

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRANÇA ARANHA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS (APMA)



A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA GERAÇÃO DE ÁGUA DOCE

RAFAEL CARVALHO DE CASTRO RIBEIRO

RIO DE JANEIRO, 2014

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS
APMA 02 – 2014

A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA GERAÇÃO DE ÁGUA DOCE

RIO DE JANEIRO, 2014

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS
APMA 02 – 2014

RAFAEL CARVALHO DE CASTRO RIBEIRO

A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA GERAÇÃO DE ÁGUA DOCE

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do curso de Aperfeiçoamento de Oficiais de Máquinas (APMA).

Orientador: 1OM/Gestor de QSMS Cláudio de Jesus

RIO DE JANEIRO, 2014

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS
APMA 02 – 2014

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (TRABALHO ESCRITO):

Orientador: 1OM/Gestor de QSMS Cláudio de Jesus
Orientador – CIAGA

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Francisco (in memoriam) e Elionai, que me deram o impulso inicial, sempre incentivando e investindo nos meus estudos e na minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde para seguir meu caminho;

À minha esposa Alessandra que me apoiou e incentivou nas horas mais difíceis e sempre esteve ao meu lado em todos os momentos;

Aos meus colegas da empresa Norskan Offshore que me apoiaram na realização deste curso, em especial à equipe de máquinas do Skandi Vitória;

Aos mestres e coordenadores, pelos conhecimentos e experiências adquiridos, bem como pela organização do curso.

EPÍGRAFE

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.

Ayrton Senna

RESUMO

Este estudo faz uma abordagem sobre o assunto “Dessalinização por Osmose Reversa: A Inovação Tecnológica da Geração de Água Doce”. Inicialmente, procuramos definir todos os processos de dessalinização, ressaltando a destilação em multiestágios e a dessalinização por osmose reversa, os mais empregados a bordo das embarcações. Em seguida, foram estabelecidas as principais características da água do mar e alguns termos técnicos como; densidade, temperatura, pressão osmótica, equilíbrio osmótico, TSD e osmose reversa, entre outros para chegarmos ao mais esperado processo de alta tecnologia, analisando e comparando o mesmo com os destiladores em relação a custo, consumo de energia, quantidade e qualidade da água produzida, através de manuais de fabricação, pesquisas de sites e, principalmente, experiência de bordo.

Palavras-chaves: Dessalinização por osmose reversa, destilação, pressão osmótica, equilíbrio osmótico e TSD.

ABSTRACT

This study is an approach to this “Desalination by Reverse Osmosis: The Innovation Generation of Freshwater”. Initially, we tried to set all desalination processes, emphasizing the multistage distillation and desalination by reverse osmosis, the most commonly used on board vessels. We then established the main characteristics of seawater and some technical terms such as; density, temperature, osmotic pressure, osmotic balance, TDS and reverse osmosis among others to reach the most anticipated high-tech process, analyzing and comparing the same with freshwater generators in terms of cost, power consumption, quantity and quality of water produced, through manuals of manufacturing, research sites, and especially, experience on board.

Keywords: Desalination by reverse osmosis, distillation, osmotic pressure, osmotic balance and TDS.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. HISTÓRICO	13
3. A ÁGUA NO PLANETA.....	14
3.1 FONTES DE ÁGUA DOCE	16
4. DESSALINIZAÇÃO	17
4.1. DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA	17
4.2. PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO	17
4.3. SOLUÇÕES SALINAS	18
4.4. CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DO MAR	19
5. SISTEMA DESTILATÓRIO	19
5.1. GRUPO DESTILATÓRIO	19
5.2. OPERAÇÃO DO SISTEMA DESTILATÓRIO	22
5.3 MANUTENÇÃO DO SISTEMA DESTILATÓRIO	23
6. SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA	24
6.1. DESSALINIZADORES POR OSMOSE REVERSA	24
6.2. COMPONENTES DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA	26
6.3. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA	29
6.4. MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA	30
7. COMPARAÇÃO ENTRE OSMOSE REVERSA E DESTILADORES	31
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das águas na Terra em um dado instante.....	15
Figura 2 - Exemplo de destilador de um estágio.	21
Figura 3 - Exemplo de destilador de dois estágios.....	22
Figura 4 - Ilustração de processo de osmose natural.....	24
Figura 5 - Sistema típico de Osmose Reversa horizontal	26
Figura 6 - Disposição interna dos elementos de um cilindro de osmose reversa.....	28
Figura 7 - Sistema de dessalinização por Osmose Reversa.....	29

1. INTRODUÇÃO

Por maior que seja a importância da água, as pessoas continuam poluindo os rios e suas nascentes, desperdiçando água, não se preocupando com o que é fundamental para o mundo. A água doce utilizada pelo homem vem das represas, rios, lagos, açudes, reservas subterrâneas e em certos casos do mar, processo chamado de dessalinização, que é o objeto desse estudo.

É de fundamental importância que as embarcações (navios, rebocadores off-shore e plataformas) mantenham operacionais e eficientes seus dessalinizadores dada ao consumo elevado em sistemas de máquinas e do consumo básico da tripulação (banho, sanitário, limpeza de pisos e convés), reduzindo o desperdício de água potável a bordo.

Os dois principais tipos de sistemas encontrados a bordo são os de osmose reversa e o destilador. Atualmente, muitas embarcações modernas vêm substituindo os destiladores, os quais produzem água doce através da evaporação da água salgada pelos dessalinizadores por osmose reversa, os quais produzem água doce por diferencial de pressão entre a água e o sal contido nela economizando energia, aumentando a produção, minimizando o custo, melhorando a qualidade da água produzida e reduzindo o abastecimento externo em terminais portuários e barcos de apoio marítimo.

O estudo sobre a dessalinização por osmose reversa, suas principais características e vantagens podem contribuir para o meio acadêmico marítimo com uma melhor compreensão dos conceitos, definições, comparações e atribuições a curto e longo prazo que as novas descobertas podem trazer. A partir dos dados e resultados desta pesquisa pode-se sugerir ao meio acadêmico marítimo repensar as práticas tradicionais, assim como aperfeiçoar novas práticas para a utilização desta máquina.

2. HISTÓRICO

Na antiguidade, as pessoas não se preocupavam com a qualidade da água e sim com a quantidade da mesma. Desde 2000 anos antes de Cristo, antigos egípcios mostravam as práticas para a manter a água pura e livre de bactérias, própria para sobrevivência, para beber e para uso na agricultura, como: fervura, aquecimento solar, filtração, etc.

Com o aparecimento das embarcações movidas a turbinas a vapor, aumentou a necessidade de obter água pura para suprir as caldeiras de bordo, levando a fabricação dos destiladores.

Recentemente, com o crescimento da tecnologia, surgiram os dessalinizadores por osmose reversa através das membranas semipermeáveis, desenvolvidas por pesquisadores norte-americanos da Universidade de Califórnia de Los Angeles, a partir de 1949. Como a vazão da produção de água era escassa, então o sistema só começou a ser implantado em 1980.

As grandes reservas de energias existentes em muitos países do Oriente Médio juntamente com sua escassez de água levou a construção de grandes plantas de dessalinização nesta região. Nos meados de 2007, o Oriente Médio produzia cerca de $\frac{3}{4}$ de toda água dessalinizada do mundo. No mundo inteiro, há 13.800 plantas de dessalinização que produzem no total mais de 45,5 bilhões de litros de água por dia de acordo com a *International Desalination Association*. O Sal retirado do Brasil em média é de 3%.

A maior planta de dessalinização do Mundo é a localizada em Hadera, norte de Israel , seguida pela de Jebel Ali - nos Emirados Árabes Unidos. Utiliza o processo de destilação em multi-estágios para produzir 300 milhões de metros cúbicos de água por ano (cerca de 9.460 litros por segundo). Em Israel, 15% da água de consumo doméstico provém da dessalinização de água do mar, as maiores usinas estando em Ashkelon e Palmach (ao sul de Tel Aviv). Em Eilat, toda a água consumida é dessalinizada. Nos Estados Unidos, o qual foi o primeiro país a descobrir a produção de água doce através de osmose reversa, tem a maior planta de desalinização na Florida, e começou produzindo 95.000 m³ de água por dia em dezembro de 2007.

3. A ÁGUA NO PLANETA

Água é fonte de vida. Não importa quem somos o que fazemos, onde vivemos nós dependemos dela para viver. No entanto, por maior que seja a importância da água, as pessoas continuam poluindo os rios e suas nascentes, desperdiçando água, não se preocupando com o que é fundamental para o mundo.

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.

A quantidade de água doce produzida pelo seu ciclo natural é hoje basicamente a mesma que em 1950 e que deverá permanecer inalterada até 2050. Essencial para a vida, a água doce tornou-se um problema em todos os continentes, levando a ONU (Organização das Nações Unidas) a criar em 2004 o Dia Mundial da Água - 22 de março.

Preocupar-se com a escassez de água em um planeta que tem 75% de sua superfície coberta por água parece absurdo. No entanto, a maior parte desse volume encontra-se nos mares e oceanos - água salgada, imprópria para o consumo humano e para a produção de alimentos.

Apesar de 75% da superfície do planeta ser recoberta por massas líquidas, a água doce não representa mais do que 3% desse total. Apenas um terço da água doce - presente nos rios, lagos, lençóis freáticos superficiais e atmosfera - é acessível. O restante está concentrado em geleiras, calotas polares e lençóis freáticos profundos, conforme mostra a representação abaixo:

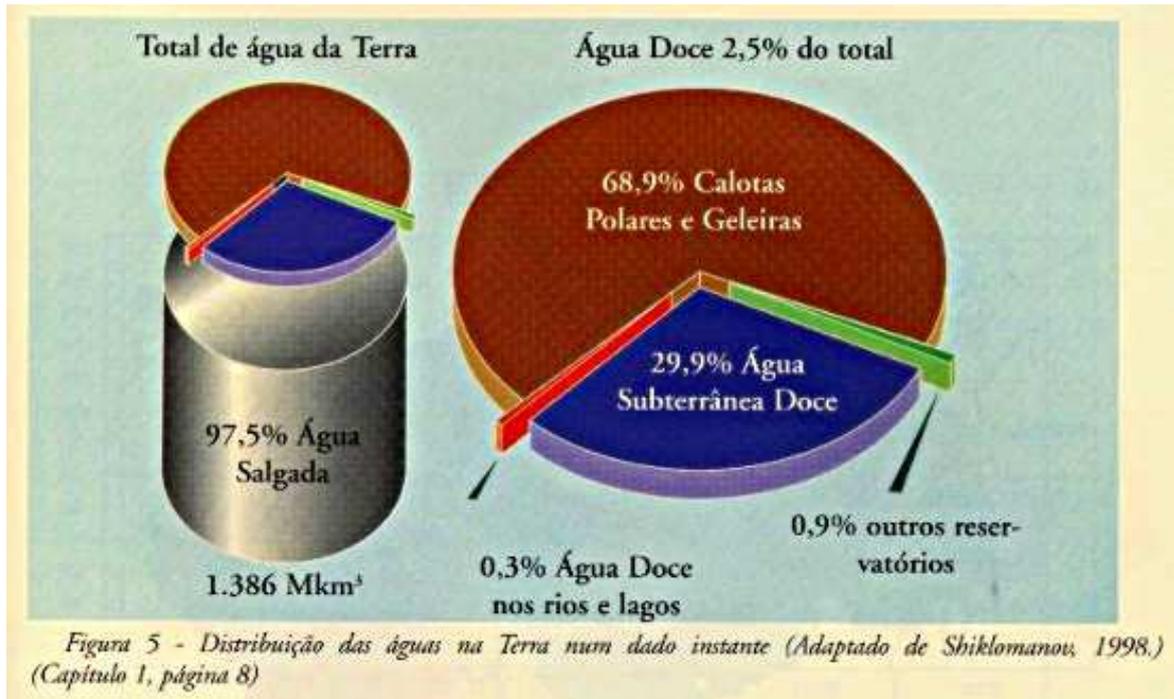


Figura 1 - Distribuição das águas na Terra em um dado instante.
Fonte: Departamento de Recursos Minerais (www.drm.rj.gov).

Isto quer dizer que a maior parte da água disponível e própria para consumo é mínima e perto da quantidade total de água existente na nossa terra.

Nas sociedades modernas, a busca do conforto implica necessariamente em um aumento considerável das necessidades diárias de água. Precisamos começar a utilizar a água de forma prudente e racional, evitando o desperdício e a poluição, pois:

- Um sexto da população mundial, mais de um bilhão de pessoas, não tem acesso a água potável;
- 40% dos habitantes do planeta não tem acesso a serviços de saneamento básico;
- cerca de 6 mil crianças morrem diariamente devido a doenças ligadas à água insalubre;
- segundo a ONU, até 2025, se os atuais padrões de consumo se mantiverem, duas em cada três pessoas no mundo vão sofrer escassez moderada ou grave de água.

3.1 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 chamado de dessalinização), que é o que trataremos no nosso estudo. Viabilização da produção e consumo de água destilada em embarcações e terminais.

Buscar alternativas para melhor utilização do recurso de produção e utilização da água destilada produzida por dessalinizadores a partir da dessalinização da água do mar, que é uma necessidade para os navios e embarcações, a fim de torná-los independentes de fontes externas de água doce, de modo que possam manter-se durante longos períodos no mar.

Além disso, mostrar que esse modelo serve para todas as regiões que sofrem com a escassez de água doce. Para torná-las potáveis, ou seja, apropriada ao consumo humano.

Da mesma forma como é imprescindível para os seres vivos, a água também é vital para as embarcações, seja de pequeno porte, um rebocador, um navio de guerra, um navio mercante, uma plataforma ou um transatlântico.

Essa necessidade à primeira vista, pode parecer um grande paradoxo, pois um navio opera em um ambiente cercado de água por todos os lados, ou seja, tal dependência não deveria ser tão significativa.

Entretanto, há de se considerar que essa água (denominada de água não tratada), que é presente nos mares e rios, apesar de ser utilizada em diversas aplicações a bordo, não é adequada a uma série de outras necessidades de sistemas e equipamentos existentes em um navio, sendo a mais óbvia delas a água para consumo da tripulação. Portanto, é de fundamental importância dispor-se a bordo de meios para o tratamento e armazenamento dessa água.

A água é assim denominada “in natura” nos oceanos, mares e rios. A quantidade e a natureza dos constituintes presentes nessas águas variam, principalmente em função da natureza do solo do qual são originárias, das condições climáticas e do seu grau de poluição, causado especialmente pelos despejos de esgotos sanitários e oleosos, além de detritos.

Nos navios e embarcações em geral, essa água é comumente denominada de água salgada (considerando que a maioria desses navios atua em ambiente marinho), podendo ser também denominada de água do rio para os navios fluviais.

A água tratada sofre algum tipo de tratamento (dessalinização, filtração, etc.) para torná-la aplicável a alguns sistemas a bordo e para uso geral. Dependendo do grau de tratamento e da utilização, a água doce (e potável) possui menos de 500 ppm (partes por milhão) de TDS (total de sólidos dissolvidos) e a água desmineralizada, até 20 ppm de TDS.

4. DESSALINIZAÇÃO

4.1 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

A dessalinização refere-se a vários processos físico-químicos de retirada de sal e outros minerais da água transformando-a em água doce.

A dessalinização da água é muito utilizada em regiões onde a água doce é escassa ou de difícil acesso, como no Oriente Médio, na Austrália e no Caribe, em embarcações. A água doce obtida é utilizada para consumo humano ou necessidades essenciais.

Há vários métodos conhecidos para se fazer a conversão de água salgada em água doce, mas apenas dois deles representam 88% da dessalinização global: a osmose reversa e a destilação multiestágios (sistema destilatório).

4.2 PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

Há cinco processos diferentes para dessalinizar a água seguindo a descrição dos seus procedimentos:

- ✓ Destilação por forno solar – O forno solar tem como função concentrar os raios solares numa zona específica, graças a um espelho parabólico. Dessa forma, o recipiente que contém a água a destilar pode chegar a temperaturas maiores que normalmente.

- ✓ Dessalinização térmica – Quando a água salgada é evaporada artificialmente e depois condensada. Esse processo separa a água e o sal, pois este não é carregado no processo de evaporação. Isto ocorre na natureza, pois sempre que a água do mar evapora, os sais permanecem e a água das nuvens não é salgada.
- ✓ Congelamento – Outro processo envolve o congelamento da água, pois somente a água pode ser congelada (os sais não congelam junto). O processo é basicamente a extração de sais mineirais da água através do congelamento. São repetidos inúmeras vezes tal processo para que se consiga água destilada. O processo pode ser feito em grande escala, mas é muito caro, portanto é testado e melhorado apenas em laboratórios, para assim ser barateado. O que se pode fazer é descongelar a água das calotas polares, mas esta não é ainda uma boa solução, pois há o alto custo do descongelamento a se levar em conta.
- ✓ Destilação multiestágios – Utiliza-se vapor a alta temperatura para fazer a água do mar entrar em ebulição. São multiestágios pois a água passa por diversas células de ebulição-condensação, garantindo um elevado grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada.
- ✓ Osmose reversa – Quando há pressão sobre a solução, a água e o sal são separados através de uma membrana semi-permeável.

4.3 SOLUÇÕES SALINAS

Chama-se de solução salina a dissolução de um sal (soluto) em um líquido (solvente), sendo este líquido normalmente a água. Se dissolvermos uma colher de sal de cozinha (cloreto de sódio) em um copo de água pura, teremos uma solução salina de cloreto de sódio. Se pusermos mais colheres de sal no mesmo copo, a solução ficará mais "salgada", isto é, a concentração do sal ficará maior.

Os diferentes sais existentes na natureza apresentam diferentes capacidades de se dissolver na água. Existem os que se dissolvem muito pouco ou nada (insolúveis) até os que se dissolvem em grandes quantidades e com facilidade (cloreto de potássio).

Existem ainda substâncias que se dissolvem em água com facilidade, como a sacarose (açúcar), mas resultam em soluções um pouco diferentes das soluções salinas, pois não são soluções eletrolíticas, isto é, não conduzem a corrente elétrica.

As águas salgadas encontradas na natureza têm inúmeros sais nela dissolvidos. A água doce potável apresenta pequena quantidade de sal dissolvida, o que possibilita o consumo.

4.4 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DO MAR

Como padrão para a água do mar temos:

- ✓ TSD (total de sólidos dissolvidos)= 35.000 ppm.
- ✓ Temperatura= 25°C.

Variações podem ocorrer entre 35.000 a 45.000 ppm, e entre 0° a 35°C.

A unidade de medida ppm corresponde ao método comum de referência à quantidade de sólidos dissolvidos em qualquer solução. Ex: Se misturarmos 1 grama de cloreto de sódio num reservatório contendo 1.000 litros de água, teremos, hipoteticamente, 1 ppm de TSD => 1 parte de sal para 1.000.000 de partes de água (1 litro = 1 kilograma= 1.000 gramas).

5. SISTEMA DESTILATÓRIO

5.1 GRUPO DESTILATÓRIO

A definição de um gerador de água doce, ou destilador, é basicamente: a água doce ou do mar é evaporada através de uma fonte de aquecimento, separando água pura do sal, sedimentos e outras substâncias. A bordo para ocorrer este fenômeno, utiliza-se água de circulação das camisas dos motores diesel ou água quente dos aquecedores como fonte de calor, embora o vapor também possa ser usado. Como os destiladores geralmente usam uma fonte de calor já existente, o

custo da operação é barato, não havendo necessidade de fabricar um sistema que forneça o calor essencial.

Existem três componentes principais em um destilador: um aquecedor (evaporador), o qual aquece e vaporiza a água do mar elevando sua temperatura, um separador de gotículas (demister), o qual separa o vapor e o sal retendo as gotas de água salgada que possam ter sido arrastadas e outro que condensa este vapor (condensador) produzindo água doce. No condensador, a condensação acontece por resfriamento devido a troca de calor com a água fria do mar.

Há também a bomba ejetora (tipo centrífuga), a qual faz parte do sistema e fornece a água do mar que será evaporada a uma temperatura abaixo dos 100°C (a partir de 50°C) através da baixa pressão (750 mm Hg), produzindo o vácuo necessário (em torno de 98%) para que esta água evapore e extraia a salmoura, descartando-a.

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.

Ao completar o sistema, há uma bomba de extração de destilado, que será enviada para os tanques de armazenamento, se a concentração de sais estiver em nível aceitável, geralmente entre 1 e 10 partes por milhão (ppm), o qual será analisado pelo equipamento posicionado na descarga desta bomba (salinômetro), e que, em emergência, ou seja, elevação deste ppm, acionará um alarme bloqueando a passagem de água para os tanques de armazenamento, retornando a mesma para o porão da praça de máquinas, um tanque de esgoto ou mesmo para recircular no evaporador.

Quanto a diferenciação dos tipos de trocadores de calor, podemos citar o uso de placas (tipo espinha de peixe) ou tubos (tipo feixe tubulares), o número de estágios de evaporação, sendo encontrado a bordo das embarcações, os destiladores de um ou dois estágios, apesar da existência dos destiladores de múltiplos estágios, os quais são empregados em navios passageiros, onde a demanda de água doce é maior.

Há diversos tipos de destiladores, mas basicamente todos usam o mesmo princípio de funcionamento e tem os mesmos elementos, variando, principalmente no tamanho, e conseqüentemente, na capacidade de produção.

O modelo apropriado dependerá do espaço disponível em uma praça de máquinas, da capacidade de fornecimento da fonte de calor para o sistema, do volume de água salgada para o condensador, da capacidade de água produzida e de acordo com suas necessidades. Há vários modelos, de diferentes fabricantes, com capacidade de produção que variam de 0.25 m³/h a 1.8 m³/h ou mais, para cada máquina de estágio único, que são os mais usados a bordo, devido ao espaço restrito na praça de máquinas. A maioria dos destiladores de bordo têm sua produção máxima aproximadamente de 1.0 m³/h.

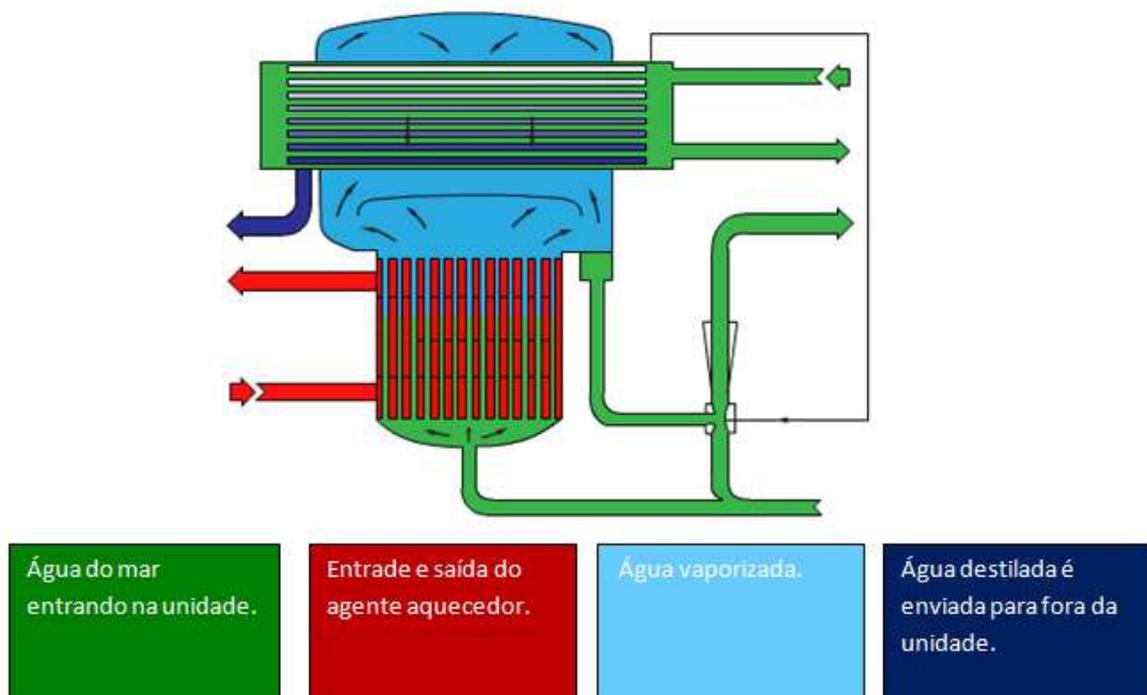


Figura 2 - Exemplo de destilador de um estágio.
Fonte: www.atlas-danmark.com

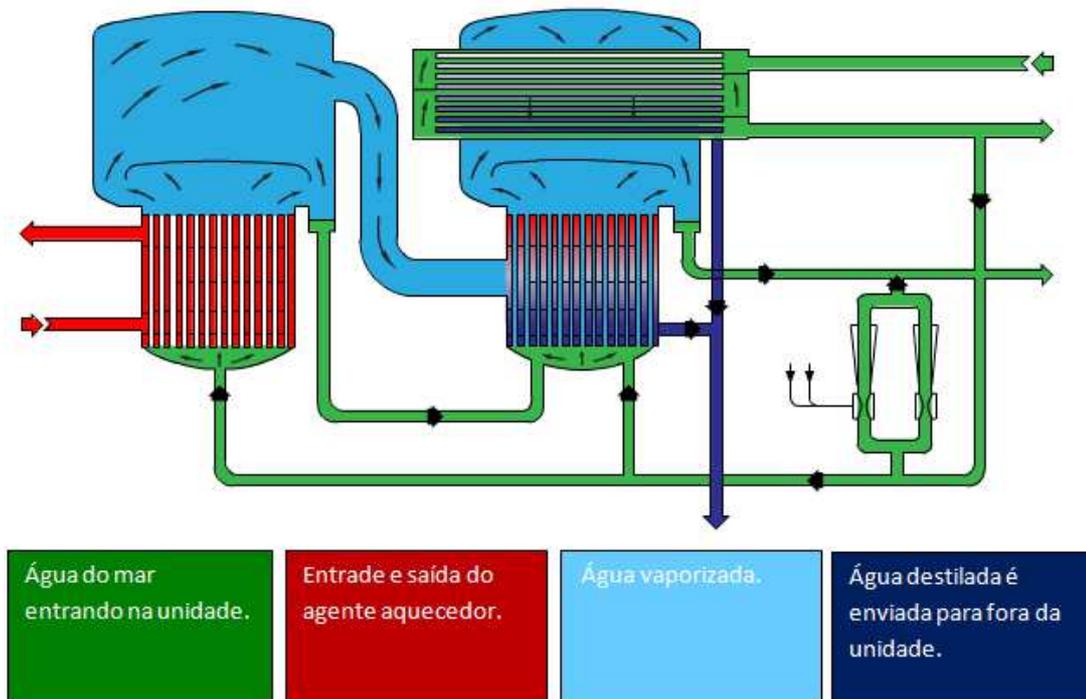


Figura 32 - Exemplo de destilador de dois estágios.
 Fonte: www.atlas-danmark.com

5. 2 OPERAÇÃO DO SISTEMA DESTILATÓRIO

O começo da operação do sistema destilatório não varia em função do tempo que ele estava sem funcionar, mas pela condição da água do mar, a qual deve ser limpa, ou seja, o uso do destilador deve ser somente em mar aberto.

Primeiro, fechar as válvulas de quebra-vácuo e drenos e, em seguida, abrir as válvulas de água salgada para o evaporador e o condensador. Estando todas as suas válvulas abertas, colocar a bomba ejetora em funcionamento e aguardar a produção de vácuo pelo ejetor do sistema, que deve ser o melhor possível, o que levará alguns minutos. Ao chegar na condição ideal de vácuo, abrir as válvulas de água doce do evaporador, onde poderá ser admitido vapor ou água quente, o que deve ser feito lentamente para permitir um equilíbrio total das temperaturas do equipamento. Após iniciar a produção de água doce e, desde que a mesma esteja com menor teor de cloreto possível, o que será indicado pelo salinômetro, fazer a manobra para o tanque de armazenamento e partir a bomba de extração de destilado. Em condições normais de operação, todo o processo de funcionamento de um sistema destilatório leva em torno de 30 minutos.

Para realizar a parada do equipamento, faz a manobra inversa desligando a bomba de extração de destilado. Em seguida, by-passa a troca de calor da água doce de circulação das camisas dos motores diesel ou água quente dos aquecedores ou ainda vapor dependendo da instalação com a água salgada do evaporador. Logo após, para a bomba ejetora e fecha suas válvulas de aspiração e descarga. Finalmente, abre a válvula de quebra-vácuo e os drenos.

5.3 Manutenção do Sistema Destilatório

Na década de 80, os destiladores eram feitos de aço carbono com revestimento interno em epóxi, para proteção contra corrosão. Tal revestimento, com o tempo de uso, apresentava fissuras que originavam pontos de ferrugem, que rapidamente se expandiam para áreas de corrosão maiores. Atualmente, ainda é necessário o revestimento, embora a qualidade do aço dos equipamentos tenha avançado muito, sendo usado, principalmente, aço inoxidável, seja na carcaça do destilador ou nas tubulações consignadas, fato que apesar de gerar maior custo de aquisição do equipamento, é totalmente vantajoso pelo aumento da vida útil e redução de custo com a manutenção. As placas dos evaporadores e condensadores são, em geral, feitas de titânio anti-corrosivas ou tubos de cobre-níquel.

Considerando os destiladores de placas, seu acesso é bastante fácil agilizando a limpeza e diminuindo o tempo para reparo, resultando em maior eficiência de produção. Neste ponto, os destiladores de feixes tubulares é ainda mais simples para limpeza.

Pelo uso da vaporização para produzir água doce, utiliza-se apenas ralos para impedir a passagem de partículas de tamanhos maiores na linha de aspiração da bomba injetora, aumentando a confiabilidade da operação do sistema destilatório.

6 SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

6.1 DESSALINIZADORES POR OSMOSE REVERSA

Em 1960, o sistema de dessalinização por osmose reversa passou a ser aplicado em processos industriais. Desde a década de 80, o emprego das membranas semipermeáveis sintéticas começou a se expandir, ampliando o campo de aplicações deste processo. Assim o processo de dessalinização por osmose reversa vem se difundindo, diminuindo seus custos devido ao crescente conhecimento tecnológico adquirido.

Para compreender a osmose reversa, é melhor começar entendendo a osmose normal. Usando-se uma membrana semipermeável no meio das soluções com concentrações diferentes de solutos, a água irá, normalmente, passar do lado com menor concentração para o lado com maior concentração, igualando as soluções.

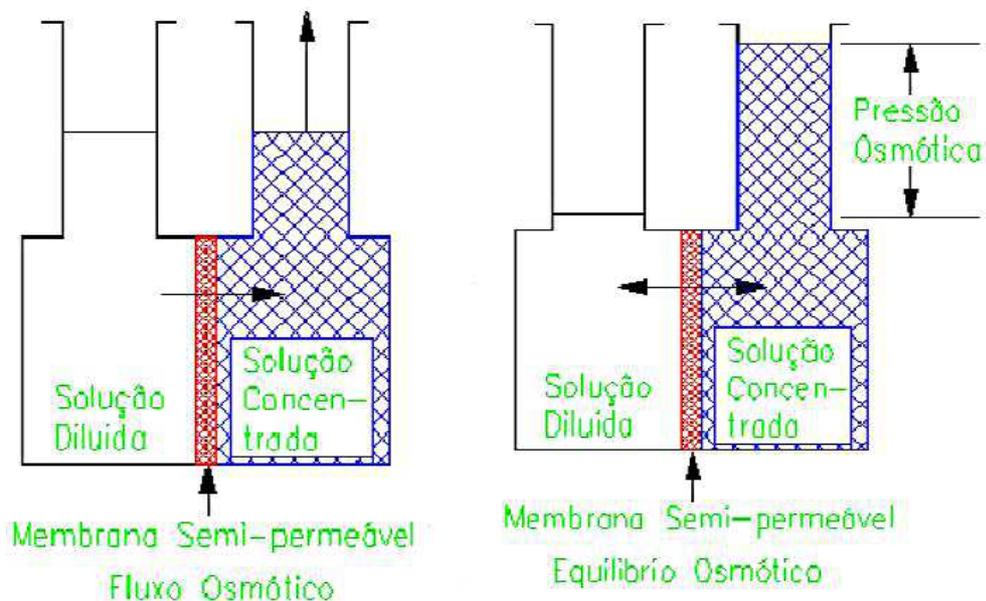


Figura 4 - Ilustração de processo de osmose natural

Fonte: www.lenntech.com

Na figura, podemos verificar um sistema de osmose direta, com dois compartimentos separados por uma membrana semipermeável, onde se encontra uma solução diluída em um dos compartimentos e água salina no outro. Observa-se,

então, um fluxo preferencial da solução diluída difundindo-se através da membrana, reduzindo a concentração salina da água, encontrada no outro compartimento.

A passagem da água pura, através da membrana semipermeável, provoca um aumento no volume da água salinizada, com a formação de uma coluna de água. Este efeito físico é decorrente da pressão exercida sobre a membrana, no lado da água salinizada, estando, então, os sistemas em equilíbrio. Esta pressão hidrostática de equilíbrio é denominada pressão osmótica da solução salina em questão.

A osmose reversa ocorre quando se aplica uma pressão maior do que a pressão osmótica característica da solução no lado da solução mais salina ou concentrada, revertendo-se à tendência natural. Neste caso, a água da solução salina passa através da membrana semipermeável, a qual comporta-se como uma peneira (ou filtro molecular), rejeitando, seletivamente, quase todas as moléculas diluídas e permitindo somente a passagem de água pura.

A osmose reversa tem a capacidade de separar a água de seus contaminantes, tais como sólidos dissolvidos, coloides, sólidos suspensos, bactérias, vírus e matéria orgânica.

Portanto, para dessalinizar ou purificar água através da membrana de osmose reversa, o efeito natural da osmose deve ser revertido. Com o objetivo de forçar o fluxo de água salgada através do fluxo de água doce, a água deve ser pressurizada a uma pressão de operação maior do que a pressão osmótica. Como resultado, o lado de água salgada ficará mais concentrado, formando salmoura, que será descartada.



Figura 5 - Sistema típico de Osmose Reversa horizontal.
Fonte: www.desware.net

6.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA

Para dessalinizar ou purificar a água pelo sistema de osmose reversa, faz a inversão do processo da osmose natural. Para a ocorrência deste fenômeno, é essencial que a água percorra diversos componentes de uma planta de dessalinização:

6.2.1 Filtro primário

Geralmente montado em tanque de plástico, com válvula para limpeza (manual ou automática) para retirada de partículas até 25 microns.

6.2.2 Pré-filtro

Esta etapa pode ser chamada de pré-filtragem, pois representa uma filtragem do sal presente na água do mar. Este pré-filtro é um cartucho descartável

com capacidade para retenção de partículas de 8 a 20 microns, podendo ser encontrado para partículas a partir de 1 microns, de fácil acesso para realizar troca.

6.2.3 Bomba de recalque ou auxiliar

É do tipo centrífuga, geralmente em aço inox, com finalidade de manter uma pressão positiva para a unidade acoplada ao motor elétrico resistente a salinidade.

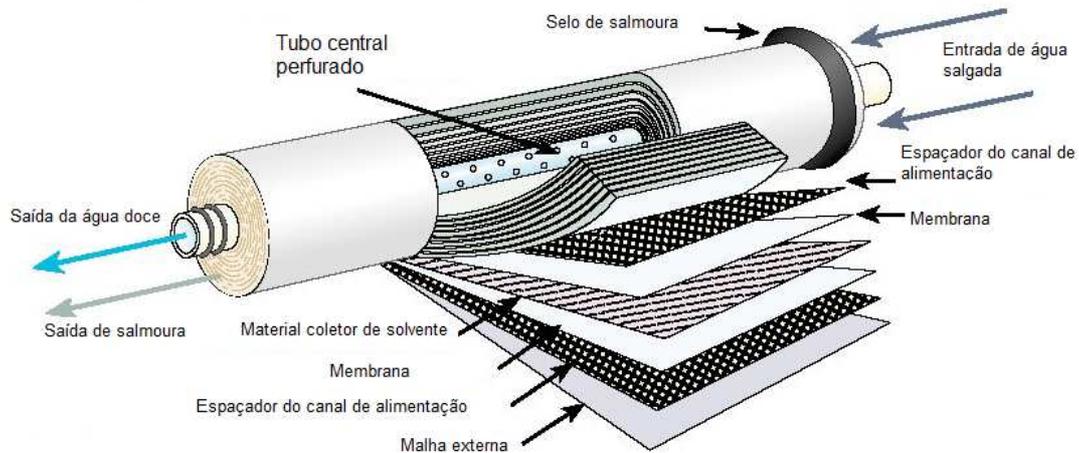
6.2.4 Bomba de alta pressão

É do tipo alternativa (pistão), 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. Trabalha na faixa de pressões entre 800 a 1180 psi (55 a 85 bar), dependendo da temperatura e da salinidade que a água se encontra.

6.2.5 Membranas de osmose reversa

Novelos em espiral montados em vaso pressão, de poliamida ou semelhante, em finos filmes, que é o mais importante elemento do sistema, o qual o torna possível, com retenção em aproximadamente de 99,6% de partículas, sendo confeccionada para longa vida útil, com fácil limpeza. São capazes de reter substâncias com até 0.1 nanometro (nm). As membranas são posicionadas 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 dos cilindros feitos para suportar, pelo menos, duas vezes a pressão máxima de operação, por segurança. Podem ter isolamento para cada cilindro facilitando o recolhimento de amostras. O número de elementos da membrana podem variar de 1 a 8 por vaso pressurizado.

O cilindro de membrana é constituído por um ou mais envelopes de membrana enrolados em torno de um tubo central perfurado. A 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 filtração pode ser de até 90% e pode ser feita limpeza química no local.

Figura 3 - Disposição interna dos elementos de um cilindro de osmose reversa.
Fonte: www.geofiltration.com

6.2.6 Dispositivos para limpeza de membranas

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

6.2.7 Painel de Controle

São normalmente encontrados com: salinômetro com indicação de salinidade e temperatura da água na saída dos cilindros, medidores de vazão do produto (hidrômetro), manômetros de baixa e alta pressão, chaves de partida e parada, válvula de três vias para extração do produto no porão quando o salinômetro acusar elevação do ppm, válvula reguladora de alta pressão, horímetro e luzes indicadoras da quantidade de água.

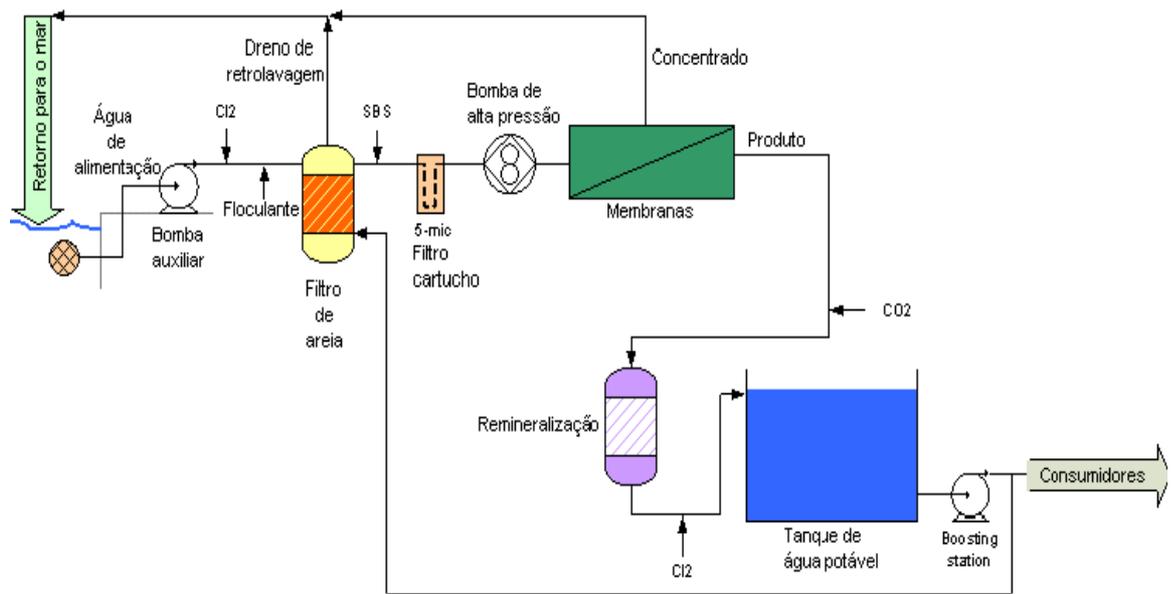


Figura 7 – Sistema de dessalinização por osmose reversa

Fonte: www.patentesonline.com.br

6.3 Operação do Sistema de Osmose Reversa

Para iniciar o funcionamento do equipamento é necessário, se este estiver parado por longo tempo ou após o desarme, lavar o sistema aproximadamente por 30 minutos para retirada de resíduos de produtos químicos que são utilizados para preservação das membranas. Só deverá ocorrer a passagem da água para os tanques de água doce quando os íons cloretos satisfizerem as condições requeridas pelo sistema. Primeiramente, enche-se o sistema com as válvulas de purga de ar abertas, através da bomba de alimentação de baixa pressão. Esta partida suave previne o sistema contra choques hidráulicos. Se for usado algum tratamento químico na água, este deverá ser realizado ao mesmo tempo, inspecionando para que não aconteça adição de produto em excesso. Logo após, aciona a bomba de alta pressão e o sistema vai operando lentamente até o fluxo de produção desejado pela válvula reguladora de alta pressão.

Na parada do sistema, é importante lavar o sistema com água doce para remover colóides (sistemas com moléculas grandes e partículas pequenas e bactérias das membranas) e bactérias num tempo de 15 minutos. Para intervalos

longos de inoperância do equipamento, utilizar produtos químicos para remoção de bactérias, principalmente nas membranas.

6.4 Manutenção do Sistema de Osmose Reversa

No sistema de dessalinização por osmose reversa, as redes de alimentação de água salgada até a bomba de recalque são construídas de material resistente a corrosão para evitar ao máximo a chegada de impurezas nas membranas filtrantes e, assim prolongar a vida útil do equipamento, ou pelo menos, evitar excessivo número de paradas do equipamento para realizar retrolavagem do sistema. Após esta bomba, as redes são feitas de PVC ou mangueiras até a aspiração da bomba de alta pressão e a partir da descarga desta até os cilindros das membranas, as redes são feitas de aço inoxidável.

Com relação às válvulas de admissão e descarga da bomba de alta pressão são pontos que podem necessitar de reparos consecutivos, pois em uso contínuo, podem aparecer fadiga nas molas de acionamento causando perda de rendimento ou até quebra das mesmas, o que pode resultar avarias maiores nas bomba. Para um bom funcionamento da bomba, é necessário seu acionamento por um motor de alta potência, para que seja alcançada a pressão necessária à filtragem e rotação específica conseguida por meio de polias de diâmetros distintos entre o motor e a bomba, reduzindo a rotação da bomba para exercer um papel melhor. O acoplamento entre a bomba e o motor elétrico, geralmente é feito por correia dentada para evitar que o sistema entre em ressonância devido as vibrações e evitar excesso de aquecimento se perder a aspiração devido alta pressão.

Os filtros de aspiração da bomba de recalque devem permanecer sempre limpos para evitar diminuição do fluxo de água salgada na aspiração da bomba de alta pressão causando desarme do sistema.

Os anéis de vedação dos cilindros das membranas, essenciais na separação entre a água produzida e a salmoura a ser extraída, devido à elevada pressão de trabalho, podem se deslocar ou até romper causando contaminação da água produzida e parada do sistema para a substituição dos mesmos.

Durante operação normal, por um período prolongado de tempo, membranas de osmose reversa são sujeitas à incrustação por material suspenso ou solúvel presente na água de alimentação. Exemplos comuns de incrustações são

carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, óxidos de metais, sílica, e depósitos orgânicos ou biológicos.

Monitorar o desempenho do dessalinizador em um padrão regular é um passo importante para reconhecer quando as membranas estão tornando-se incrustadas.

A eliminação de incrustações é efetuada pela limpeza e lavagem rápida e, preventivamente, pela mudança das condições de operação. 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.

7. COMPARAÇÃO ENTRE OSMOSE REVERSA E DESTILADORES

A energia requerida para a produção de um litro de água potável em relação ao custo da energia cria ou elimina a necessidade de um dessalinizador e auxilia a definir a escolha do melhor processo.

Osmose reversa tem melhor rendimento, se comparado com o sistema destilatório. Isto significa que, para mesma quantidade na saída, o volume na entrada de um equipamento de osmose reversa é um terço da água do mar necessária em um grupo destilatório. Isto proporciona decréscimo de consumo de energia e outros custos requeridos para o bombeio da água do mar para o sistema e o descarte da salmoura remanescente.

Sistemas de osmose reversa exigem considerável consumo de energia para pressurizar a água do mar nas membranas filtrantes, entretanto, o sistema destilatório necessita de muita energia para o aquecimento da água que será vaporizada.

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. Mas, em geral, o

sistema destilatório requer algo em torno de 17 kWh/m³ de água (para aquecimento e bombeio), contra 5 Kwh/m³ no sistema de osmose reversa.

Atualmente, o sistema destilatório só será viável onde houver disponibilidade de calor em sistemas paralelos.

Quanto à qualidade da água produzida o sistema destilatório produz água com menos de 100 mg/l de sal dissolvido, contra 400 mg/l no sistema de osmose reversa. E este necessita de vários conjuntos de membranas para obtenção de água com melhor qualidade. Nos sistemas de osmose reversa, a água produzida depende da qualidade da água do mar de alimentação. Como o sistema destilatório usa a vaporização, o desempenho não depende da qualidade da alimentação.

Um ponto negativo do sistema de osmose reversa é a necessidade de pré-tratamento da água para o processo. São necessários dispositivos e uso de produtos químicos para remover organismos biológicos, sólidos em suspensão e outras impurezas. Também o PH e outras variáveis químicas da água de alimentação devem ser controlados, algo que o sistema destilatório, usando vaporização, não requer.

Sistemas destilatórios são consideravelmente maiores do que sistemas de osmose reversa. Conseqüentemente os custos de construção e de espaço requeridos são maiores, desde que o sistema de produção de calor, redes específicas para condução deste calor, caldeiras e condensadores, sejam necessários. Como, a bordo das embarcações mercantes, há disponibilidade de fonte de calor, seja a água proveniente do resfriamento dos cilindros dos motores principais ou vapor (em navios de maior porte), os custos de instalação são equivalentes, cabendo, então, a decisão de escolha do melhor sistema, ser baseada na manutenção requerida em cada sistema e o custo de energia necessária para o funcionamento de um deles.

Sob o aspecto da energia requerida, como já visto, será maior no grupo destilatório, se comparado ao sistema de osmose reversa, se em sistemas instalados fora de embarcações. A bordo, o custo energético do sistema destilatório será consideravelmente reduzido, por usar o calor de outras fontes já existentes.

O espaço necessário para o sistema destilatório também não será um item fundamental de decisão já que modernos destiladores, de dimensões reduzidas, ocupam o mesmo espaço de um sistema de osmose reversa, embora não tenha a mesma eficiência de produção deste, como, também já foi visto.

A escolha acontecerá, principalmente, baseada nos aspectos de manutenção e da existência ou não de um equipamento dessalinizador originalmente instalado na construção da embarcação, quando terá sido feita toda a interligação apropriada do sistema de dessalinização, qualquer que seja ele, com os sistemas principais, dos quais ele dependerá.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo a comparação dos dois principais tipos de dessalinizadores usados a bordo de embarcações mercantes, e o questionamento sobre as vantagens, ou não, em vários aspectos, do sistema de osmose reversa, de uso relativamente novo a bordo.

Como visto, em face da grande necessidade de água doce a bordo, e considerando-se que a tripulação de máquinas é encarregada de volume cada vez maior de atividades, ao mesmo tempo em que é em número reduzido ao mínimo para a execução de tais atividades, chega-se à conclusão que ainda é vantajosa a utilização de grupos destilatórios tradicionais, até porque houve melhorias e aperfeiçoamentos do sistema, as quais os tornaram mais eficientes e com maior vida útil. Ressalte-se que a tecnologia dos sistemas de osmose reversa também não para de evoluir, e que, provavelmente, este ainda alcançará o nível dos destiladores, em todos os aspectos.

Mas, atualmente, de todas as vantagens relativas dos grupos destilatórios, a principal é, com certeza, a confiabilidade do equipamento, requerendo manutenção mínima e, quando necessária, mais simples e de rápida execução, não sobrecarregando a tripulação e cumprindo, de forma totalmente satisfatória, a sua função.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFGU Double Effect, Working Principle. Disponível em: <http://www.atlas-danmark.com>. Acesso em: 12 jul.. 2013.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS, Águas subterrâneas: o ciclo hidrológico. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/projetos-e-atividades/subterraneas>. Acesso em: 20 jul. 2013.

DESWARE, Desalination AND Water Resources: membrane processes. Disponível em: <http://www.desware.net/>. Acesso em: 05 ago. 2013.

GEA, FILTRATION: cross-flow membrane filtration systems and replacement membranes. Disponível em: <http://www.geafiltration.com/index.asp>. Acesso em: 05 jul. 2013.

MESSIAS, Arminda Saconi; COSTA, Marcos Roberto Nunes (Org.). Água subterrânea e dessalinização. RECIFE: UNICAP, 2006. 200 p. (Série Encontro das Águas, n. 2). ISBN 85-7084-083-7.

OLIVEIRA, Tatiana. R. P. CARVALHO, Antônio. Osmose Reversa. Disponível em: <http://www.kurita.com.br/>. Acesso em: 05 jul. 2013.

RAMALHO, Renata. Dessalinização da água. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br/>. Acesso em: 18 ago 2013.

RIOS, Jorge. Meio Ambiente: dessalinização da água. Disponível em: <http://ecoviagem.uol.com.br/fique-por-dentro/artigos/meio-ambiente/dessalinizacao-da-agua-682.asp>. Acesso em: 20 ago. 2013.

TITANIUM PLATE TYPE FRESH WATER GENERATOR, Desalt JWP-26-C Series. Disponível em: <http://www.alfalaval.com/>. Acesso em: 28 ago. 2013.

UOL EDUCAÇÃO, Água potável: apenas 3% das águas são doces. Disponível em <http://educacao.uol.com.br/geografia/agua-potavel-apenas-3-das-aguas-sao-doces>. Acesso em: 20 ago. 2013.

WATER TREATMENT AND PURIFICATION, Desalination: reverse osmosis modules. Disponível em: <http://www.lenntech.com/>. Acesso em: 05 ago. 2013.