

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS
(APMA 01.2019)

RAPHAEL BLESE DE PAULA

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE A BORDO EM UNIDADES MARÍTIMAS

RIO DE JANEIRO

2019

RAPHAEL BLESE DE PAULA

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE A BORDO DE UNIDADES MARÍTIMAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para
Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução
Almirante Graça Aranha como parte dos
requisitos para obtenção de Certificado de
Competência Regra III/2 de acordo com a
Convenção STCW 78 Emendada.
Orientador: Ramessés César da Silva Ramos

RIO DE JANEIRO

2019

RAPHAEL BLESE DE PAULA

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE A BORDO DE UNIDADES MARÍTIMAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Ramessés César da Silva Ramos - OSM

Assinatura do Orientador

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho aos meus pais Ronaldo e Luciene, 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.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por tudo em minha vida, aos meus pais e na minha esposa Irlene Santos Rodrigues por me apoiar no meu crescimento profissional, suportar a saudade pela minha ausência durante o curso e principalmente quando estou embarcado.

Agradeço ao meu orientador Ramessés, que esteve sempre pronto a me ajudar e que conquistou meu respeito e admiração como docente no decorrer desse curso.

Epígrafe

“Saber o que quer na vida é extremamente importante, mas saber exatamente o que não quer é libertador. “

Wannderson Tremere.

RESUMO

Esse trabalho de conclusão do curso é sobre a produção de água doce a bordo das unidades marítimas, inicialmente será feita uma abordagem inicial sobre a distribuição de água pelo nosso planeta, das principais plantas de dessalinização espalhadas pelo mundo bem como a explicação sobre os principais processos de dessalinização além de um breve histórico da osmose reversa. Depois, vai ser explicado os principais meios de retirar o sal da água a bordo, os destiladores e a osmose reversa, onde serão explicados cada um dos componentes que envolvem esses sistemas, assim como seu princípio de funcionamento e suas principais manutenções. E por fim será feito um comparativo entre os ambos os sistemas.

Palavras-chave: Dessalinização. Água doce. Destiladores. Osmose Reversa.

ABSTRACT

This course completion work is about the production of fresh water aboard the maritime units, initially an initial approach will be made on the distribution of water by our planet, the main desalination plants spread around the world as well as the explanation on the main processes of desalination plus a brief history of reverse osmosis. Then the main ways of removing the salt from the water on board, the distillers and the reverse osmosis will be explained, explaining each of the components that involve these systems, as well as their principle of operation and their main maintenance. Finally, a comparison will be made between the two systems.

Keywords: Desalination. Fresh water. Distillers. Reverse osmosis

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1: | Distribuição da água no mundo | 12 |
| Figura 2: | Maior usina de dessalinização no mundo, em Israel | 13 |
| Figura 3: | Diagrama de funcionamento | 21 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | Distribuição de água pelo mundo | 12 |
| 2.1 | Plantas de Dessalinização no mundo | 12 |
| 2.2 | Processos de Dessalinização | 13 |
| 2.3 | Breve histórico da Osmose Reversa | 15 |
| 3 | Gerador de água doce | 16 |
| 3.1 | Componentes do gerador de água doce | 16 |
| 3.1.1 | Trocador de calor | 16 |
| 3.1.2 | Demister | 17 |
| 3.1.3 | Bomba ejetora | 17 |
| 3.1.4 | Ejetor | 17 |
| 3.1.5 | Bomba de água destilada | 18 |
| 3.1.6 | Salinômetro | 18 |
| 3.1.7 | Painel de controle | 19 |
| 3.1.8 | Válvula de quebra-vácuo e válvula de segurança | 19 |
| 3.1.9 | Hidrômetro | 19 |
| 3.2 | Princípio de funcionamento | 19 |
| 3.3 | Materiais de Construção do destilador | 21 |
| 3.4 | Procedimentos de partida manual do gerador de água doce | 22 |
| 3.5 | Manutenção | 23 |
| 4 | Osmose reversa | 24 |
| 4.1 | Componentes e etapas de sistema de osmose reversa | 25 |
| 4.1.1 | Pré-filtragem | 26 |
| 4.1.2 | Filtragem | 26 |
| 4.1.3 | Bomba de alimentação | 26 |
| 4.1.4 | Bomba de alta pressão | 27 |
| 4.1.5 | Membranas de osmose reversa | 27 |
| 4.1.6 | Painel de controle | 28 |
| 4.1.7 | Filtragem secundária e filtro mineralizador | 28 |
| 4.1.8 | Desinfecção | 29 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.2 | Operação do sistema de osmose reversa | 29 |
| 4.3 | Instalação | 29 |
| 4.4 | Manutenção | 30 |
| 5 | Comparação entre o destilador e osmose reversa | 31 |
| 6 | Tendência de mercado e custo do equipamento | 33 |
| 7 | Considerações finais | 34 |
| | Referências | 35 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de dessalinização de água salgada é de suma importância a bordo das unidades marítimas, tanto pelo o uso de água potável para os tripulantes por meio de higiene pessoal, preparação das refeições e ingestão bem como o uso de água técnica para o arrefecimento de motores principais, propulsores e outras máquinas auxiliares, que exigem para o seu bom funcionamento uma baixíssima concentração de sais ou zero teores de sais dissolvidos.

Nas embarcações marítimas, os destiladores por evaporação à vácuo eram os mais usados, porém com os avanços tecnológicos, tem perdido a preferência para a osmose reversa. Dessa forma, houve redução de custos de fabricação, o sistema foi compactado, a manutenção foi aperfeiçoada e aumentou a produção diária do processo. O que para as indústrias onde o acesso à água doce tem um custo elevado, como no caso as plataformas offshore, o pedido de água doce extra contrato com a contratante pode chega ao mesmo valor em metro cúbico (m³) do óleo diesel necessário as suas atividades.

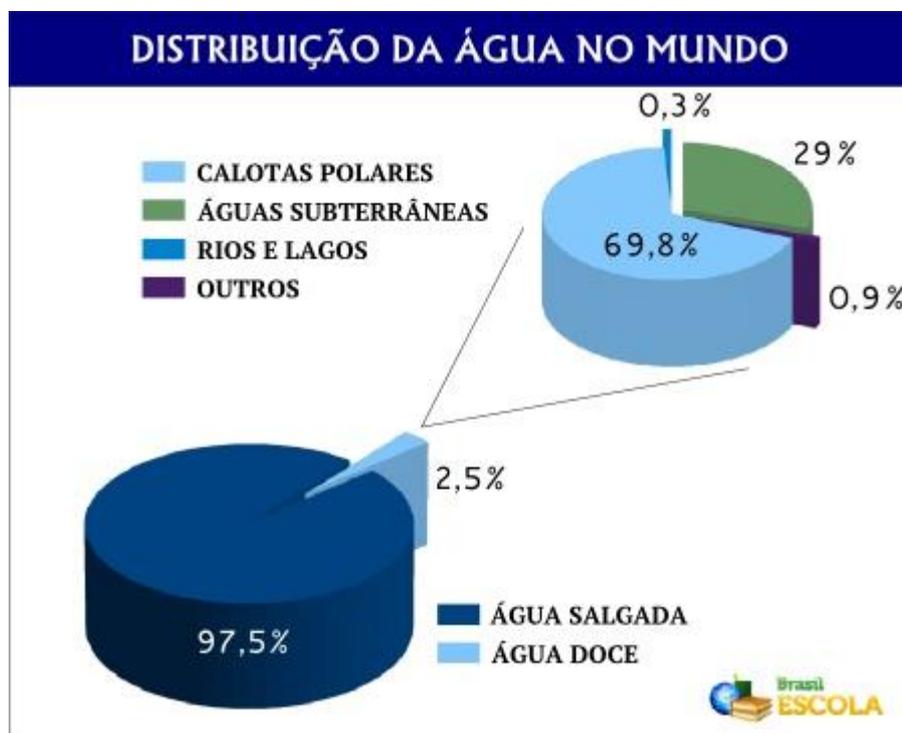
O objetivo desse trabalho é descrever os principais processos de geração de água doce a bordo, bem como as principais características quanto ao funcionamento, a utilização, a manutenção, custos e quantidade produzida, em média, de cada um.

2 Distribuição de água no mundo

A água é fonte de vida. Não interessa quem somos, o que fazemos, onde vivemos, nós dependemos dela para viver. Entretanto o ser humano continua poluindo os rios, nascentes, esquecendo o quão ela é vital para nossas vidas.

Aproximadamente 71% da superfície do planeta Terra é coberta por água em estado líquido. Do total desse volume, cerca de 97,5%, está nos oceanos, em estado líquido. E somente 2,5% são de água doce.

Figura 1: Distribuição da água no mundo



Fonte: www.brasilecola.uol.com.br

A água doce utilizada pelo homem é obtida através de represas, rios, lagos, açudes, poços, reservas subterrâneas e no nosso caso através da dessalinização da água salgada.

2.1 Plantas de Dessalinização no mundo

As grandes reservas de energia existentes em muitos países do Oriente Médio juntamente com sua escassez de água levaram a construção de grandes

plantas de dessalinização deste local. Em meados de 2007, o Oriente Médio produzia cerca de $\frac{3}{4}$ de toda a água dessalinizada de todo o mundo. Existem em todo o mundo 13.800 plantas de dessalinização que produzem no total mais 45,5 bilhões de litros de água por dia de acordo com a Associação Internacional de Dessalinização. No Brasil, o sal retirado é em média 3%.

A maior planta de dessalinização do mundo está localizada em Israel, seguida dos Emirados Árabes Unidos. É utilizado o processo de destilação em múltiplos-estágios para produzir 300 milhões de metros cúbicos de água por ano. Nos Estados Unidos, a maior planta produz cerca de 35 milhões de metros cúbicos por ano.

Figura 2: Maior Usina de dessalinização do mundo, em Israel



Fonte: www.koshermap.com.br

2.2 Processos de Dessalinização

Na natureza, a dessalinização é um processo contínuo e natural, alimentador do Ciclo Hidrológico que se comporta como um sistema físico, fechado, sequencial e dinâmico. Devido à ação da energia solar, ocorre a evaporação de um grande volume de água nos oceanos, mares e dos continentes. Os sais permanecem na solução e os vapores, por condensação, vão formar as nuvens, as quais originam as chuvas. Esta água doce, por gravidade, volta aos oceanos e mares, alimentando os

rios, os lagos, as lagoas que, devido à dinâmica do processo e assim o ciclo continua. Por necessidade de sobrevivência, o homem copiou a Natureza e desenvolveu métodos e técnicas de dessalinização da água salgada para a obtenção de água doce.

O principal problema das tecnologias de dessalinização é conseguir diminuir o custo final da água doce, afim de que ela possa estar disponível em quantidades suficientes em todos os locais, até mesmo onde ela é escassa.

Há vários métodos conhecidos para fazer a mudança, entretanto somente dois deles representam 88% da dessalinização global: a osmose reversa e a destilação multiestágios.

Osmose reversa ou osmose inversa: 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 quando se aplica uma grande pressão sobre este meio aquoso, o que contraria o fluxo natural da osmose.

Dessalinização térmica: Quando a água salgada é evaporada artificialmente e depois condensa. Esse processo separa a água e o sal, pois este não é carregado no processo de evaporação.

Congelamento: Somente a água pode ser congelada, os sais não congelam junto. O processo é basicamente a extração de sais minerais através do congelamento. São repetidos diversas vezes tal processo para que se consiga água destilada. O processo pode ser realizado em grande escala, entretanto é muito caro, logo é testado e melhorado apenas em laboratórios, para assim ser barateado. O que se poderia fazer é descongelar água das calotas polares, mas esta não é considerada ainda uma boa solução, pois há o alto custo do descongelamento a se levar em conta.

Destilação de multiestágios: Utiliza-se vapor a alta temperatura para fazer a água do mar entrar em ebulição. São multiestágios pois a água passa por inúmeras cédulas de ebulição-condensação, garantido um elevado grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada.

Destilação por forno solar: o forno solar tem como função concentrar os raios solares numa zona específica, graças a um espelho parabólico. Vesse modo, o

recipiente que contém a água a destilar pode chegar a temperaturas maiores que normalmente.

2.3 Breve histórico da Osmose Reversa

O processo de osmose através de membranas foi observado pela primeira vez em 1748 por Jean-Antoine Nollet. Nos 200 anos seguintes, a osmose foi apenas um fenômeno de laboratório. Em 1950, a Universidade da Califórnia em Los Angeles investigou pela primeira vez a dessalinização de água do mar usando membranas semipermeáveis.

Entre 1953 a 1959, JE Breton e CE Reid fizeram as primeiras tentativas de dessalinização nos Estados Unidos, reconhecida como a invenção da osmose reversa. Em 1960, S. Loeb e S. Sourirajan confeccionaram as primeiras membranas de acetato de celulose, material usado nas membranas atuais. Em 1962, foi inaugurado na Califórnia (EUA), a planta piloto de dessalinização por osmose reversa. Em 1963, U. Merten descreve o fluxo de soluto e solvente através da membrana, fenômeno que explica o funcionamento da osmose reversa.

Na segunda metade dos anos 60, surgiram empresas que passaram a dominar a fabricação de membranas. Em 1965, a planta-piloto da Califórnia e incorporada ao sistema de abastecimento de água potável, que marca o fornecimento comercial de água potável com tecnologia de dessalinização por osmose reversa. Em 1968, J. Westmoreland e DT Bray patentearam membranas em espiral.

Em 1971, foi solicitada a patente da membrana construída em poliamida aromática, que passou a dominar o mercado de membranas de osmose reversa, pois significou um aumento da durabilidade e confiabilidade desses elementos. Na segunda metade dos anos 70, foram construídas as primeiras plantas industriais para produzir água potável.

3 Gerador de água doce

A produção de água doce, a partir da água do mar para fins domésticos e auxiliares é um requisito essencial a bordo dos navios. Uma quantidade considerável de água é consumida a bordo. A tripulação consome em média 100 litros de água por pessoa. Num navio a vapor (um navio cuja a unidade de propulsão principal é a turbina a vapor ou em navio que é um grande petroleiro com bombas de carga movida a turbina a vapor) o consumo da caldeira pode atingir 30 toneladas por dia.

A água doce é geralmente produzida a bordo usando o método de evaporação. Há duas coisas que estão disponíveis em abundância no navio para produzir água fresca – mar e calor. Assim, a água doce é produzida pela a evaporação de água do mar usando calor de qualquer fonte de calor.

Um gerador de água doce é a resposta para a pergunta; “Como podemos tornar a água potável? ” Consiste principalmente em dois grandes compartimentos dentro de uma concha ou corpo cilíndrico. Um compartimento é chamado de evaporador; onde a fonte de calor do vapor ou a água das camisas de motor, proveniente do sistema de arrefecimento, é usada para produzir vapor.

No outro compartimento, a água do mar é usada para resfriar o vapor e, assim, é chamada de condensador. Juntos, extraem água doce da água salgada do mar em forma de vapor; separando este último na forma de vapor condensado. Além disso, conta com bombas ejetoras, isso cria vácuo e descarga de salmoura do gerador de água doce.

3.1 Componentes do gerador de água doce

3.1.1 - Trocador de calor

O trocador de calor permite que o calor se mova do meio alta temperatura para o meio de baixa temperatura; sem contato real entre eles. Um trocador de calor consiste basicamente de vários elementos separados; em formas de placas (tipo espinha de peixe) ou tubos (tipo feixe tubulares) com alta condutividade térmica.

Dessa forma, isso mantém os sistemas separados sem sacrificar a transferência eficiente de calor. Um gerador de água doce consiste de um par de

trocador de calor; com cada um tendo um propósito específico. Aquele que usa água de arrefecimento das camisas para aquecer a água do mar para gerador é chamado de evaporador, localizado na parte inferior.

A temperatura média da água da camisa é entre 70 a 80 °C. Que perde um pouco de calor ao trazer a temperatura da água do mar entre 45 a 60 °C. Embora seja necessária uma temperatura de 100 °C para que água evapore em condições normais, vai evaporar a 50 a 60°C sob condições de vácuo.

Por outro lado, o segundo trocador de calor utiliza água do mar para arrefecer e condensar o vapor para obter água destilada é chamado de condensador, está localizado na parte superior.

3.1.2 - Demister

O demister é uma camada de espessa de estrutura de malha; instalado entre o evaporador e o condensador. Isto é usado para reter qualquer umidade presente no vapor que pode estar arrastando sal.

Pode ser feito de níquel, metais monel, cobre, aço inoxidável e fibras sintéticas, como polipropileno e PVC.

Apresenta algumas características silenciosas, que são sua alta eficiência de separação, fácil instalação, resistência a corrosão, longa vida útil e baixa queda de pressão.

3.1.3 - Bomba ejetora

Há também a bomba ejetora (tipo centrífuga), fornece a água do mar que será destilada quanto a água utilizada como fonte fria no condensador, permitindo uma pressão de água salgada constante fluindo pelo ejetor.

3.1.4 – Ejetor

O vácuo necessário para realizar a evaporação é produzido pelo ejetor, em que a passagem da água do mar vinda da descarga da bomba ejetora arrasta o ar do interior da câmara do destilador.

3.1.5 - Bomba de água destilada

É uma bomba centrífuga localizada na parte mais baixa do gerador de água doce. Sua função é transferir o condensado de vapor para um tanque de água potável do navio. Na saída da unidade, a água destilada passa por um salinômetro que verifica o teor de sal na água na saída.

O teor médio de sal na água é mantido a 10 ppm, porém nunca deve exceder a mais de 15 ppm. Se o teor de sal exceder o limite, ele é despejado nas dalas ou retorna para o reservatório dentro do gerador e aciona um alarme.

A bomba é normalmente mantida em posição inferior para anular os efeitos da condição de vácuo.

3.1.6 - Salinômetro

O salinômetro é um dispositivo instalado no destilador, capaz de detectar até mesmo o menor teor de sal na água de amostragem. Está ligado à saída do destilado imediatamente antes da solenoide operar a válvula de três vias. A saída do salinômetro é alimentada no painel de controle, que, então, com base no limite de sal necessário, enviará a água doce para os tanques de armazenamento ou de volta para o destilador.

O salinômetro funciona com base no princípio simples de que a água pura não conduz eletricidade e sua condutividade aumenta com o aumento de impurezas dissolvidas e sais. O salinômetro consiste em partes como: compensador de temperatura, multímetro, relé e sensíveis potenciômetros.

Os dois eletrodos do salinômetro são mergulhados na água de amostragem. Conduzindo eletricidade entre eles. O circuito é conectado como tal, a corrente condutora passa através do relé de atuação. Então com o aumento da salinidade, o relé de atuação atua no valor desejado. Isso fecha o circuito do alarme.

3.1.7 Painel de controle

É o que torna mais fácil e possível controlar e operar o gerador de água doce. É o que automatiza os procedimentos de partida e parada, nos deixando apenas monitorar e ver se está tudo de acordo com o manual do fabricante. Isso apenas torna mais fácil para iniciarmos, pararmos, testarmos alarmes, o salinômetro e definirmos o nível de ppm desejado.

Em termos simples, um painel de controle é um conjunto de mostradores, botões e lâmpadas que ajudam a operar e monitorar o funcionamento do sistema, mesmo em condição remota. Essa automação, juntamente com o controle de posição remota, é vital para a operação.

3.1.8 Válvula de quebra-vácuo e válvula de segurança

A válvula quebra-vácuo permite a entrada de ar no destilador antes de abri-lo para qualquer reparo. Já a válvula de segurança, alivia a pressão caso esta ultrapasse o limite aceitável de segurança do equipamento.

3.1.9 Hidrômetro

É instalado após a bomba de destilado, é usado para medir a quantidade de água produzida pelo destilador que vai para o tanque de armazenamento. A maioria dos destiladores de bordo têm sua produção máxima aproximadamente de 1.0 m³/h.

3.2 Princípio de funcionamento

O princípio básico de todos os geradores de água doce de baixa pressão é que, o ponto de ebulição da água pode ser reduzido, reduzindo a pressão baixa, a água pode ferver a baixas temperaturas, digamos a 50°C. A fonte de calor para o gerador de água doce pode ser o calor residual rejeitado pela água de resfriamento da camisa do motor principal.

Assim, usando energia de uma serpentina de aquecimento e reduzindo a pressão do invólucro do evaporador, a ebulição pode ocorrer a cerca de 40 a 60°C.

O gerador de água doce tipo submerso explicado abaixo usa o calor do motor principal para produzir água potável evaporando a água do mar devido ao alto vácuo, que permite que a água de alimentação evapore a uma temperatura baixa. O vapor também pode ser usado como fonte de calor em vez da água de resfriamento da camisa do motor principal.

Este tipo de gerador é baseado em dois conjuntos de trocadores de calor de casco e tubo, um atuando como evaporador ou aquecedor e outro como condensador.

O ejetor combinado de ar / salmoura cria uma condição de vácuo na câmara do evaporador fazendo com que a água do mar fornecida pela bomba ejetora seja enviada ao ejetor para retirar a salmoura (água do mar concentrada) e ar.

Ao entrar na temperatura da câmara do evaporador da água de alimentação será em torno de 50°C. A taxa fornecimento de água de alimentação ao evaporador é fixada por um orifício instalado na entrada de alimentação. Devido a condição de vácuo dentro da alimentação do evaporador, a água evapora a esta temperatura. O jato de água e gotículas são parcialmente removidos do vapor pelo defletor montado no topo do evaporador e parcialmente pelo demister. As gotas de água separadas voltam para a salmoura, que é extraída pelo ejetor de água.

O vapor dessalinizado, que passa pelo desumidificador, entrará em contato com o condensador, onde será condensado por meio da entrada de água do mar fria.

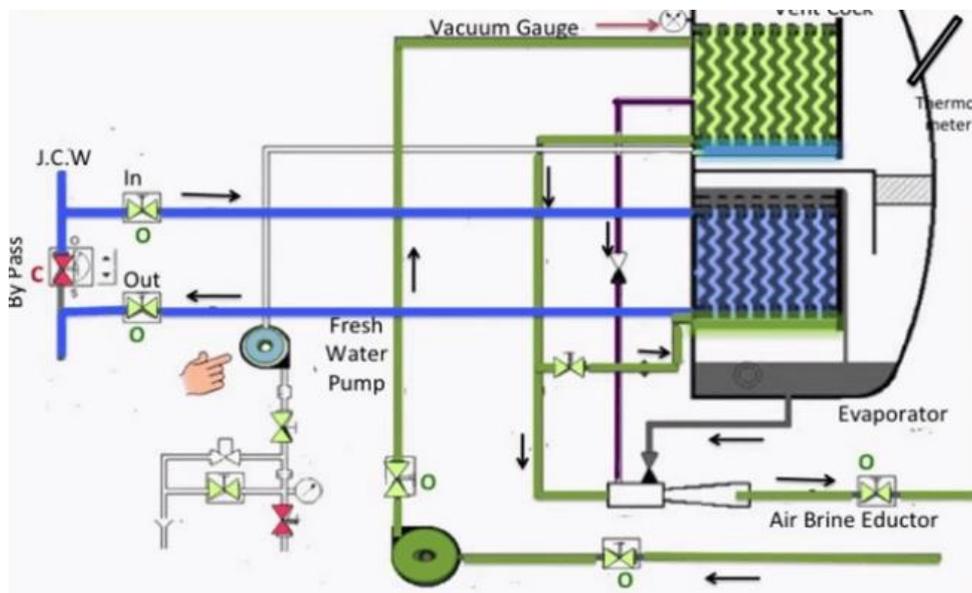
A água destilada é então retirada pela bomba destilada e controlada por salinômetro e válvula solenoide. Se o teor de sal da produzida for alto, geralmente no máximo 10 ppm, a válvula de descarga controlada por solenoide desvia a água doce de volta para o reservatório e emite um sinal de alarme. Isso evita a contaminação da água produzida. O excesso de salinidade pode ser por muitos fatores, incluindo vazamento de água salgada no condensador ou escorva do evaporador ou mau funcionamento do demister, ou muitas outras razões.

Para obter uma melhor sucção, a bomba de destilado é colocada no local mais baixo possível na planta geradora de água doce. Isso ocorre porque o reservatório do destilador está em uma pressão mais baixa. A bomba de destilação obtém a máxima sucção líquida positiva com a altura da coluna de líquido na linha de sucção.

Os termômetros são instalados para o controle de água do mar para o condensador e para a água de resfriamento da camisa no evaporador. Esses termômetros permitem o controle do aquecimento e resfriamento dessas unidades. O indicador de salinômetro ou salinidade é conectado ao alarme remoto para que a salinidade muito alta seja registrada imediatamente na sala de controle da máquina.

O que não pode ser condensado no condensador são chamados de “gases incondensáveis” como o ar e esses gases são ejetados continuamente pelo ejetor. Desta forma, a casa do gerador de água doce é mantida em alto vácuo, um requisito obrigatório para ferver a água a baixas temperaturas.

Figura 3: Diagrama de funcionamento



Fonte: www.marineinsight.com

3.3 Materiais de Construção do destilador

O reservatório é geralmente de aço fabricado (ou de metais não ferrosos, como o cupro-níquel) que foi granizado depois revestido com alguma forma de proteção.

Trocador de calor possui tubos de latão de alumínio e placa de tubo muntz metálica no caso do gerador de água doce tipo de tubo. Para o tipo de placa, placas de titânio são usadas para condensador e evaporador.

3.4 Procedimentos de partida manual do gerador de água doce

Não é fácil iniciar manualmente o gerador de água doce, não é como apertar um botão e o sistema iniciaria automaticamente. É preciso tomar medidas adequadas para seguir a sequência correta e levar sempre em consideração o fator ambiental, como um porto ou no mar.

É uma prática comum não usar o gerador enquanto estiver no porto, pois água salgada contém produtos residuais e substâncias químicas nocivas. O gerador normalmente é posto em funcionamento, somente a partir de 20 milhas náuticas da costa mais próxima. Isso não apenas fornece proteção contra esgoto e resíduos industriais, mas também garantir que recebemos água de alta temperatura, pois sob velocidade de manobra, a rotação do motor do navio é baixa, e assim não fornece calor suficiente para operar eficientemente o gerador de água doce.

Procedimentos de operação: Deve-se verificar e assegurar que a temperatura da água da camisa ou de um aquecedor é constante e não está abaixo de 70°C. Abrir a válvula de quebra-vácuo do invólucro do gerador enquanto fecha a válvula de drenagem no fundo, caso esteja aberta. Alinhar a linha da bomba ejetora abrindo as válvulas de sucção e descarga e a válvula de descarga ao mar. Ligar a bomba ejetora e fechar lentamente a válvula de quebra-vácuo do gerador. Manter a pressão da bomba ejetora entre 4 e 5 bar. Aguardar cerca de 15 minutos para obter uma condição de vácuo de 90% (aproximadamente 18 mm de mercúrio) no reservatório do gerador.

Uma vez alcançado o vácuo, abrir lentamente a válvula de entrada de água da camisa para o evaporador. Completar este processo dando uma volta à válvula de saída, seguido por outra volta na válvula de entrada.

Observar através do visor a fim de confirmar a evaporação da água, seguido por uma queda repentina da pressão de vácuo, com o aumento na temperatura e queda do nível da água de alimentação.

Após o sistema se estabilizar, abrir as válvulas de água do mar para arrefecimento do condensador. Ligar a bomba de destilado e o salinômetro para verificar a qualidade da água de alimentação. Abrir as válvulas necessárias para começar a descarregar a água produzida para os tanques de água doce.

3.5 Manutenção

A manutenção é uma fase muito importante que influencia tanto na fabricação quanto no projeto. A manutenção preventiva prevê um custo alto no primeiro momento a fim de reduzir o custo a longo prazo, conforme seja realizada a manutenção preventiva adequadamente.

O destilador requer para sua manutenção preventiva a longo prazo sobressalentes que podem ser custosos, como as próprias placas de titânio, selos das bombas ejetora e de destilado, ejetor, impelidores e motores elétricos. Os custos com produtos químicos anti-scaling são importantes, pois sem esse tratamento químico a operação do destilador perde rendimento rapidamente devido ao aumento de incrustações, ou seja, levará à baixa qualidade de água produzida bem como à redução da produção.

A manutenção do destilador de placa é mais fácil do que o de feixe tubular. A limpeza das 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 das placas pode ser feita de forma manual, química ou por jato de água.

4 Osmose reversa

A maioria das plataformas, navios offshore e outros navios mercantes, além dos navios cruzeiros têm como seu sistema principal para dessalinizar água do mar e produzir água industrial e também potável, ou para uso de água de arrefecimento em motores, água para uso em laboratórios a bordo e água nos camarotes e cozinha. Mesmo ela sendo potável, algumas empresas disponibilizam para sua tripulação a água mineral.

Antes de iniciarmos o estudo sobre o que é a Osmose Reversa, devemos compreender o que é a Osmose.

Osmose é o nome dado ao movimento de um solvente (água) entre meios com concentrações diferentes de solutos separados por uma membrana semipermeável. Este movimento tem como meta equilibrar a concentração de soluto nos dois lados da membrana, ou seja, como a água sempre se movimenta de um meio menos concentrado em soluto (hipotônico) para o meio mais concentrado em soluto (hipertônico), a osmose ocorre nesse sentido como tentativa de diluir ou diminuir a concentração do meio hipertônico, até atingir o objetivo de chegar a mesma concentração nos dois lados, tornando ambos isotônicos (concentrações iguais), assim a pressão osmótica se anula, não havendo mais movimentação de água. Não há interferência de pressão externa, é um movimento natural do meio.

Exemplo de uma situação onde a osmose ocorre:

O peixe vive em equilíbrio osmótico como seu ambiente. Logo, se o peixe é de água salgada, sua concentração de sais é elevada. Quando o peixe de água salgada é colocado em água doce, a água se desloca para dentro do peixe como tentativa de diminuir sua concentração, desse modo o peixe vai inchar.

Por outro lado, se o peixe é de água doce, ele possui baixa concentração de sais. Quando ele é colocado em água salgada, a água do interior do peixe vai tender a sair do peixe na tentativa de diminuir a concentração do meio. Neste caso, o peixe perde água (desidrata) e morre.

A osmose reversa (R.O.) é um processo de separação que usa pressão para forçar uma solução através de uma membrana semipermeável que retém o soluto e permite que o solvente flua para o outro lado, ou seja, é o processo de forçar a solução de uma região de alta concentração através da membrana semipermeável para uma região de baixa concentração de soluto. Nesse processo há uma pressão

externa aplicada que vai exceder a pressão osmótica. Esse processo é o oposto da osmose tradicional.

As membranas utilizadas têm uma camada de barreira densa, feita de polímeros, onde vai ocorrer a maior parte da separação. Na maioria dos casos, a membrana é construída para permitir que passe somente água, enquanto bloqueia a passagem de solutos (íons de sal), ou seja ela funciona como uma espécie de filtro, quem além de não permitir a passagem do soluto, vai impedir que passem os contaminantes presentes na água, como bactérias, vírus, sólidos em suspensão e material orgânico. Esse processo requer que seja aplicada uma alta pressão no lado de alta concentração da membrana, geralmente de 2 a 17 bar para água doce e para água salgada de 45 a 70 bar, que possui uma pressão osmótica natural em torno de 24 bar.

As membranas semipermeáveis presentes nos equipamentos de osmose reversa são sintéticas, permitindo que a água obtida seja de qualidade elevada, uma vez que em certos países o processo é utilizado até em tratamento de efluentes. O cuidado com essas membranas é de suma importância para o bom funcionamento do aparelho de osmose reversa, pois incrustações, proliferação de fungos e outros danos podem resultar na obtenção de um permeado contaminado. E se houver a presença de cloro livre na água pode ser altamente danoso para membrana, por isso sempre que for necessário deve ser fazer o tratamento de limpeza.

É importante ressaltar que a aplicação da osmose reversa abrange um universo bem mais amplo, englobando os seguintes ramos: Obtenção de água potável em comunidade, embarcações comerciais e de recreio, plataformas offshore, unidades militares como navios, faróis e unidades portáteis, é aplicada na indústria, como em clínicas de hemodiálise, indústria farmacêutica e alimentícia, obtenção de água para caldeiras e lavagem de filtros, em processos de concentração de fluidos, como o leite, suco de tomate, sucos de frutas, café e até mesmo de alcoolização de cerveja e vinho, controle e tratamento de efluentes e outros usos diversos, como no processo de filmes fotográficos.

4.1 Componentes e etapas de sistema de osmose reversa

Para que a água seja destilada é fundamental que água percorra diversos componentes de uma planta de dessalinização.

4.1.1 Pré - filtração de sedimentos

Nesta fase são retirados os sólidos pesados e os microrganismos, através de um sistema de filtração por ralos e de dosagem química de cloro. Esse tratamento é feito antes da membrana, pois essas partículas em suspensão podem causar obstrução e danificar tubulações e a bomba de alta pressão.

Essa pré - filtração também consiste em fazer uma filtração do sal presente na água do mar. Esse pré-filtro é um cartucho descartável com capacidade de retenção de 5 a 20 microns, sendo encontrado para partículas a partir de 1 microns.

4.1.2 Filtração

Nesta fase a água passa pelos filtros de carbono ativado e areia, para que os sólidos de tamanho médio sejam retirados. Esses filtros possuem um sistema de limpeza por retro lavagem (backflushing), que consiste em aplicar uma contra-pressão no sistema, retirando as impurezas retidas nos filtros.

Essa operação costuma ser executada por um sistema automático, com um temporizador acoplado ao mesmo. O filtro de carbono ativado também tem a função de retirar micro-organismos do sistema, que podem acabar saturando a membrana. Ao remover esses micro-organismos, ele contribui para a manutenção da água com as características básicas de uma água potável: incolor, insípida e inodora.

Pode ser adicionado no final deste tipo de sistema outro filtro como esse, para promover novamente essa manutenção das características mencionadas anteriormente.

4.1.3 Bomba de alimentação

É um tipo de bomba centrífuga que tem a função de manter a pressão positiva para a unidade acoplada ao motor elétrico resistente a salinidade.

É a bomba de alimentação que produz a pressão necessária para iniciar todo o processo de dessalinização da água salgada, só assim os filtros vão trabalhar de modo adequado para auxiliar na limpeza da água.

4.1.4 Bomba de alta pressão

É do tipo alternativa, onde é acionada por motor elétrico, com acoplamento através de correia, ruído acoplado e vaso de redução de vibração e serve para pressurizar a água salgada antes dela entrar no sistema de membranas. O range das pressões de trabalho está entre 50 a 85 bar, dependendo do fabricante pois cada modelo tem um limite pré-estabelecido pelo mesmo, além de depender da temperatura e da salinidade que a água se encontra.

Lembrando que essa pressão de trabalho é mais do que suficiente para superar a pressão osmótica da água salgada, antes da água ser dessalinizada na membrana.

4.1.5 Membranas de osmose reversa

É um conjunto geralmente cilíndrico e duplo, composto por um invólucro cujo o material é de vidro ou aço-inoxidável com membranas poliméricas em seu interior. Essas membranas devem ser resistentes o bastante para suportarem a pressão da água sem se romperem e seus furos devem ser pequenos o bastante para segurar as menores impurezas deixando passar somente a água. Elas são fabricadas para suportarem em até duas vezes a pressão máxima de operação.

Segundo a GEA Filtration, empresa do ramo de filtração, a maior parte das aplicações da tecnologia de Osmose Reversa utiliza o sistema “Cross Flow”. Esse sistema é definido como um “Método de filtração onde o escoamento do produto é paralelo à superfície do filtro para minimizar entupimentos e maximizar a eficiência” permitindo assim a utilização contínua das membranas auto-limpantes.

Geralmente a membrana é fabricada em poliamida de propriedade semipermeável, que vai reter os sais dissolvidos na água, microrganismos e sólidos em suspensão. Irá reter aproximadamente 99,6% das partículas, sendo capaz de reter até de 0.1 nanômetro. São confeccionadas para uma longa vida útil e requerem um alto grau de limpeza, cuidado e manutenção, pois são muito sensíveis e de alto valor comercial.

A maior parte dos sistemas comerciais e industriais utiliza múltiplas membranas em série. A água processada pelo primeiro estágio de tratamento pode ser passada por módulos de membranas adicionais para atingir níveis superiores de tratamento. A água de rejeito também pode ser direcionada para sucessivos

módulos de membranas para aumento da eficiência, apesar de a descarga ainda ser necessária em concentrações maiores onde a incrustação tem maior tendência de ocorrer.

O desempenho da máquina e a qualidade da água tratada dependem da configuração adequada do número de membranas, arranjos de vasos e da pressão fornecida pela bomba.

4.1.6 Painel de controle

Geralmente no painel de controle são encontrados: Válvula reguladora de pressão, chaves de acionamento e parada, manômetros de baixa e alta pressão, célula de condutividade que mede a condutividade da água, se a condutividade estiver fora do padrão estabelecido pelo fabricante, a água será automaticamente descarregada através de uma válvula de três vias magnética, e se o valor da água produzido for inferior ou estiver até o limite máximo, a água será descarregada para um tanque, medidores de vazão da quantidade de água doce produzida, , termômetro que mostra a temperatura de água salgada e um horímetro, que marca a quantidade de horas de funcionamento, para controle do operador para eventuais manutenções recomendadas pelo fabricante.

4.1.7 Filtragem secundária e o filtro mineralizador

A água dessalinizada é bastante corrosiva e deve ser tratada. A água passar por uma filtragem final, antes de ter seu ph reajustado e seus sais minerais repostos. Nesta fase é dosado um produto químico do tipo “Anti Descaling”, que possui dentre outros componentes, o Dióxido de Carbono, que combate a corrosão por depósitos de concreto ou cimento e uma composição que previne a formação de depósitos de cálcio e magnésio no interior do sistema e ajusta o ph da água para aproximadamente 7 (neutro), podendo variar entre 6.8 a 8.1, fazendo assim uma primeira desinfecção. Após isso, os sais minerais vitais ao ser humano são repostos na água por um filtro mineralizador.

4.1.8 Desinfecção

O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para distribuição com a máxima qualidade possível. Mesmo assim a desinfecção é feita para assegurar um suprimento seguro de água. O processo de desinfecção, também conhecido como desinfecção germicida ou bactericida, é usado para matar qualquer bactéria, vírus ou protozoário que possa ter by-passado o sistema. Essa desinfecção é feita por radiação ultravioleta (UV), usando lâmpadas UV diretamente na água. Cabe ressaltar que a desinfecção primária já é executada na etapa inicial do processo, assim que a água não tratada entra no sistema, através do processo de cloração.

4.2 Operação do sistema de Osmose reversa

Caso o equipamento esteja parado a muito tempo ou por desarme, é necessário antes de iniciar o funcionamento é preciso lavar o sistema em torno de trinta minutos para a remoção de produtos químicos que são usados para conservação da membrana. Primeiramente, deve encher o sistema com a válvula de purga de ar aberta, através da bomba de alimentação de baixa pressão. Se o sistema utiliza algum tratamento químico, ele vai ser feito nesse momento, inspecionando para que não haja adição de excesso de produto químico. Após isso, é acionado a bomba de alta pressão para que o sistema comece a funcionar lentamente até alcançar o fluxo desejado de produção, deve ser monitorado constantemente o manômetro de descarga da bomba até chegar à pressão de trabalho. A água produzida só poderá ir para os tanques de armazenamento quando a taxa de cloreto estiver dentro das condições requeridas.

Para parar o sistema, é necessário lavá-lo para remover as moléculas grandes, as partículas pequenas e as bactérias durante quinze minutos com água destilada, se o equipamento for ficar parado por longo tempo é necessário utilizar produtos químicos para a remoção de bactérias, principalmente nas membranas.

4.3 Instalação

A instalação do equipamento de Osmose Reversa deve ser feita levando em conta algumas considerações: Deve-se observar e escolher o equipamento

adequado que atenda às necessidades da embarcação, para maximizar a vida útil dos filtros de entrada, o abastecimento de água do mar deve ser livre de areia, óleo, ervas daninhas e outras partículas e o abastecimento de água para as membranas não deve ter nenhum teor de cloro.

4.4 Manutenção

Num sistema de dessalinização por osmose reversa, as tubulações de alimentação de água salgada são fabricadas de material resistente a corrosão para tentar impedir o máximo da chegada de impurezas nas membranas filtrantes e, assim prolongar a vida útil do equipamento, ou ao menos evitar paradas excessivas da planta para a execução das retro lavagens, dessa forma evita-se as manutenções corretivas.

Os filtros da aspiração da bomba de alimentação devem permanecer sempre limpos para evitar que o fluxo de água salgada na sucção da bomba de alta pressão diminua, podendo a unidade parar por baixa pressão.

Durante a operação normal, por um longo período de tempo, as membranas estão sujeitas à incrustação por material suspenso presente na água de alimentação. A eliminação de incrustações é efetuada pela limpeza e lavagem rápida. Como uma orientação geral, a eliminação de incrustações é exigida quando a vazão do permeado tem diminuído de 10 a 15% abaixo da vazão normal ou a pressão da água de alimentação tem aumentado de 10 a 15% para manter a vazão da água do permeado ou a qualidade da água do permeado tem diminuído de 10 a 15% ou a passagem de sal tem aumentado 10 a 15% ou ainda o diferencial de pressão através de um estágio de osmose reversa tem aumentado.

Outras manutenções que não requerem itens de alto custo para realização, como por exemplo: produtos químicos para realização de uma limpeza, geralmente é semestral; filtro de carvão ativado que é trocado anualmente; elementos filtrantes da linha são trocados em função da qualidade da água a ser dessalinizada; óleo lubrificante da bomba de alta pressão, a quantidade varia conforme o tamanho da bomba e o principal item as membranas, que dependendo do fabricante possuem um tempo de vida útil de 3 a 5 anos.

5 Comparação entre a osmose reversa e o destilador

A osmose reversa tem o melhor rendimento quando comparado com o sistema destilatório, pois para o mesmo volume de saída, a quantidade na entrada de uma osmose reversa é um terço da água do mar necessária para um destilador. Isso mostra uma diminuição do consumo de energia e outros custos para bombeio da água do salgada para o sistema e a descarga da salmoura que estava presente no sistema.

A dessalinização por osmose reversa exige um consumo de energia considerável para pressurizar a água salgada nas membranas, porém o destilador precisa de muita energia para o aquecimento da água que vai ser vaporizada.

Com os avanços tecnológicos das membranas nos últimos anos, passou a existir novos tipos de membranas que conseguem efetuar a separação de soluto em pressões de trabalho bem inferiores, o que implica num decréscimo do consumo de energia. Em sua grande maioria, o destilador necessita de aproximadamente 17 Kwh/m³ de água enquanto a planta de osmose reversa precisa de 5Kwh/m³.

Quanto à qualidade da água produzida, a osmose reversa produz água com 400 mg/l de sal dissolvido quanto o grupo destilatório produz por menos de 100mg/l. A osmose reversa para ter uma performance melhor nesse quesito de qualidade, vai precisar de vários conjuntos de membranas. Já o destilador, como usa a vaporização, o desempenho não dependerá da qualidade da alimentação. Um aspecto negativo da osmose reversa é necessidade de um pré-tratamento da água, pois há a necessidade de ter vários dispositivos e utilizar produtos químicos para remover impurezas, sólidos em suspensão e organismos biológico, além do PH que deve ser controlado, já o destilador não requer nada disso, pois usa a vaporização.

Já em relação a tamanho, o grupo destilatório é bem maior que a unidade de osmose reversa, logo as despesas com construção e de espaço são bem maiores, desde que o sistema de produção de calor, tubulações especiais para condução de calor e seus isolamentos térmicos, caldeiras ou aquecedores e condensadores sejam necessários. A versatilidade dos equipamentos de osmose reversa e o design compacto garantem uma melhor relação volume e peso-por-produção, isto facilita a instalação em navios e plataformas já que geralmente há limitações de espaço.

Ao escolher um destilador é importante ter atenção a quantidade de água necessária para a embarcação, a qualidade da água que será usada a bordo e grau

de obsolescência, apesar de não ser considerado ainda obsoleto, os destiladores estão sendo cada vez menos utilizados a bordo.

Devido à automatização os sistemas de dessalinização têm pouca necessidade de operadores. São projetados para necessitar o mínimo possível de manutenção preventiva. Não requerem períodos de parada significativos com exceção das rotinas de manutenção que são realizadas em aproximadamente de 4 a 6 meses.

Ambos os equipamentos, em virtude do alto grau de poluição das águas próxima a costa, principalmente em estreitos, baías, canais e próximo a outras unidades marítimas, como plataformas de perfuração e produção, têm uma grande restrição operacional relativa à captação de água do mar a ser dessalinizada, pois pode existir poluentes por ações antropogênicas. Esses poluentes diminuem a eficiência dos trocadores de calor de um destilador e a vida útil das membranas semipermeáveis.

Para reduzir esse problema, é uma prática de bordo não produzir água potável abaixo de 12 milhas náuticas da costa ou se tiver numa zona de até 500 metros de uma plataforma ou outra embarcação.

A mão de obra responsável pela manutenção do destilador deve ser especializada, mas não exige tanto quanto a osmose reversa. A principal manutenção do destilador é a limpeza das placas, a parte mais complicada e que requer mais atenção é no momento da montagem, é importantíssimo não misturar as placas do evaporador com o condensador, e essas placas possuem uma ordem especificado no manual de instruções. Já a principal manutenção da osmose reversa executada é a retro lavagem, é um processo automatizado que não requer tanta especialização, apenas as trocas das membranas necessitam muita especialização.

6 Tendência do mercado e custo do equipamento

O destilador foi o primeiro equipamento utilizado para dessalinizar água a bordo, mas vem sendo substituído gradativamente pela osmose reversa, que como já foi mencionado anteriormente, possui uma capacidade de produzir água em maior quantidade no mesmo intervalo de tempo e com mais qualidade, assim garante aos operadores uma maior confiabilidade que não faltará água a bordo para consumo dos tripulantes e seu uso nas máquinas.

Quanto ao custo do equipamento, a osmose reversa é bem mais cara quando comparada ao destilador. Os filtros de pré-tratamento, ao passo que garantem uma vida útil maior das membranas e os sistemas de cloração, esterilização ultravioleta e neutralização de ph que também vão garantir uma água produzida de alta qualidade, acabam encarecendo ainda mais a instalação da osmose reversa.

Com o avanço da tecnologia, o custo para produzir e vender uma unidade de osmose reversa vem diminuindo mais 10% por ano, dessa forma aumentou a aceitação e a inclusão desse equipamento no mercado marítimo. A estimativa de mercado é que dentro de 5 anos, o custo das membranas deve cair cerca de 29%. Embora leve-se muito tempo para vir a substituir as membranas no período de manutenção, esse é um processo caro, pois elas são as partes mais custosas do equipamento, enquanto que no destilador a manutenção ocorre com maior frequência, porém a manutenção é simples e barata.

7 Considerações finais

O objetivo principal do trabalho foi apresentar os dois principais equipamentos de dessalinização da água do mar: o destilador e a osmose reversa. Foi comparado entre os dois equipamentos, suas vantagens e desvantagens. O grupo destilatório exige uma manutenção constante para a limpeza das placas, além de ser totalmente dependente de outros equipamentos, como de motores e caldeira para geração do vapor saturado, o que pode colocar em risco a produção de água, pois em caso de qualquer avaria em um desses equipamentos, a produção vai parar imediatamente até que se conserte-os. Além do que, no caso da caldeira tem mais um agravante, pois é necessário o uso de combustível para mantê-la operando, dessa forma existe o aumento do custo com combustível. Ao passo que, a osmose reversa, um sistema bem mais moderno, com um alto grau de confiabilidade e disponibilidade, pois para estar em pleno funcionamento independe de qualquer outro equipamento para auxiliá-lo na produção de água.

Apesar de um custo maior com manutenção preventiva, especialmente na troca das membranas respeitando o intervalo recomendado pelo manual do fabricante, no geral a osmose reversa se mostra ser a tendência para o presente e para o futuro das próximas gerações marítimas, pois os níveis de exigência estão cada vez maiores, portanto ter um equipamento a disposição e pronto para uso a qualquer momento e independente de qualquer outro equipamento para estar em funcionamento, a osmose reversa garante uma maior de confiabilidade em relação ao destilador.

A água doce é fundamental a bordo de embarcações marítimas para diversas atividades do dia a dia, como para o uso da tripulação, o arrefecimento de máquinas e motores e abastecimento da caldeira. A necessidade de os navios reduzirem custos e em relação as grandes viagens, com ausência de ida a portos por um grande número de dias, fez com que em sua maioria, se tornasse autossuficiente na produção de água a bordo, dessa maneira o destilador, num primeiro momento foi amplamente utilizado e em seguida com os avanços tecnológicos, surgiram as osmose reversas que foram aceitos no mercado marítimo, a escolha do ideal vai depender do armador.

Referências

ARAIÁ, Eduardo. **Dessalinização. Você ainda vai beber dessa água.**

Disponível em: <https://www.revistaplaneta.com.br/dessalinizacao-voce-ainda-vai-beber-dessa-agua/>. Acesso em 02 maio 2019.

CALDEIRA, Brunella Dutra. **Dessalinização da água do mar da marinha mercante.** 2016. 41f. Dissertação (Aperfeiçoamento para oficiais de máquinas) - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

CINTRA, Rodrigo. **Grupos Destilatórios - Os equipamentos mais usados a bordo para obtermos água potável.** Disponível em: <http://portalmaritimo.com>. Acesso em: 29 maio 2019.

CINTRA, Rodrigo. **Osmose Reversa - Conheça este processo que purifica nossa água a bordo.** Disponível em: <http://portalmaritimo.com>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DIESEL SHIP. **Reverse osmose.**

Disponível em: <http://dieselship.com/marine-technical-articles/marine-engineering-knowledge-general/reverse-osmosis/?v=19d3326f3137>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DIRECT INDUSTRY. **Unidade de purificação de água por osmose reversa.**

Disponível em:

<http://www.directindustry.com/pt/prod/suez-water-technology-solutions/product-34162-1911891.html>. Acesso em: 11 jun. 2019.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Osmose Reversa na dessalinização das águas dos mares.** Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/osmose-reversa-na-dessalinizacao-das-aguas-dos-mares.htm>. Acesso em 01 maio 2019.

MADHAVI, Mohit. **Fresh water generator.**

Disponível em: <http://marinelookout.com/marine-tech/fwg>. Acesso em 10 maio 2019.

MARINE INSIGHT. **Converting seawater to freshwater on a ship.** Disponível em: <http://www.marineinsight.com/guidelines/covering-seawater-to-freshwater-on-a-ship-fresh-water-generator-explained/>. Acesso em 10 jun. 2019.

NOGUEIRA, Danilo. **Propriedades coligativas – Tonoscopia, Ebulioscopia, Crioscopia e Osmose.**

Disponível em: <http://saberemquimicaefisica.com.br/wp/propriedades-coligativas/>. Acesso em: 02 maio 2019.

KOSHERMAP. **Israel inaugura a maior usina de dessalinização do mundo.**

Disponível em: <http://www.koshermap.com.br/es/view-6660/israel-inaugura-a-maior-usina-de-dessalinizacao-do-mundo.html>. Acesso em 05 maio 2019.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Distribuição de água no mundo.** Disponível em:

<http://www.brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>.

Acesso em: 03 maio 2019.

PURE AQUA. **What is Reverse Osmose?**

Disponível em: <http://www.pureaqua.com/what-is-reverse-osmosis-ro/>. Acesso em 03 jun. 2019.

RIBEIRO, Rafael Carvalho de Castro. **A inovação tecnológica da geração de água doce.** 2014. 35f. Dissertação (Aperfeiçoamento para oficiais de máquinas) - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

SCOTT, Willie. **Fresh water from sea water: Reverse osmosis systems & water evaporators.** Disponível em: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/66786-fresh-water-from-sea-water-on-ships/>. Acesso em: 11 maio 2019.

SHIP FEVER. **Fresh Water Generator - How sea water is made drinkable.**

Disponível em: <https://shipfever.com/fresh-water-generator/>. Acesso em 14 maio 2019.

TITANIUM PLATE TYPE FRESH WATER GENERATOR. **Desalt JWP-26-C Series.**

Disponível em: <http://www.alfalaval.com>. Acesso em 10 jun. 2019

