir da tecnologia de dessalinização por osmose reversa.

Em 1971, é solicitada a patente da membrana de osmose reversa construída em poliamida aromática, que veio a dominar o mercado de membranas de osmose reversa, aumentando significativamente a durabilidade desses elementos. Na segunda metade dos anos 70 são construídas as primeiras plantas industriais para produzir água potável.

A maior planta industrial do mundo para dessalinização da água do mar esta localizada na cidade de Jubail na Arábia Saudita, e possui a capacidade de dessalinizar 800 milhões de litros de água por dia.

Figura 2 Usina dessalinizadora em Jubail na Arábia Saudita



Fonte: <http://engenharia-quimica.blogspot.com.br/2012/09/sobre-o-maior-complexo-do-mundo-para.html>

Parte do vapor produzido alimenta o processo de dessalinização, a qual comporta 27 unidades de dessalinização baseadas nas tecnologias de destilação de múltiplo efeito e compressão térmica de vapor.

Este é um processo térmico que envolve o aquecimento e ebulição da água do mar em vários andares a pressões sucessivamente reduzidas, que permite recolher água destilada que é depois remineralizada de acordo com as especificações de qualidade pretendida.

Esse processo de dessalinização térmico que envolve aquecimento e ebulição da água demanda uma grande quantidade de energia, por isso, as novas usinas dessalinizadoras da Arábia Saudita estão sendo construídas juntamente com usinas de energia.

Diferentemente da usina de dessalinização de Jubail na Arábia Saudita que o processo de dessalinização é térmico, a usina de Tel Aviv em Israel, Soreq, é a maior do mundo em dessalinização por osmose reversa.

O governo de Israel investiu cerca de US\$ 500 milhões na construção de Soreq e aumentar a quantidade de água doce para abastecimento público do país, captando

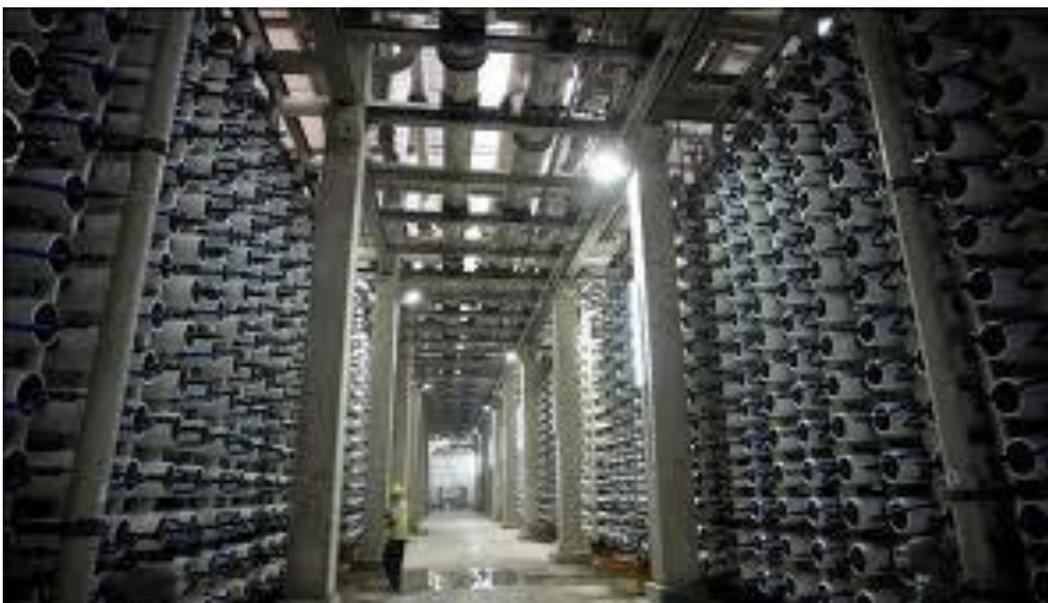
água do mar Mediterrâneo. A usina produz 624 milhões de litros de água doce tratada por dia, suficiente para abastecer uma cidade com 2 milhões de habitantes.

Figura 3 Usina de dessalinização de Tel Aviv em Israel



Fonte: <http://agua.org.br/maior-usina-dessalinizacao-israel/>

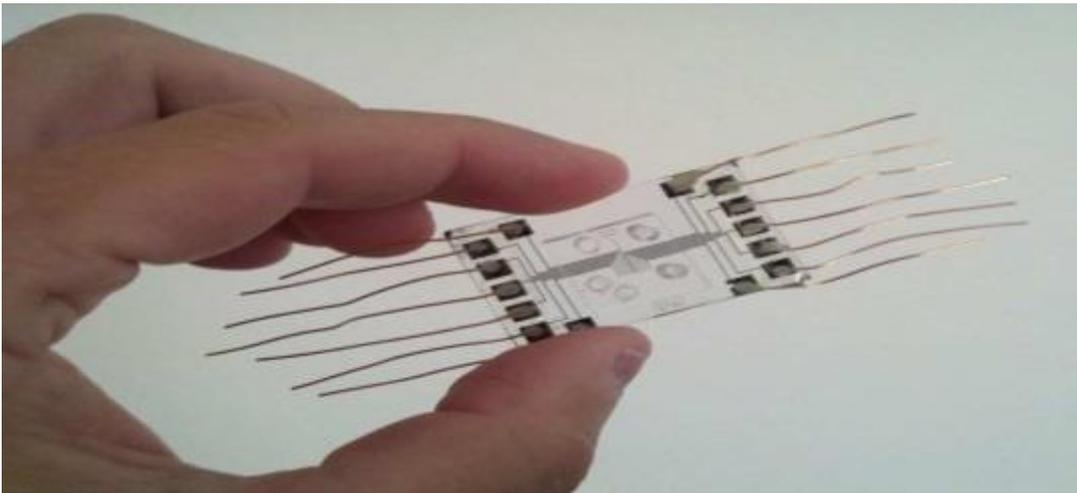
Figura 4 Interior da Usina de Israel



Fonte: <http://blogs.odiaro.com/dyaryodyumhebreu/2013/03/11/israel-tem-a-maior-dessalinizacao-do-mundo/>

Atualmente cientistas da Universidade do Texas (EUA) e da Universidade de Philipps-Universität Marburg (Alemanha) inventaram a terceira tecnologia de dessalinização com reduzido consumo de energia, trata-se de um protótipo de chip eletrônico que tem a capacidade de extrair sal da água do mar. O sistema encontra-se contudo em numa fase muito preliminar de desenvolvimento.

Figura 5 Dessalinização por corrente elétrica



Fonte:

[http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Chip\\_eletr%C3%B3nico\\_dessaliniza\\_%C3%A1gua\\_do\\_mar\\_com\\_elevada\\_efici%C3%Aancia\\_energ%C3%A9tica](http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Chip_eletr%C3%B3nico_dessaliniza_%C3%A1gua_do_mar_com_elevada_efici%C3%Aancia_energ%C3%A9tica)

## **4 O USO DOS RECURSOS HÍDRICOS A BORDO**

A água é essencial para a vida do ser humano em qualquer lugar que ele esteja, para o uso pessoal e até para a economia. Além disso, a água é fundamental para o funcionamento de motores e equipamentos, seja no estado líquido ou gasoso, e para a limpeza do local e das máquinas.

A água usada nos navios e plataformas de petróleo marítimas para qualquer que seja sua utilização, vem primeiramente do mar. Para que essa água possa ser usada na produção de vapor e, em outros sistemas, sais e outros contaminantes precisam ser separados da água do mar para minimizar a formação de incrustações e corrosão principalmente nos circuitos de vapor e nos circuitos de água das caldeiras. Tecnologias mecânicas e químicas são empregadas para esse fim.

### **4.1 O uso da água destilada e mineralizada a bordo**

A água é um dos elementos vitais na vida do ser humano. Segundo recomendações médicas o homem deve consumir em média 2 litros de água por dia para manter seu corpo devidamente hidratado. O ser humano consegue permanecer longos períodos de tempo sem a ingestão de alimento, mas consegue ficar pequenos intervalos de tempo sem consumir água.

A água doce no estado líquido representa apenas 1% de toda água encontrada no planeta, com o aumento da poluição de nascentes, rios e lagos, cada ano se torna mais necessário a destilação de água do mar, não apenas nas embarcações marítimas, mas nas cidades e países que já sofrem com a falta desse bem. Além disso, ela é má distribuído pelo planeta, 10% se encontra só no Brasil, sendo que a maior parte está nos lugares com os menores números de habitantes. Isso tudo tem servido de incentivo para o desenvolvimento dos equipamentos de dessalinização da água do mar e dos produtos para tornar esse líquido próprio ao consumo.

A bordo, muitas embarcações utilizam para o consumo da tripulação a água que após ser destilada passa por uma espécie de mineralizador que adiciona os minerais fundamentais para o consumo do ser humano. Mas, em território brasileiro a ANVISA (agência nacional de vigilância sanitária) proibiu o consumo da água provida

do destilador, ainda que mineralizada, pois a tubulação que sai do destilador não é aço inoxidável cirúrgico.

Os recursos hídricos são usados constantemente no nosso dia a dia sem nos darmos conta de sua importância. Além da utilização para necessidades primordiais como a ingestão, utilizamos água para higiene pessoal e até para o desenvolvimento econômico.

A água destilada e a água mineralizada são usadas a bordo para:

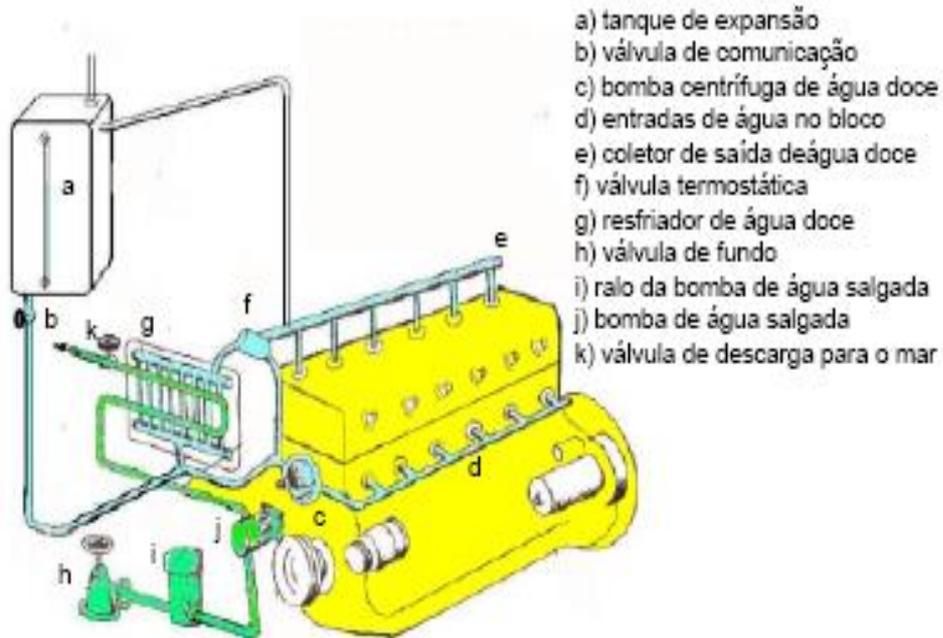
- Preparar alimentos;
- Ingestão;
- Higiene pessoal;
- Manutenção da higiene do ambiente;
- Combater incêndios;
- Abastecer a caldeira;
- Regular a temperatura (resfriamento de motores).

A água no estado gasoso é usada no:

- Funcionamento de turbinas a vapor;
- Sopragem de fuligem em fornos e caldeiras.

Estima-se que as plataformas de petróleo utilizam em média 60.000 litros de água doce por dia, sendo esse número o somatório da água utilizada para consumo humano, para 15 abastecer banheiros e acomodações e a água industrial, que é a água utilizada para produzir vapor em caldeiras que abastecem as turbinas. (SATAMINNI, 2010).

Figura 6 – Água de arrefecimento do motor



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgWswAK/sistema-propulsao-navios?part=5>

#### 4.2 O uso da água salgada a bordo

As características químicas da água são devidas à presença de substâncias dissolvidas. As principais são salinidade (conjunto de sais dissolvidos), alcalinidade (conjunto de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, quase sempre alcalino ou alcalino terroso) e dureza (conjunto de alguns metais e sais alcalinos terrosos).

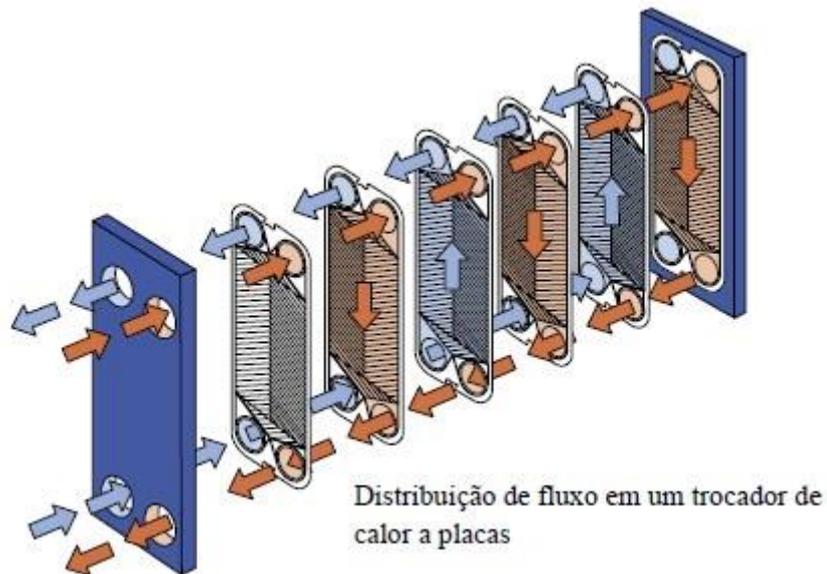
A água salgada no estado líquido representa 97% de toda água na superfície terrestre, estando em abundância no planeta. Por isso, se melhorar a qualidade e diminuir o custo da produção de água potável através da água do mar, estaria resolvido o problema da falta de água e da má distribuição da água doce no estado líquido pelo planeta.

A água salgada é usada nos trocadores de calor, a fim de absorver o calor produzido pelas máquinas que é encontrado na água de arrefecimento ou no óleo lubrificante. Além disso, a água salgada é usada nos tanques de lastro que possuem o objetivo de manter a estabilidade do navio ao adicionar ou retirar carga.

Ademais, a água salgada é usada para abastecer os destiladores e os equipamentos de osmose reversa, usados para produzir água destilada a partir da água do mar.

A água do mar não é usada em contato direto com as máquinas e motores por causar corrosões e incrustações. Se usada nas caldeiras, a incrustação impediria a saída de vapor da caldeira, isso causaria um maior aumento da pressão, que já é alta por se tratar de um vaso de alta pressão, podendo causar uma explosão que destruiria todo o navio.

Figura 7 Funcionamento do trocador de calor



Fonte: <http://vmbrasil.com/portfolio/alfa-laval/trocador-de-calor-a-placas-gaxetado/>

## 5 EQUIPAMENTOS PARA A DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR

Os equipamentos mais utilizados a bordo são: Destilador e osmose reversa. A osmose reversa vem substituindo o destilador nos últimos anos, após sua criação e constante evolução.

### 5.1 Destilador

Há diversos modelos de destiladores, mas todos com o mesmo princípio de funcionamento. A água do mar recebe calor e evapora, em outro trocador de calor esse vapor condensa produzindo a água destilada.

Como há vários tipos de destiladores usados a bordo, eles podem ser diferenciados. A classificação desses equipamentos pode ser quanto a pressão interna e quanto aos tipos de trocadores de calor.

Os destiladores classificados quanto a pressão interna podem ser divididos em destiladores de alta pressão e de baixa pressão. Os destiladores de alta pressão trabalham com a pressão interna superior a uma atmosfera e os destiladores de baixa pressão inferior a uma atmosfera.

Esses equipamentos também podem ser classificados quanto aos tipos de trocadores de calor. O trocador de calor pode ser do tipo feixe tubular ou de placas.

O trocador de calor do tipo tubular consiste em tubos fixado entre duas placas de aço. O trocador de calor do tipo placa é constituído de placas de material leve e de grande resistência a corrosão (normalmente titânio), a fonte quente passa por um lado da placa e a fonte fria passa por outro.

#### 5.1.1 Processo

A temperatura da água para vaporizar depende da pressão em que ela está submetida. Se a pressão aumentar, a temperatura de vaporização da água também aumenta e o inverso também é verdade.

O ideal para o destilador seria que ele funcionasse a vácuo absoluto, como isso não é possível os fabricantes projetam para que ele funcione a baixa pressão, bem próximo ao vácuo. Assim, a temperatura de vaporização do destilador é baixa, permitindo que a água do mar vaporize com uma temperatura bem menor que a pressão atmosférica por exemplo.

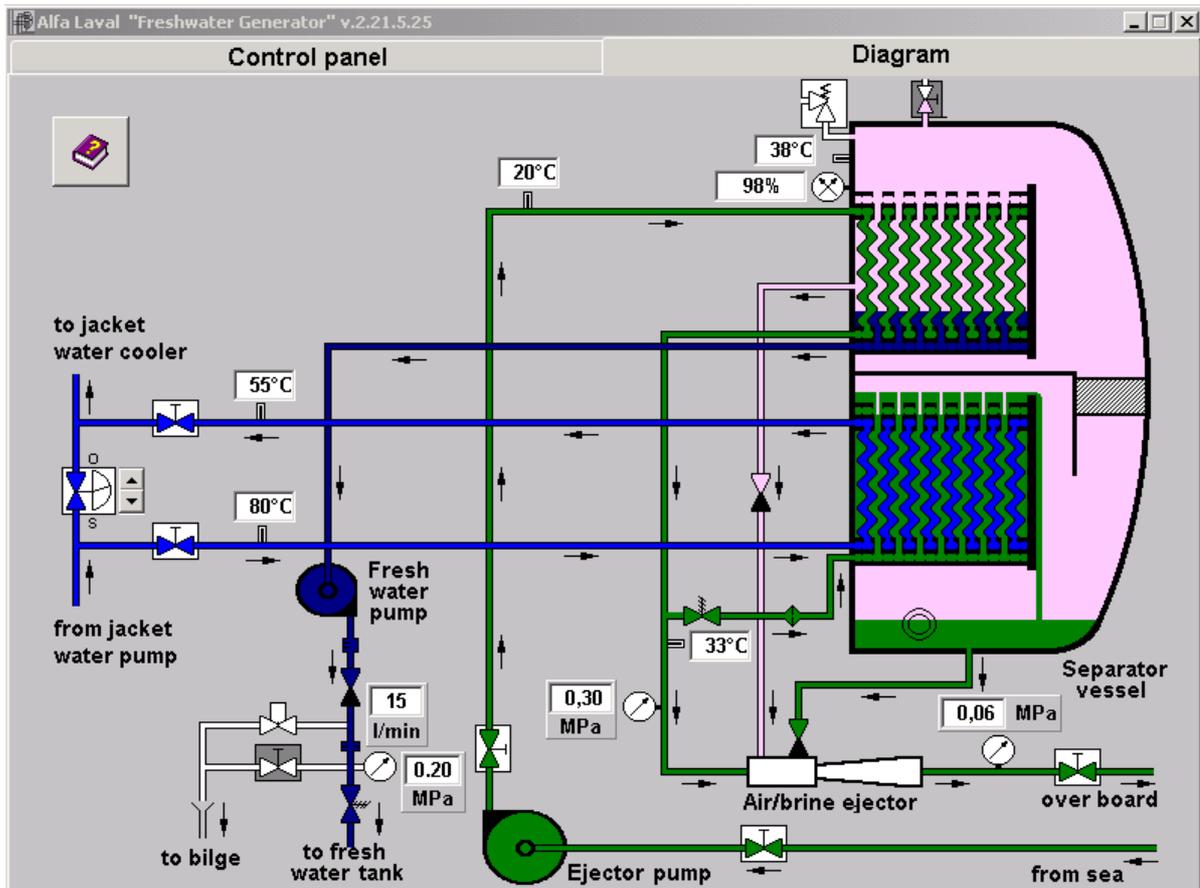
O destilador produzido pela Alfa Laval funciona com 7% da pressão ao nível do mar e a água vaporiza entre 50°C a 58°C. Essa temperatura de vaporização baixa permite que o calor oferecido pela água de arrefecimento da camisa do motor seja suficiente para vaporizar a água do mar.

Antes de começar o processo de dessalinização no destilador, este deve estar com o vácuo exigido. Para isso é necessário que as válvulas quebra-vácuo estejam fechadas e a bomba ejetora ligada, para que ao passar a água do mar pelo ejetor force a saída de ar do destilador reduzindo a pressão no seu interior.

A água do mar passa pelo trocador de calor localizado na parte inferior do destilador onde absorve calor de uma fonte quente, normalmente da água de arrefecimento da camisa do motor, e vaporiza. O vapor passa por um filtro denominado demister onde retém partículas de sal presentes no vapor e vai para outro trocador de calor.

O vapor passa pelo trocador de calor encontrado na parte superior do destilador onde troca calor com uma fonte fria, normalmente água do mar, e volta ao estado líquido, porém com uma baixa concentração de sal, agora denominada água destilada. Essa água passa pelo salinômetro que indicará a quantidade de sal em PPM (partículas por milhão) presente, se o salinômetro indicar um número igual ou inferior ao desejado a água é direcionada ao tanque, caso contrário, a água vai para o porão de máquinas.

Figura 8 Funcionamento do destilador

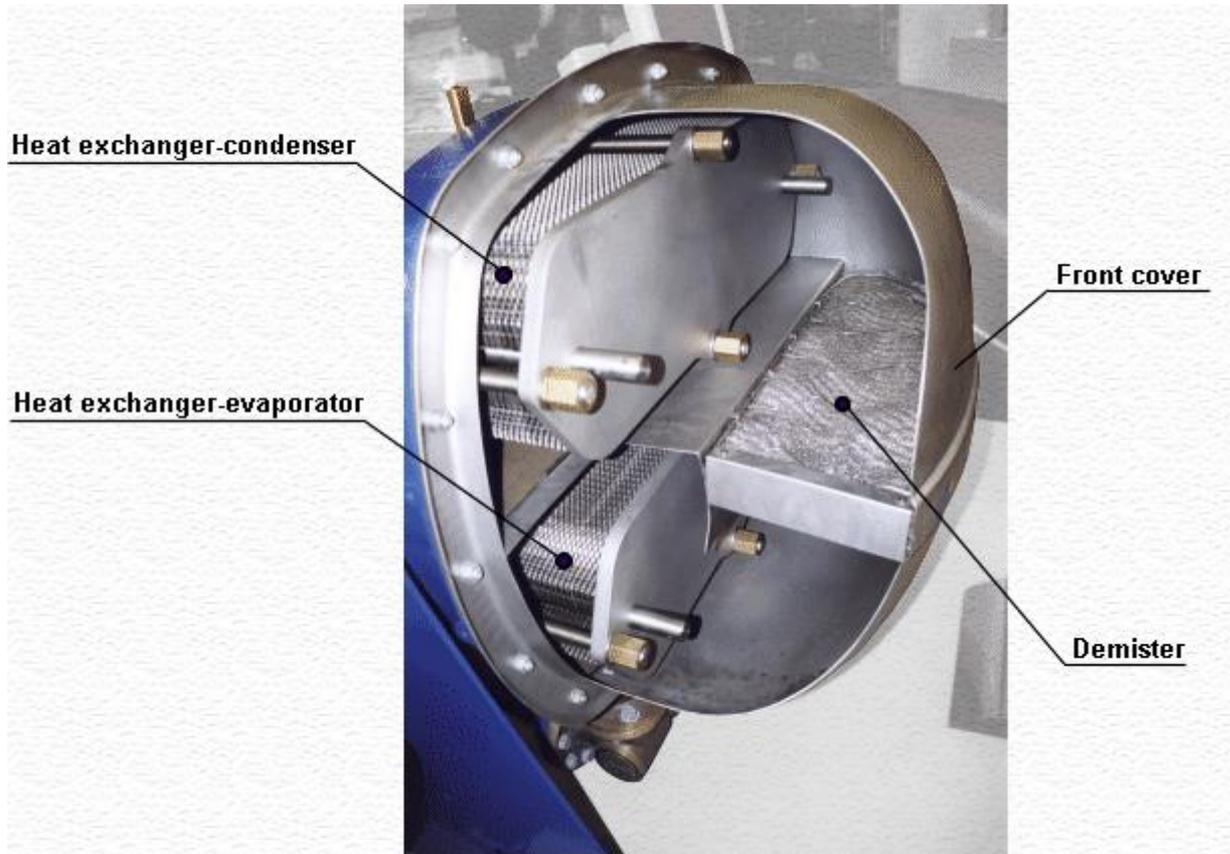


Fonte: Simulador Freshwater Generator

### 5.1.2 Equipamento

Existem vários modelos de destiladores, porem existem componentes básicos necessários ao funcionamento de todo destilador. Sendo assim o destilador é o conjunto desses componentes essenciais ao seu funcionamento.

Figura 9 Destilador Alfa Laval aberto



Fonte: Alfa Laval

Os componentes do destilador são:

- Ejetor: Tem a função de retirar o ar para criar o vácuo e retirar a salmoura acumulada no fundo do destilador. Funciona pelo princípio de Venturi, a pressão de água salgada constante no ejedor arrasta o ar e a salmoura do interior do destilador.
- Bomba ejetora: Fornece água salgada para o destilador, tanto a água que será destilada quanto a água utilizada como fonte fria no condensador. Permite uma pressão de água salgada constante fluindo pelo ejedor.
- Trocador de calor: Pode ser constituído por feixes tubulares ou placas de titânio. Nos feixes tubulares, um fluido passa por dentro dos tubos e o outro passa por fora, nas placas de titânio um líquido passa por um lado da placa e o outro passa pelo outro lado. O destilador possui dois trocadores de calor, um denominado evaporador e o outro condensador. Localizado na parte inferior, o evaporador permite que a água do mar receba calor da água de arrefecimento da camisa do

motor e vaporize, e na parte superior está o condensador, onde ocorre a condensação do vapor quando este entra em contato com a água do mar que está a uma temperatura inferior.

- Demister: Localizado entre o evaporador e o condensador é constituído por espécies de telas, possui a função de reter qualquer umidade presente no vapor que pode estar arrastando sal.
- Bomba de extração de destilado: Normalmente uma bomba do tipo centrífuga tem a função de retirar o destilado do destilador e mandar para o tanque de armazenamento ou para o porão de armazenamento de máquinas, dependendo do valor medido pelo salinômetro.
- Salinômetro: Medir e indicar a quantidade de sal na água em PPM (partículas por milhão), dependendo do número medido as válvulas solenoides permitem a passagem para o tanque de armazenamento ou para o porão de máquinas.
- Válvula quebra-vácuo: Permite a entrada de ar no destilador antes de abri-lo para qualquer manutenção.
- Válvula de segurança: Aliviar a pressão caso esta ultrapasse o limite aceitável de segurança do equipamento.
- Hidrômetro: Instalado após a bomba de extração de destilado, para medir a quantidade de água produzida pelo destilador que vai para o tanque de armazenamento.

### 5.1.3 Uso em embarcações

A principal função do destilador é fornecer água destilada para a caldeira, pois esta se exposta ao sal pode sofrer incrustações ou corrosão. Como a caldeira trabalha com alta pressão, incrustações podem causar até explosões.

A água destilada é utilizada para fazer o resfriamento das máquinas a bordo, para que essas não sofram corrosão. Exemplo disso é a própria água de arrefecimento da camisa do motor que fornece calor para que a água do mar vaporize no destilador.

A água destilada pode ser utilizada também para limpeza no convés e na praça de máquinas. Quando tratada pode ser usada para uso pessoal da tripulação.

#### 5.1.4 Manutenção

Depósitos de sólidos como argila, lodo, matéria orgânica, óleo e sílica coloidal podem se acumular e causar entupimento. Além disso, a presença de bactérias pode ser responsável pelo crescimento bacteriano no destilador.

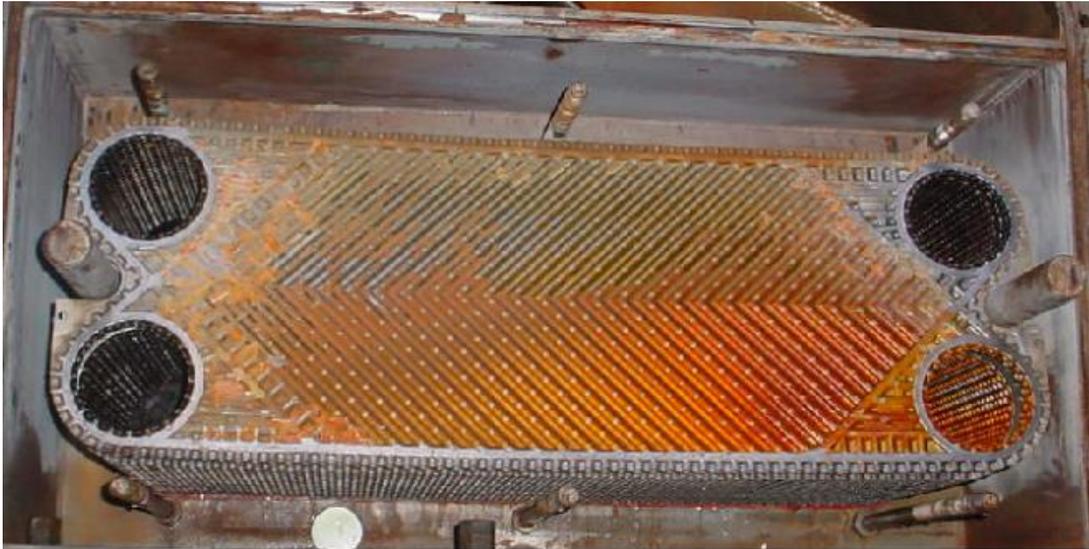
Existem 3 formas de separar esses sólidos em suspensão, sendo eles filtração, flotação e sedimentação. Sendo que, os sistemas de filtragem são caros e complexos não sendo viável a sua utilização.

As incrustações do tipo macia são ocasionadas pelo acúmulo de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). A saturação depende da alcalinidade, concentração de cálcio e pH, a água salgada é quase completamente saturada com  $\text{CaCO}_3$ , se não tratada o carbonato de cálcio se formará imediatamente na dessalinização.

As incrustações do tipo dura são resultado do acúmulo de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ). A sua saturação depende do Ca e  $\text{SO}_4$ , concentração e temperatura. A água salgada é 30% saturada a 25°C e 50% saturada a 70°C. Os inibidores em geral tem efeito limitado sobre a incrustação por sulfato de cálcio, deste modo, deve ser usado um inibidor especial de incrustação, também efetivo para  $\text{CaSO}_4$ .

Os minerais dissolvidos podem causar incrustações que reduz a eficiência térmica e causa entupimento, o sódio como NaOH gera danos, furos e corrosão que ocasiona vazamento. Além disso, os ácidos minerais podem causar corrosão que resulta em vazamento e a sílica gera película ou vitrificação que reduz a eficiência térmica.

Figura 10 Incrustação na placa de titânio do destilador



Fonte: Alfa Laval

Os agentes químicos que podem evitar as incrustações são denominados anti-incrustantes. Esses agentes químicos são: O  $H_2SO_4$  e a base poli-fosfatos que têm como ponto negativo o fato de ser agressivo ao meio ambiente, além desses há a base polímero que seu uso não é agressivo ao meio ambiente. Todos esses agentes químicos atuam sobre o  $CaCO_3$  e  $MgOH$ .

A manutenção do destilador de placa é mais fácil do que o de feixe tubular. Pois a limpeza do de placas é mais eficiente e simples do que a limpeza por varetamento que é feita a cada tubo no destilador de feixe tubular.

A limpeza do destilador de placa de titânio consiste em abrir a válvula quebravácuo para entrada de ar, abrir a tampa do destilador, retirar a placa de pressão (placa que mantém as placas de titânio sob pressão para evitar vazamento) e retirar todas as placas do trocador de calor para limpeza. A limpeza das placas pode ser feita de forma manual, química ou por jato de água.

## 5.2 Osmose Reversa

Osmose reversa é um equipamento que funciona a partir do processo de osmose reversa. Apesar de ser mais caro sua produção de água destilada é maior do

que a do destilador. Com o avanço da tecnologia o preço do equipamento e de sua manutenção caiu consideravelmente, aumentando a sua adesão no meio marítimo, principalmente nas plataformas e nos navios de passageiros em que o número de pessoas a bordo é grande e nos navios de apoio a plataforma que não possuem caldeira.

Figura 11 Equipamento de Osmose Reversa

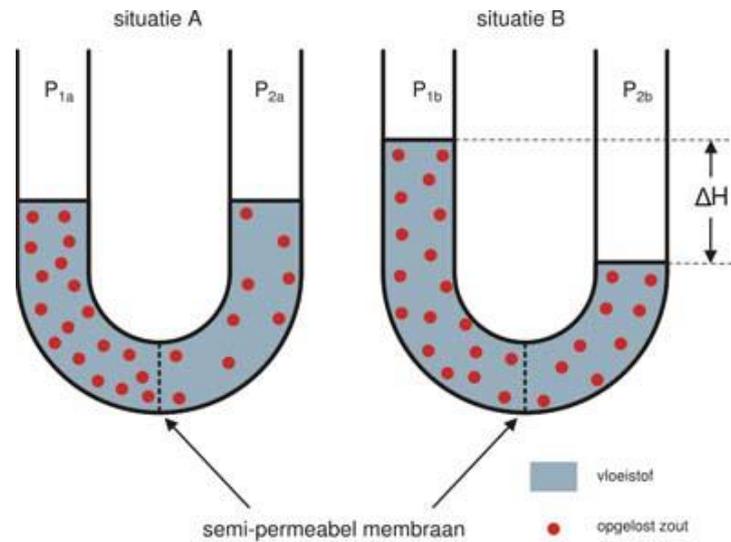


Fonte: [http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes\\_e\\_equipamento\\_industrial/h2x-solucao-em-tratamento-de-agua/produtos/saneamento-basico-e-ambiental/osmose-reversa-de-tratamento-de-agua-1](http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes_e_equipamento_industrial/h2x-solucao-em-tratamento-de-agua/produtos/saneamento-basico-e-ambiental/osmose-reversa-de-tratamento-de-agua-1)

### 5.2.1 Processo de osmose

A água se movimenta através de uma membrana semipermeável, sempre do local de menor concentração de soluto para o de maior concentração, a fim de que ambos os locais tenham a mesma concentração de soluto. A pressão com que a água é forçada para atravessar a membrana é conhecida por pressão osmótica.

Figura 12 Osmose



Fonte: <http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/biologia/10osmose.htm>

Quando os dois locais separados pela membrana possuem a mesma quantidade de partículas por volume, a pressão osmótica exercida pelos dois locais é a mesma e são denominadas isotônicas. Nesse caso, o fluxo de água nos dois sentidos é o mesmo.

Quando se comparam soluções de concentrações diferentes, a que possui maior concentração de soluto, portanto, maior pressão osmótica é denominada hipertônica e a com menos soluto, assim, menor pressão osmótica é chamada hipotônica. Separadas por uma membrana, o maior fluxo de água é da solução hipotônica para a hipertônica, até que as soluções se tornem isotônicas.

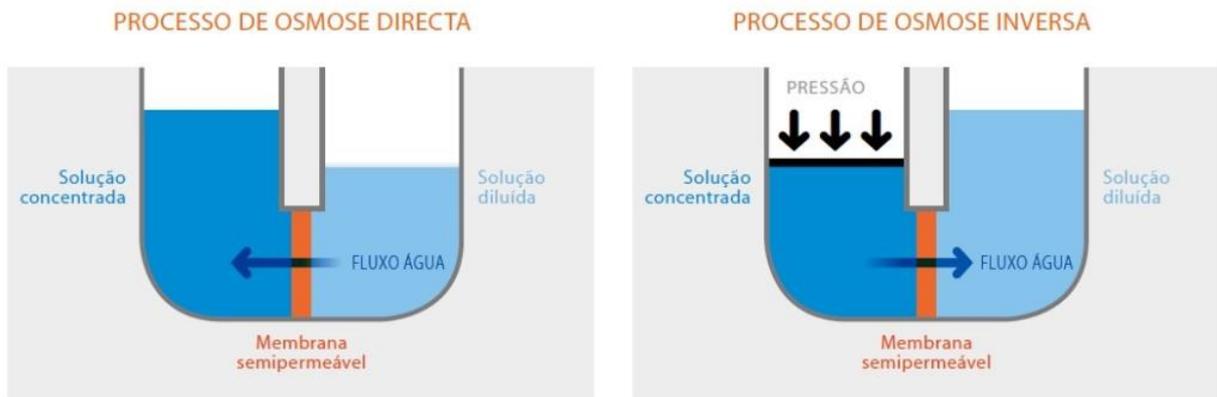
### 5.2.2 Processo de osmose reversa

A osmose reversa ocorre através de uma membrana semipermeável que permite apenas a passagem do solvente. A osmose reversa é semelhante ao processo de osmose só que com o fluxo para o sentido contrário.

Para que o fluxo aconteça no sentido contrário, a água salgada é introduzida sob alta pressão no tubo, pois a osmose reversa acontece quando essa pressão é superior a pressão osmótica. Neste caso, a membrana permitirá somente a passagem do solvente.

A osmose reversa tem como objetivo separar o solvente do soluto pela membrana semipermeável, que permite a passagem de solvente e retém o soluto. Por esse motivo, esse processo é utilizado para dessalinização da água do mar.

Figura 13 Osmose e osmose reversa



Fonte: <http://www.hidraulicart.pt/osmose-inversa/>

A osmose reversa tem a capacidade de separar a água de seus contaminantes, sejam eles bactérias, vírus, sais, sólidos em suspensão e material orgânico. Neste caso, a membrana semipermeável funciona como uma espécie de filtro, rejeitando quase todas as moléculas diluídas.

### 5.2.3 Equipamento

Para que a água salgada seja destilada é essencial que a água percorra diversos componentes de uma planta de dessalinização. Esses componentes são:

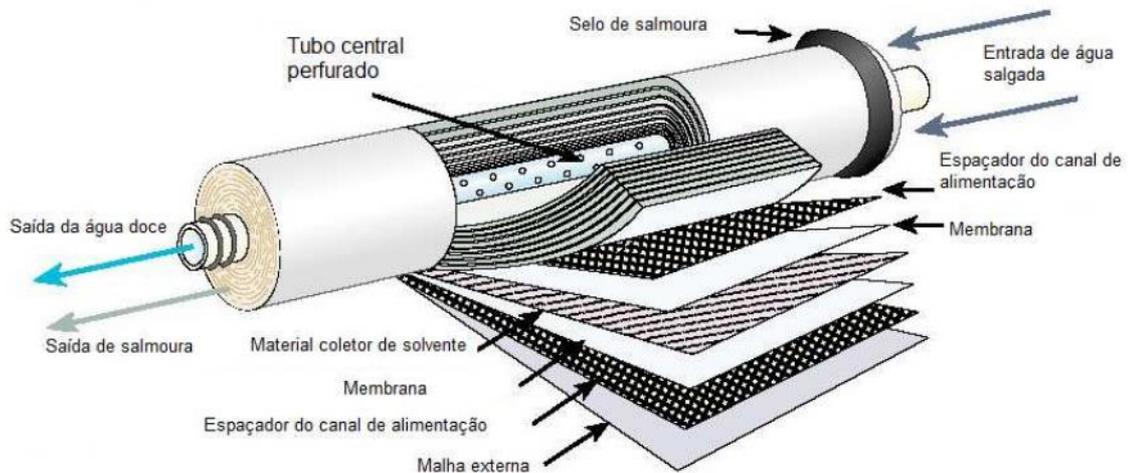
- Pré-filtro de sedimentos: Tratamento prévio a membrana, possui a finalidade de eliminar as partículas em suspensão, que causam obstrução.
- Pré-filtro de carvão: Protege a membrana do cloro que pode ter presente na água, que poderia causar sua deterioração por oxidação.
- Membrana de osmose: Geralmente em poliamida de propriedade semipermeável, retém os sais dissolvidos na água, microrganismos e sólidos em suspensão. Retém aproximadamente 99,6% das partículas, retendo partículas de até 0.1 nanômetro (nm). As membranas são posicionados no interior dos vasos de

pressão (cilindros), de fibra de vidro especial ou aço inoxidável, com pressão de trabalho em torno de 1000 psi, sendo os componentes feitos para suportar duas vezes a pressão máxima de operação.

- Regulador de fluxo de esgoto (restritor): Controla o fluxo de esgoto, e fornece uma contra-pressão necessária ao correto funcionamento da membrana.
- Acumulador: Depósito que garante o fluxo adequado de água tratada.
- Post-filtro de carvão: Tratamento final, após a membrana, que retira possíveis sabores presente na água gerador pelo depósito acumulador.
- Bomba de recalque ou auxiliar: É do tipo centrífuga, com finalidade de manter a pressão positiva para a unidade.
- Bomba de alta pressão: É do tipo alternativa (pistão), acionada por motor elétrico, é usada para pressurizar a água do mar antes de entrar nos cilindros que possuem a membrana.

Figura 14 Membrana de osmose reversa

O cilindro de membrana é constituído por um ou mais envelopes de membrana enrolados em torno de um tubo central perfurado. água separada passa através das membranas para dentro do tubo central, onde é coletada.



A ilustração representa a simplificação de um elemento de membrana. A filtragem pode ser de até 90% e pode ser feita limpeza química no local.

Fonte: [www.geafiltration.com](http://www.geafiltration.com)

Os tipos de equipamento em relação ao tipo de osmose podem ser:

- Sistema básico 5 etapas: Equipamento de configuração em dois corpos, conjunto de filtros e depósitos pressurizados.

- Sistema compacto: Todos os componentes se encontram no interior da carcaça para maior funcionalidade e poupar espaço.
- Sistemas com bombas: Melhora o rendimento do equipamento, reduzindo até 75% o volume da água rejeitada, melhorando a qualidade da água tratada e a capacidade de produção.

Se o equipamento estiver parado a muito tempo, antes de começar o funcionamento é necessário lavar o sistema por aproximadamente 30 minutos para retirada de produtos químicos que são usados para a preservação da membrana. Primeiramente, enche o sistema com a válvula de purga de ar aberta, através da bomba de alimenta de baixa pressão. Se o sistema utilizar algum tipo de tratamento químico, ele deverá ser feito nesse momento, inspecionado para não haja adição de produto em excesso. Logo após, é acionada a bomba de alta pressão para que o sistema comece a funcionar lentamente até alcançar o fluxo desejado de produção. A água produzida só poderá ir para os tanques de armazenamento quando a taxa de cloreto satisfazer as condições requeridas. Para parar o sistema, é necessário lavá-lo para remover as moléculas grandes, as partículas pequenas e as bactérias durante 15 minutos com água destilada, se o equipamento for ficar parado por longo tempo é necessário utilizar produtos químicos para a remoção de bactérias, principalmente na membrana.

#### 5.2.4 Uso em embarcações

Devido ao avanço da tecnologia o preço de custo e manutenção dos equipamentos de osmose reversa diminuiu, tornando-o mais acessível e utilizado nos dias de hoje, substituindo os tradicionais destiladores. Sendo assim, têm sido utilizados com alta frequência em indústrias e nas embarcações marítimas.

Para que a água produzida pela osmose reversa tenha a qualidade da água produzida pelo destilado (mesma taxa de cloreto em PPM), a água salgada deverá passar por inúmeras membranas, fazendo do sistema maior e mais caro. Devido a esse fator, a osmose reversa tem sido usada com mais frequência em plataformas e navios de apoio a plataforma, que utilizam como combustível o diesel e por isso não possuem caldeira.

### 5.2.5 Manutenção

Nos sistemas de osmose reversa, desde as redes de alimentação a bomba de recalque são feitos com material resistente a corrosão para impedir ao máximo a chegada de impurezas nas membranas. Assim, prolongar a vida útil do equipamento e evitar o excesso de paradas do equipamento para realizar a retrolavagem do sistema.

As válvulas de admissão e descarga da bomba de alta pressão podem necessitar de reparos. Após uso contínuo podem aparecer fadiga nas molas causando perda de rendimento.

Os filtros de aspiração da bomba devem estar sempre limpos para evitar a diminuição do fluxo de água salgada, causando desarme no sistema.

Após um longo período de tempo em operação, as membranas de osmose reversa estão sujeitas à incrustação por material em suspensão ou diluídos na água de alimentação. Exemplos comuns de incrustações são carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, óxidos de metais, e depósitos orgânicos ou biológicos.

O monitoramento constante do desempenho do equipamento é essencial para determinar quando este está com incrustação. A eliminação de incrustações é efetuada pela limpeza e lavagem rápida, e preventivamente pela mudança das condições de operação. A eliminação de incrustações é exigida quando a vazão da água produzida reduz de 10% a 15% ou a pressão de alimentação aumenta de 10% a 15% para manter o fluxo constante ou a passagem de sal aumenta 10% a 15% ou o diferencial de pressão através da membrana tem aumentado.

Pode haver dispositivo automático de retro lavagem das membranas após o desarme do equipamento, sistema de válvulas e controles para facilitar limpeza química das membranas.

## 6 COMPARAÇÃO ENTRE DESTILADOR E OSMOSE REVERSA

A osmose reversa tem melhor rendimento, se comparado com o sistema destilatório. Isto significa que, para a mesma quantidade de água salgada na entrada, o volume na saída da osmose reversa é três vezes maior do que a água produzida pelo destilador. Isso proporciona menor consumo de energia e outros custos com bombeio de água do mar para o equipamento e com o descarte da salmoura.

O destilador necessita de muita energia para o aquecimento da água para que esta seja vaporizada, problema resolvido com a água de arrefecimento da camisa do motor, que oferece calor sem custo ao sistema. A osmose reversa exige considerável consumo de energia para pressurizar a água do mar nas membranas filtrantes, para que essa pressão seja superior a pressão osmótica.

A tecnologia das membranas de filtração do sistema de osmose reversa conseguiu um grande avanço na última década, havendo novos tipos de membranas que conseguem o efeito de separação do soluto em pressões de trabalho bem inferiores, resultando em diminuição do consumo de energia. O destilador requer algo em torno de 17 kWh/m<sup>3</sup> para bombeio e aquecimento, contra 5 kWh/m<sup>3</sup> da osmose reversa.

Assim, o destilador só é viável onde houver disponibilidade de calor em sistemas paralelos.

Quanto a qualidade da água produzida o destilador produz água com menos de 100 mg/l de sal dissolvido, contra 400 mg/l na osmose reversa. E esta necessita de vários conjuntos de membranas para obtenção de água com melhor qualidade, aumentando a quantidade de energia exigida, o número da quantidade de equipamento da osmose reversa e o espaço ocupado.

Nos sistemas de osmose reversa a água produzida depende da qualidade da água do mar de alimentação. Como o sistema destilatórios utiliza a vaporização, o desempenho não depende da água de alimentação.

Um ponto negativo da osmose reversa é a necessidade de pré-tratamento da água salgada. São usados dispositivos e tratamento químico para remover organismos biológicos, sólidos em suspensão e outras impurezas. Além disso, o pH e outras variáveis químicas da água de alimentação devem ser controladas, algo que o destilador não requer.

Os destiladores são consideravelmente maiores do que a osmose reversa. Consequentemente os custos de construção e de espaço requeridos são maiores.

Para escolher o grupo destilatório para usar deve se levar em conta:

- Quantidade de água necessária para a embarcação;
- A qualidade da água usada a bordo, ou seja, a salinidade máxima permitida para o uso em determinadas situações, como para a caldeira ou outros equipamentos;
- Grau de obsolescência de um equipamento. Embora não obsoletos, os destiladores, atualmente são menos empregados, porém não estão completamente excluídos, mesmo em embarcações onde já existam equipamentos de osmose reversa;
- Disponibilidade de fontes de calor. Uma vez que os destiladores precisam de uma fonte de calor contínua, ou seja, permanente ou acionada para a produção de água destilada.

É importante ressaltar que a água que o destilador produz no final do processo, tem uma salinidade que atende a maioria dos serviços de bordo, com ou sem pós-tratamento, e, em alguns casos, até uma ressalinização, com adição de alguns sais necessários a uma água classificada como potável, sais esses excluídos durante o processo de dessalinização.

A água produzida pelos equipamentos de osmose reversa não tem uma salinidade tão reduzida como a gerada pelos destiladores, porém consegue atender a maioria dos serviços de bordo. Em alguns casos entretanto, tem que ser submetida a processos adicionais mais refinados, para alguns serviços no qual a salinidade deve ser menos que a entregue, tais como:

- Água de alimentação da caldeira;
- Água para uso em baterias.

Tabela 1 Tabela de eficiência da osmose reversa

Contaminantes	Eficiências de remoção (%)
Sólidos suspensos	100
Bactérias	99,5
Vírus	99,5
Pirogênicos	99,5
Substâncias orgânicas c/ massa molecular > 250 Daltons	97 - 99,5
Substâncias inorgânicas monovalentes	94 - 96
Substâncias inorgânicas divalentes	96 - 98
Substâncias inorgânicas trivalentes	98 - 99

Fonte: <http://tratamentodeagua.com.br/artigo/filtracao-para-obtencao-de-agua-para-analises-laboratoriais/>

Ambos os equipamentos, em virtude do alto grau de poluição das águas litorâneas, principalmente em baías, canais, estreitos e próximo a plataformas de exploração de petróleo, tem uma grande restrição operacional relativa a captação de água salgada a ser dessalinizada, em virtude da existência de poluentes por ações antropogênicas.

Esses poluentes, nos destiladores, diminuem a eficiência dos trocadores de calor e na osmose reversa, diminuem consideravelmente a eficiência e a vida útil das membranas semipermeáveis. Para minimizar tal problema, é uma prática operacional utilizar esses equipamentos em áreas onde esses poluentes existem em menor concentração, geralmente a 12 milhas náuticas da costa ou de área de exploração de petróleo por plataformas.

## 7 TENDÊNCIA DO MERCADO

O primeiro equipamento que foi utilizado para dessalinizar a água do mar foi o destilador, porém, esse equipamento tem sido substituído pela osmose reversa. A osmose reversa tem a capacidade de produzir maior quantidade de água no mesmo intervalo de tempo, além de produzir uma água com maior qualidade, retirando até vírus e bactérias da água.

As embarcações modernas têm escolhido instalar a osmose reversa, pois além das qualidades já citadas, o destilador necessita de uma fonte de calor responsável pela evaporação da água salgada diferentemente da osmose reversa.

### 7.1 Custo do Equipamento

O equipamento de osmose reversa é mais caro quando comparado ao destilador. Além disso, usualmente são instalados filtros de pré-tratamento que aumentam a vida útil das membranas. Ademais, os sistemas de cloração, esterilização ultravioleta e neutralização de Ph garantem uma água produzida de alta qualidade.

Esses filtros e sistemas encarecem a instalação da osmose reversa a bordo das embarcações.

Figura 15 Esterilização ultravioleta



Fonte: <http://www.atlanticosul.ind.br/glascouv/>

Com o avanço da tecnologia conseguiu-se diminuir o custo de produção e venda do equipamento de osmose reversa, com isso aumentou a aceitação e inclusão desse equipamento no mercado marítimo.

Apesar de demorar muito tempo para que a osmose reversa tenha a necessidade de substituir suas membranas como forma de manutenção, esse processo é caro, pois a membrana é a parte mais cara do equipamento. O destilador necessita de manutenção mais frequente, mas essa manutenção é simples e barata.

## **7.2 Mão de Obra Especializada**

A mão de obra responsável pela manutenção do destilador deve ser especializada, mas não exige tanto quanto a osmose reversa. A parte principal da manutenção do destilador é a limpeza das placas do equipamento que não é um processo muito complicado, tendo como parte mais difícil a remontagem das placas no destilador, essas placas possuem uma ordem que vem especificada no manual do equipamento.

A parte principal da manutenção da osmose reversa realizada a bordo é a retrolavagem, um processo totalmente automatizado que não necessita de muita especialização. A manutenção que consiste na substituição da membrana do equipamento é feita pelo pessoal de terra e necessita de alta especialização e muito conhecimento sobre a osmose reversa.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo apresentar os principais equipamentos de dessalinização da água do mar, destilador e osmose reversa, além disso comparar esses equipamentos mostrando seus pontos positivos e negativos. Além disso, foi apresentado a necessidade do uso desses equipamentos a bordo das embarcações marítimas e em terra.

A água doce disponível representa apenas uma pequena porcentagem de toda água existente no planeta, além disso, essa água é mal distribuída. Essa má distribuição da água potável gerou a necessidade da criação de usinas dessalinizadoras em locais com deficiência de água doce.

A água doce é fundamental a bordo de embarcações marítimas para diversas atividades do dia a dia, como para o uso da tripulação, o arrefecimentos de máquinas e motores e abastecimento da caldeira. A necessidade de tornar o navio independente quando esse está navegando trouxe esses equipamentos dessalinizadores para a bordo.

O destilador e a osmose reversa são amplamente usados e aceitos no mercado, a escolha do ideal para a embarcação cabe ao armador. O armador deve analisar a quantidade da água que a embarcação necessita, onde a água será utilizada e os valores do equipamento e da manutenção.

## REFERÊNCIAS

ALFA LAVAL. **Geradores de Água Doce**. In: PALESTRA ALFA LAVAL, 2007, Angra dos Reis. 114 p.

BELTON, Padraig. **O grande salto tecnológico que pode acabar com a sede no mundo**. BBC, São Paulo, 18 out. 2015. Disponível em: [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/10/151018\\_tecnologia\\_dessalinizacao\\_agua\\_rm](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/10/151018_tecnologia_dessalinizacao_agua_rm). Acesso em: 19 jul. 2016.

DA SILVA, Joel Morais. **A tecnologia da dessalinização**. 2014. 32 f. Dissertação (Aperfeiçoamento para oficiais de máquinas) – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro.

DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. **Máquinas e Equipamentos auxiliares**. Rio de Janeiro, 2001. p. 77-87.

DISLILER, Kátia Waléria Furtado Farias. **O uso de destiladores nas embarcações offshore**. 2015. 31 f. Dissertação (Aperfeiçoamento para oficiais de máquinas) – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro.

ENGENHARIA DO PROCESSO. **Osmose Reversa**. Disponível em: [http://www.epengenharia.com.br/texto-b42-osmose\\_reversa.html](http://www.epengenharia.com.br/texto-b42-osmose_reversa.html). Acesso em 09 mai. 2016.

ENGENHARIA QUÍMICA. **Sobre o maior complexo do mundo para a dessalinização de água do mar**. Disponível em: <http://engenharia-quimica.blogspot.com.br/2012/09/sobre-o-maior-complexo-do-mundo-para.html>. Acesso em: 19 jul. 2016.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Dessalinização da água.** Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/curiosidades/o-que-dessalinizacao-agua.htm>. Acesso em: 21 jul. 2016.

HS – OSMOSE REVERSA. **Osmose Reversa.** Disponível em: <http://www.hsosmosereversa.com.br/osmose-reversa.php>. Acesso em: 09 mai. 2016.

LAPORTA, Taís. **Um terço da população mundial não tem acesso a água tratada, diz ONU.** G1, São Paulo, 03 jul. 2015. Disponível em: [http://dgi.unifesp.br/sites/comunicacao/pdf/entreteses/guia\\_biblio.pdf](http://dgi.unifesp.br/sites/comunicacao/pdf/entreteses/guia_biblio.pdf). Acesso em: 19 jul. 2016.

MEIO AMBIENTE NEWS. **A água no corpo humano.** Disponível em: <http://www.meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q%5B1%7Cconteudo.idc ategoria%5D=27&id=215>. Acesso em: 19 jul. 2016.

PINTO, Ricardo. **Poupança de energia.** Disponível em: [http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Chip\\_eletr%C3%B3nico\\_dessaliniza\\_%C3%A1gua\\_do\\_mar\\_com\\_elevada\\_efici%C3%Aancia\\_energ%C3%A9tica](http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Chip_eletr%C3%B3nico_dessaliniza_%C3%A1gua_do_mar_com_elevada_efici%C3%Aancia_energ%C3%A9tica). Acesso em: 21 jul. 2016.

SÓ BIOLOGIA. **Transporte passivo.** Disponível em: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Citologia/cito8.php>. Acesso em: 09 mai. 2016.

.