

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALÉXIA ZANI LODI COSME

BRUNO SCHIAVON MIOSSI

DUANNY GONÇALVES ALVAREZ

EUGÊNIO CÁO FAVARATO

**ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO
POR OSMOSE REVERSA EM UMA PLATAFORMA DO TIPO FPSO**

ARACRUZ

2020

ALÉXIA ZANI LODI COSME

BRUNO SCHIAVON MIOSSI

DUANNY GONÇALVES ALVAREZ

EUGÊNIO CÁO FAVARATO

**ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO
POR OSMOSE REVERSA EM UMA PLATAFORMA DO TIPO FPSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Vital Pereira Batista

ARACRUZ

2020

Dedicamos este trabalho a todos que nos ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por tudo.

Aos nossos pais, familiares e amigos por todo conselho, incentivo e força a fim de garantir que chegássemos até aqui.

Ao corpo docente das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ) pelas oportunidades de aprendizado e auxílio até a conclusão.

Aos colegas engenheiros do Estaleiro Jurong Aracruz por sempre se mostrarem dispostos a apoiar no desenvolvimento deste trabalho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”
(Albert Einstein)

RESUMO

Em muitos lugares do planeta, a crise hídrica é uma realidade e tem se agravado com o passar dos anos devido ao aumento populacional e das atividades agrícolas, industriais etc. Nessa mesma proporção, mais energia é demandada para atender a essa expansão. Sabe-se que a maior parte da geração mundial de energia é proveniente do petróleo e no Brasil, há cada vez mais plataformas de exploração, devido à grande reserva descoberta no pré-sal. As plataformas do tipo FPSO além de possuírem um sistema de dessalinização por destilação, cuja água é destinada para consumo da tripulação e aplicação em plantas de processo, também precisam ser abastecidas externamente. Pensando em uma solução sustentável e sem necessidade de abastecimento externo, avaliou-se a possibilidade de troca do sistema atual de potabilização da água de uma FPSO por um de osmose reversa, apresentando as vantagens e desvantagens desse sistema, bem como os custos envolvidos nessa modificação.

Palavras-chave: Dessalinização. Osmose reversa. Destilação. Plataforma. FPSO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos de dessalinização.	16
Figura 2: Processo de dessalinização por destilação térmica (multiestágios)..	17
Figura 3: Processo de dessalinização por osmose reversa.	18
Figura 4: Fenômeno de osmose reversa.....	19
Figura 5: Desenho esquemático da purificação na osmose reversa.	20
Figura 6: Módulos de osmose reversa.	20
Figura 7: Esquema membrana semipermeável.....	21
Figura 8: Módulo de membrana espiral.....	22
Figura 9: Tipos de plataformas.....	23
Figura 10: Detalhe de algumas facilidades de um FPSO.....	24
Figura 11: Sequência de procedimentos utilizados na metodologia.....	26
Figura 12: Input de dados no software Fluid Flow.....	34
Figura 13: Retorno dos dados com obtenção do valor da velocidade e da rugosidade.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de salinidade da água.	14
Tabela 2: Distribuição de íons dissolvidos na água do mar (base de 1 litro de água).	15
Tabela 3: Perda de carga localizada (k)	36
Tabela 4: Lista de material e orçamento do sistema por destilação (atual).....	37
Tabela 5: Lista de material e orçamento do sistema por osmose reversa (proposto)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Área da seção transversal

D – Diâmetro interno da tubulação

f - Fator de atrito

FPSO - Unidade flutuante de produção, armazenamento e transferência
(*Floating Production Storage and Offloading*)

g - Aceleração da gravidade

h - Hora

H_i - Perda de carga

kg - Quilograma

L - Comprimento

LQ - Acomodações (*Living Quarter*)

m - Metro

m^3 - Metro cúbico

N - Newton

P - Pressão

Pa - Pascal

pc - Peça

pol - Polegadas

Q - Vazão

Re - Número de Reynolds

s - Segundos

Sch - Schedule

SI - Sistema Internacional de Unidades

V - Velocidade

z - Desnível

μ - Viscosidade dinâmica

ρ - Massa específica

e - Rugosidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 objetivo geral	13
2.2 objetivos específicos.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA.....	14
3.2 PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO	16
3.2.1 Destilação Térmica.....	17
3.2.2 Osmose Reversa.....	17
3.3 SISTEMA DE OSMOSE REVERSA	18
3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO.....	22
3.5 PLATAFORMAS	23
3.6 PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO USADO EM PLATAFORMAS	25
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS (SISTEMA ATUAL)	26
4.2 PROJEÇÃO DO NOVO SISTEMA	27
5 RESULTADOS	32
5.1 IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA UTILIZADO NA PLATAFORMA	32
5.2 MEDIÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO.....	32
5.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA NOVO.....	33
5.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	37
6 CONCLUSÃO.....	44
6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXO A: FOLHA DE DADOS LENNTECH.....	50
ANEXO B: TABELA DE PERDAS DE CARGA (JANNA, 2017)	54

1 INTRODUÇÃO

Grande parte da geração mundial de energia é proveniente do petróleo. Com o passar dos anos, reservas submarinas foram sendo descobertas e a tecnologia precisou acompanhar esse progresso. Em mar, plataformas do tipo FPSO são altamente utilizadas devido sua capacidade de armazenamento de produção. Alguns sistemas são fundamentais para que essas plataformas operem e, dentre eles, pode-se citar o sistema de água potável, utilizado, principalmente, para consumo da tripulação (FREITAS, 2011).

A água é um elemento vital para a sobrevivência de todos os organismos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias. Entretanto, a medida que a população mundial cresce, mais a qualidade da água é ameaçada, devido atividades agrícolas e industriais que se expandem e, também, graças as mudanças climáticas que ameaçam alterar o ciclo hidrológico global (ONU, 2019).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2016) a água ocupa aproximadamente 70% da superfície do planeta. Todavia, 97% é salgada e somente 3% é doce. Dentro da parcela de água doce, 29,7% encontram-se em águas subterrâneas, 0,9% compõem a umidade do solo e dos pântanos, 68,9% nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas e apenas 0,5% compõem a porção de água doce presente em rios e lagos.

Uma análise conduzida pela UNESCO (2015), prevê que o planeta, em 2030, irá enfrentar um déficit de 40% no abastecimento de água, a menos que haja melhora no gerenciamento do abastecimento. Entretanto, tecnologias vêm sendo desenvolvidas para que a humanidade consiga adiar ou vencer a crise da água que já é real em determinadas regiões e uma dessas soluções é a dessalinização da água, cujo objetivo é transformar água salgada em potável.

No Brasil, a Petrobrás realizou alguns experimentos com destilação solar em 1970. Já em 1987, iniciou o seu programa de dessalinização de água do mar para atender às plataformas marítimas (CELLI, 2017).

É importante que as embarcações mantenham operacionais e eficientes seus dessalinizadores devido ao consumo elevado em sistemas de máquinas e consumo básico da tripulação, reduzindo o desperdício de água potável a bordo (BONNELYE, SANZ, 2004). Atualmente, muitas embarcações têm substituído os destiladores pelos dessalinizadores, causando redução no abastecimento externo, melhora na qualidade da água e minimização do custo (RIBEIRO, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a possibilidade de troca de um sistema de dessalinização por destilação por um que utiliza o processo de osmose reversa, para consumo da tripulação nas acomodações (LQ) em uma plataforma de produção de óleo e gás do tipo FPSO.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Comparar o princípio de funcionamento entre o processo de osmose reversa e o processo por destilação;
- Estimar os custos envolvidos, analisando a viabilidade da substituição de um sistema por destilação por um de osmose reversa em uma plataforma do tipo FPSO;
- Mostrar as vantagens e desvantagens envolvidas em um sistema que utiliza osmose reversa como método de dessalinização.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

A dessalinização é o processo mais indicado quando se fala em remoção de sais dissolvidos na água (SAMPAIO, 2016). Uma publicação da revista Canal (2018), define que a dessalinização é o ato de transformar a água do mar em água para consumo humano. Essa tecnologia envolve processos físico-químicos que retiram o excesso de sais, impurezas e partículas sólidas da água do mar, a fim de tornar a água potável.

Em 2019 haviam 15,9 mil plantas de dessalinização em operação no planeta, com capacidade para purificar cerca de 95 milhões de m³ de água por dia, conforme matéria publicada pela revista Pesquisa FAPESP (2019).

A escolha do processo de dessalinização é influenciada pela qualidade da fonte de água, pela demanda de energia do sistema, custo, frequência de utilização da unidade, volume de água a ser produzido, entre outros fatores (TORRI, 2015).

A água do mar possui uma salinidade que varia entre 30 – 50 ppm, enquanto a salinidade da água doce é inferior a 0,5 ppm. Visto que quanto mais concentrada for a solução salina, maior será a energia e o esforço necessário para a dessalinização da água (SAMPAIO, 2016). Na Tabela 1 pode-se verificar os vários graus de salinidade da água.

Tabela 1: Limites de salinidade da água.

ÁGUA DOCE	ÁGUA SALOBRA	ÁGUA SALINAS
<0,05%	0,05% – 3%	3%>

Fonte: Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986.

Para uma composição de 34,4g sal por litro de água do mar, tem-se mais de 99% dessa massa com a distribuição de íons dissolvidos (SIGNORELLI ,2015) conforme Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição de íons dissolvidos na água do mar (base de 1 litro de água).

ION	Massa (g)	Massa molar (g/mol)	Mols
Cl-	18,980	35,500	0,535
Na+	10,566	23,000	0,459
SO ₄ ²⁻	2,649	96,000	0,028
Mg ²⁺	1,272	24,000	0,053
HCO ₃ ⁻	0,140	61,000	0,002
Ca ²⁺	0,400	40,000	0,010
K+	0,380	39,000	0,010
Total	34,387		1,097

Fonte: Signorelli, 2015.

A NASA divulgou, em 2011, um mapa que apresenta o índice de salinidade na superfície dos oceanos. Nesse mapa, é possível identificar que a área onde o Brasil se situa apresenta uma salinidade aproximada de 37 g/L.

Dessa forma, levando em consideração os dados da NASA e das tabelas, sabendo que a quantidade de mols para 34,387g de solução é 1,097 mols, para uma salinidade de 37 g/L, têm-se 1,180 mols/L de partículas. Com isso, é possível perceber que a salinidade da água não tem alteração significativa com a variação da profundidade, sendo assim possível concluir que a água captada no fundo do mar pelas plataformas possui um nível de salinidade conhecida, podendo prever a qualidade esperada da água após o processo de dessalinização.

3.2 PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

Atualmente, existem basicamente duas tecnologias distintas em processos de dessalinização, conforme Figura 1. Dentre os processos apresentados, os mais comuns são os térmicos, que usam princípios de destilação e os de membranas, que envolvem sistemas de osmose reversa e eletrodialise.

Figura 1: Processos de dessalinização.



Fonte: Celli, 2017.

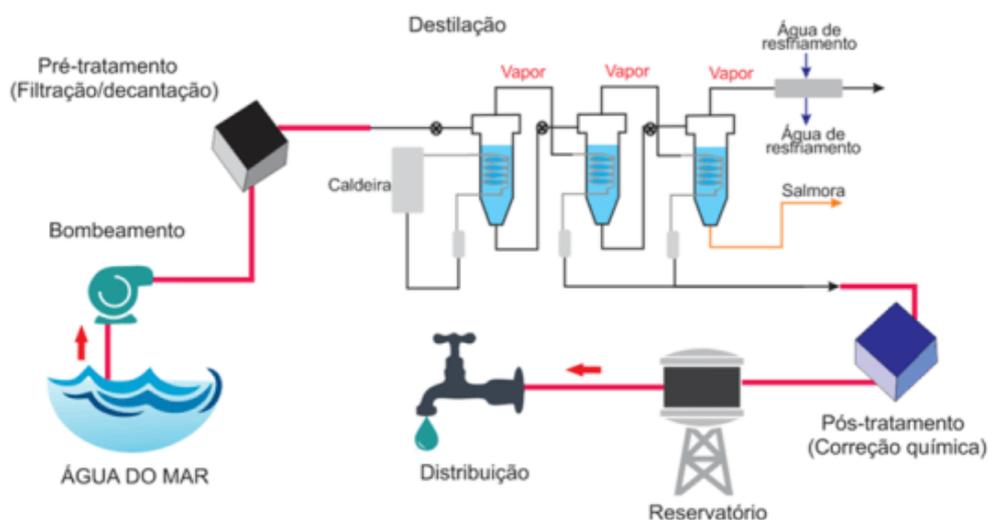
Assim como no ramo geral, em plataformas offshore os processos de dessalinização mais utilizados são os de destilação e de osmose reversa. Ribeiro (2014) diz que: “no processo de destilação, a água salgada é evaporada artificialmente e depois condensada. Esse processo separa a água e o sal, pois este não é carregado no processo de evaporação. Isto ocorre naturalmente na natureza, pois sempre que a água do mar evapora, os sais permanecem e a água da chuva não se torna salgada. Já no processo de osmose reversa, quando há pressão sobre a solução, a água e o sal são separados através de uma membrana semipermeável”.

Nas Figuras 2 e 3 há uma representação do sistema de dessalinização por destilação e por osmose reversa, respectivamente. Esses esquemas não são de sistemas offshore, mas o princípio de funcionamento e os equipamentos necessários em plataformas se assemelham a estes.

3.2.1 Destilação Térmica

A destilação pode ser caracterizada como um processo de separação, onde a parte líquida se divide dos sólidos dissolvidos em seus componentes (FREITAS, 2011).

Figura 2: Processo de dessalinização por destilação térmica (multiestágios).



Fonte: Barbosa, 2019.

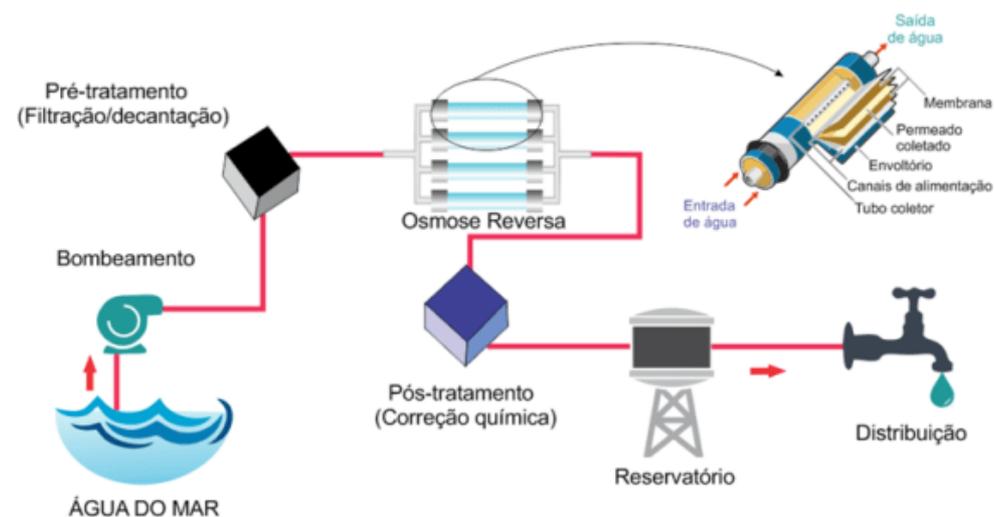
No processo de destilação térmica, uma unidade de bombeamento retira água do mar e envia para uma unidade de pré-tratamento (geralmente onde ocorre a filtração). Logo após, essa água passa por uma série de destiladores, onde uma caldeira a alta temperatura fornece calor para que a água do mar entre em ebulição. O vapor acumulado na parte superior vai se condensando, transformando-se novamente em água sem a presença dos sais anteriormente existentes, passando novamente por vários estágios de destilação. A salmoura resultante do processo é removida do processo e a água destilada é enviada para outra estação de tratamento. Finalmente, ela é armazenada em um tanque onde é, posteriormente, direcionada para o consumo.

3.2.2 Osmose Reversa

O primeiro estágio do sistema que utiliza osmose reversa se assemelha ao de destilação, porém, após passar pelo pré-tratamento, a água é enviada às

membranas a alta pressão (para que a pressão osmótica seja vencida) e as unidades semipermeáveis com poros ultrafinos permitem a retenção de sais e impurezas, resultando na saída de uma água pura. Logo após, a água passa por um sistema de pós tratamento e é armazenada para consumo.

Figura 3: Processo de dessalinização por osmose reversa.



Fonte: Barbosa, 2019.

Devido à crescente preocupação ambiental, ao aumento de preços da energia elétrica e ao desenvolvimento da tecnologia de membranas, está havendo uma mudança no uso de destiladores térmicos para o uso dos sistemas por membranas (OLIVEIRA, 2012).

Dentre os dois processos, a tecnologia de osmose reversa é a mais recomendada, pois permite a obtenção de água desmineralizada ultrapura que serve para utilização em vários sistemas nas plataformas, bem como necessita de menos energia para funcionamento (FREITAS, 2011).

3.3 SISTEMA DE OSMOSE REVERSA

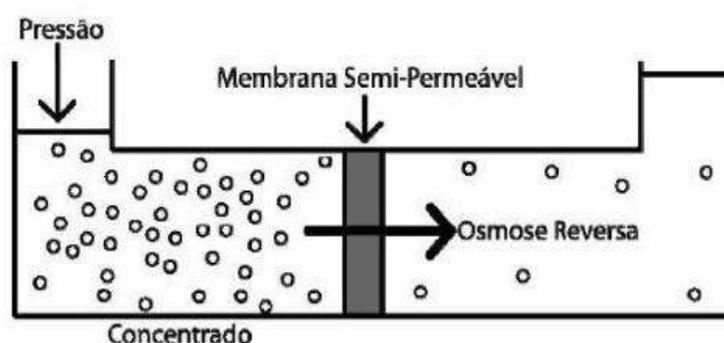
A osmose reversa foi desenvolvida a partir da descoberta, há mais de 200 anos, de um material natural, como a parede celular de vegetais, que apresentava

permeabilidade à água, porém não permitia passagem de materiais nela dissolvidos (FERRARO, 2008).

Ribeiro (2014) enfatiza que: “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 propagando, diminuindo seus custos devido ao crescente conhecimento tecnológico adquirido. Esse sistema tem a capacidade de separar a água de seus contaminantes, como sólidos dissolvidos ou suspensos, colóides bacterias, vírus e matéria orgânica”.

Ferraro (2008) explana o fenômeno de osmose, onde: “a pressão osmótica faz com que a água tenha a tendência de fluir por osmose, havendo a passagem de solvente por uma membrana semipermeável do meio mais diluído para o menos diluído. Na osmose reversa, o fluxo de água no sistema é invertido. O solvente move-se da solução hipertônica, neste caso água do mar, para a solução hipotônica, água comum. A água salobra é pressurizada além da pressão osmótica natural e bombeada através da membrana semipermeável”. A representação do sistema pode ser vista nas Figuras 4 e 5.

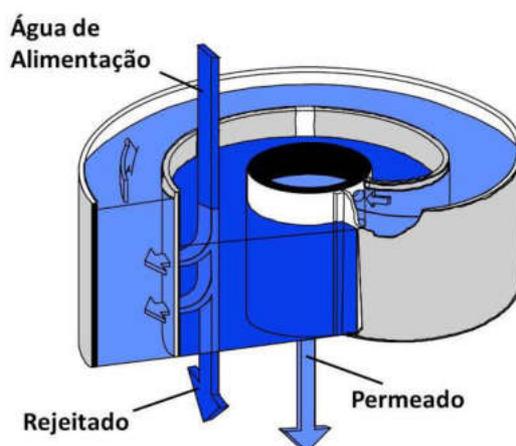
Figura 4: Fenômeno de osmose reversa.



Fonte: Freitas, 2011.

A membrana comporta-se como uma peneira, ou seja, os diâmetros dos poros da membrana permitem a passagem de partículas muito pequenas, neste caso partículas de solvente.

Figura 5: Desenho esquemático da purificação na osmose reversa.



Fonte: Fontes, 2018.

Com relação aos tipos de módulos de osmose reversa existem disponíveis quatro configurações: a tubular, fibra oca, placa plana e módulo enrolado em espiral (IWAKI,2016), conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Módulos de osmose reversa.



Tubular



Fibra Oca – Hollow Fiber



Placa Plana – Flat Sheet/Plate

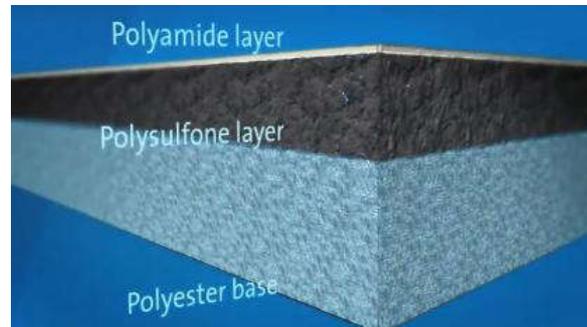


Espiral

Fonte: Iwaki, 2016.

Dentre os módulos citados acima, o do tipo espiral é o mais utilizado. Esse tipo é composto por uma membrana semipermeável composta de três camadas, ilustradas na Figura 7.

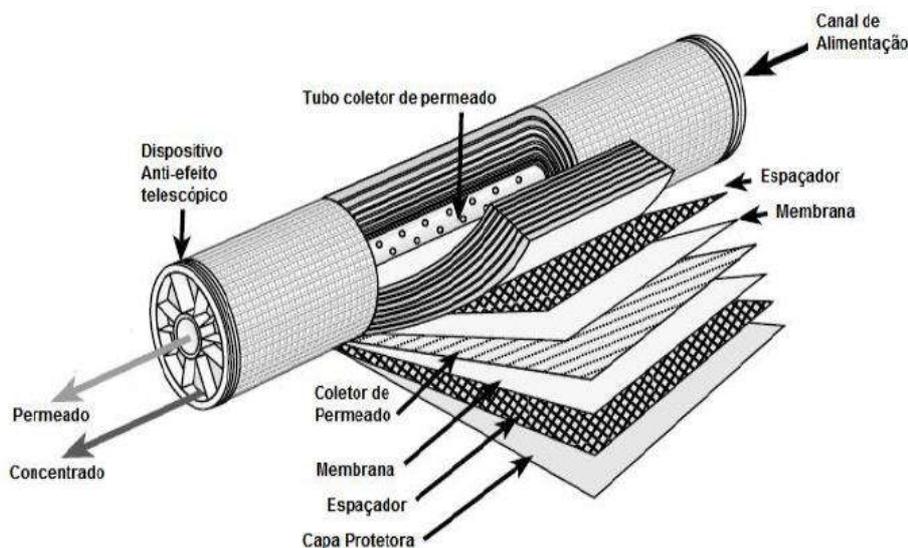
Figura 7: Esquema membrana semipermeável.



Fonte: Almeida, 2017.

Oristano, Peig e Lopes (2006), explicam que a primeira camada é feita de poliéster, que garante a resistência mecânica do conjunto. A segunda é uma camada de polisulfona que atua como membrana de filtração e também atua como suporte para a terceira camada. A última é constituída por uma película muito fina de poliamida e é a barreira de rejeição dos sais. Para se chegar no aspecto de módulo em espiral, há união de duas folhas de membrana, sendo inserida uma tela em seu interior, colando-se as bordas. Então, todo o conjunto é enrolado em forma de tubo e externamente revestido por uma capa protetora, conforme configuração da Figura 8. Uma das telas forma o canal de coleta de permeado e a outra o canal de alimentação.

Figura 8: Módulo de membrana espiral.



Fonte: Oliveira, 2012.

Esse arranjo é vantajoso, pois permite que uma grande quantidade de água seja dessalinizada, devido à alta área das membranas, em um volume espacial pequeno.

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

Dentre as vantagens em se usar o processo de dessalinização está o baixo consumo energético, qualidade da água produzida, custo de manutenção relativamente baixo e sistema automatizado havendo a necessidade de poucos operadores.

Quanto às desvantagens, Bordignon (2016) menciona o problema com a eliminação dos resíduos provenientes do pré-tratamento e de produtos químicos adicionados para limpeza da água e o descarte da salmoura (produto secundário da dessalinização com alto teor de sal) que, ao ser bombeada ao oceano, pode causar alteração no habitat dos animais marinhos. A localização das usinas, que podem estar em áreas ecologicamente frágeis e a própria ingestão da água, a qual pode conter partículas não filtradas de águas marinhas, também foram

aspectos controversos ao processo de dessalinização citados em uma publicação da revista Planeta em 2010.

3.5 PLATAFORMAS

As plataformas de petróleo são utilizadas como suporte na perfuração e/ou produção de petróleo e gás natural. É o EVTE (Estudo de Viabilidade Técnico Econômica) que dita qual a melhor plataforma para ser usada no tipo de exploração (AMORIM, 2010).

Conforme mesma autora, há basicamente dois tipos de plataformas: fixas e flutuantes. As plataformas fixas são unidades fixadas no solo marinho. São utilizadas em lâmina d'água pequena, em torno de 300 metros. Dentre ela, têm-se os tipos: autoelevável e fixa (jaqueta, gravidade e torre). Já as plataformas flutuantes, que são estruturas instaladas através de processos de ancoragem, vieram com a descoberta de petróleo em lamina d'água superior a 1000 metros. Como exemplo, podem ser citadas FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading), navio sonda, semissubmersíveis e TLWP (*tension leg platform*). Esses exemplos podem ser vistos na Figura 9.

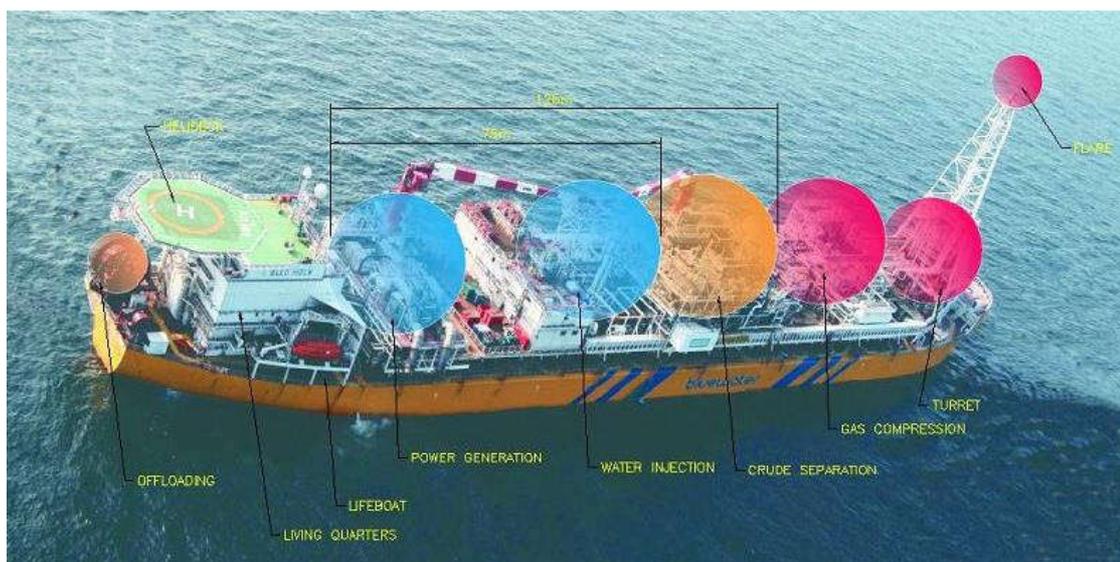
Figura 9: Tipos de plataformas.



Fonte: Petrobrás, 2014a.

Uma FPSO é uma plataforma que possui um formato similar ao de um navio tanque. Em seu convés principal ficam os módulos de processamento, mostrado na Figura 10, que podem ser divididos em planta de utilidades, módulos de compressão e geração, sistema de queima (*flare*), além de acomodações para a tripulação e sistema de amarração (FREITAS, 2011).

Figura 10: Detalhe de algumas facilidades de um FPSO.



Fonte: Blue Water, 2020.

Dentre as plataformas citadas, a FPSO possui um diferencial. Além de ter uma alta capacidade de estocar óleo, ela também pode navegar grandes distâncias, conforme citado na Revista de Economia Contemporânea do Rio de Janeiro em 2008.

Outras vantagens em se utilizar FPSO foram listadas em uma publicação da *Global Oil and Gas Intelligence* (2018), onde o Muspratt enfatiza que há economia de tempo e custo ao usá-la, pois esse tipo de plataforma possui um sistema de amarração mais flexível e pode se mover para outro local quando o poço está esgotado ou quando houver uma condição severa no tempo e, devido a isso também, se observa a não necessidade de instalações permanentes, como tubulações submersas, por exemplo.

3.6 PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO USADO EM PLATAFORMAS

Em geral, a água oriunda dos processos de dessalinização é utilizada para alimentação de caldeiras e turbinas, para reinjeção nos poços, no uso em acomodações e também para consumo humano (FREITAS, 2011).

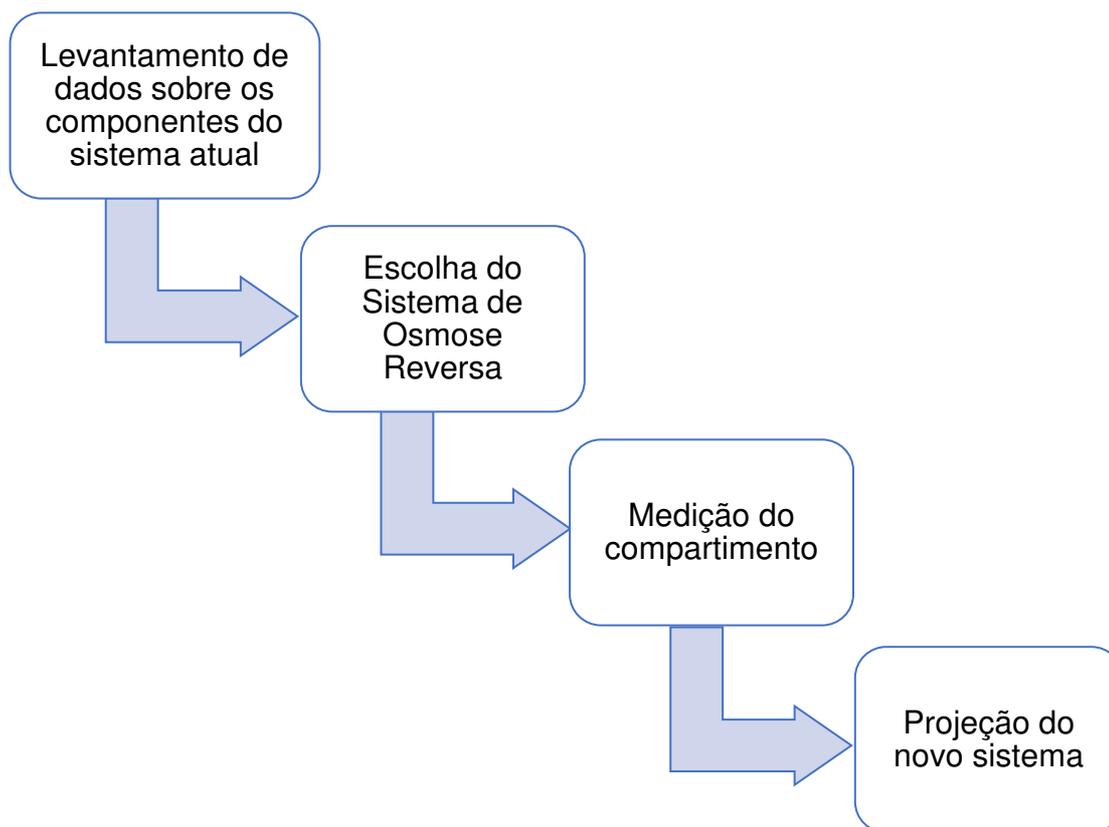
Bonnelye e Sanz (2004) explicam que a água do mar é admitida no navio pela caixa de mar e através das redes e válvulas chega aos primeiros filtros de proteção. Em seguida, uma bomba retira a água desses filtros e descarrega o fluido nas membranas do dessalinizador. A água passa por uma série de membranas e sai dessalinizada. A água doce gerada desse processo, após ser avaliada, poderá ser encaminhada aos tanques de armazenamento de água do navio.

O fornecimento de água potável para plataformas é difícil devido à alta demanda de energia e custo. Por isso, há estudos recentes que mostram alternativas de produção ou reutilização de água a bordo, com o intuito de diminuir os impactos gerados pelo abastecimento externo. Em uma análise publicada na revista *Ambiente & Água* em outubro de 2017, os autores concluem que apesar do processo de dessalinização da água consumir entre 11 e 13.9 GWh a mais de energia do que água reutilizada, ele consome 97 GWh a menos do que quando são utilizadas plataformas de fornecimento de água.

4 METODOLOGIA

Encontra-se na Figura 11 a sequência dos procedimentos usados para atingir o objetivo e analisar a viabilidade de implementar um sistema de dessalinização por osmose reversa em uma plataforma do tipo FPSO.

Figura 11: Sequência de procedimentos utilizados na metodologia.



Fonte: Autores.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS (SISTEMA ATUAL)

Utilizando um arranjo geral de uma plataforma e as plantas de processo, levantou-se dados sobre a localização das linhas do sistema atual, identificando quais seriam os itens envolvidos na substituição pelo novo sistema. Ao todo, foram 9 linhas identificadas e descartadas com diâmetro variando entre 1.5" e 2" e quatro equipamentos relacionados com a dessalinização.

As informações detalhadas sobre as tubulações e seus acessórios, bem como os dados dos equipamentos foram estimados. Após isso, montou-se uma tabela com esses dados. Nela, também se incluiu o custo de todos os elementos envolvidos.

O cálculo do consumo de água pode ser encontrado no memorial do projeto da plataforma de cada compartimento que utiliza água potável, podendo haver variações de uma plataforma para outra. Sendo assim, a vazão de água necessária (em m³/dia) para alimentação das acomodações (LQ) também foi estimada baseando-se em uma plataforma com grande consumo de água.

4.2 PROJEÇÃO DO NOVO SISTEMA

Para que os resultados da nova proposta fossem mais próximos da realidade da plataforma, optou-se por procurar fornecedores de sistema de osmose reversa que entregassem o *skid* completo, isso é, que contivesse todos os elementos necessários conectados e prontos para o funcionamento. Nele, é preciso conter equipamentos de tratamento prévio (filtros, linhas de injeção de produtos químicos para remoção de impurezas), sistema de controle automático (painéis, cabos, conectores), linhas de limpeza e tratamento e o conjunto que envolve as membranas (bomba de injeção de água, motor elétrico, membranas de osmose reversa, sistema de recuperação de energia, tubos e acessórios para conectar o sistema, tanque de armazenamento etc).

Ao procurar um conjunto que atendesse a vazão necessária das acomodações (LQ), encontrou-se três empresas com sistemas que poderiam ser instalados na plataforma. Essas três empresas foram: URO Techno System, Lenntech e Liquatech Tecnologia.

Informações técnicas sobre a pressão da bomba, qualidade da água, número de membranas de osmose reversa, tamanho e layout do sistema e consumo de energia podem ser encontradas nas folhas de dados. Dos fornecedores mencionados acima, a Lenntech e URO Techno System apresentaram esse documento, o que permitiu ter uma ideia geral sobre o sistema. A folha de dados

da Lenntech, encontrada no Anexo A, é mais acessível, pois utiliza o sistema internacional de unidades em suas informações.

Após obter os dados de processo do equipamento (pressão e a vazão necessárias de entrada para funcionamento do skid), os dados de comprimento esperado da linha e desnível entre o ponto de derivação da nova linha até a entrada do sistema, também usando um desenho de arranjo geral de uma FPSO, calculou-se a velocidade através de um software e, posteriormente, o diâmetro da nova linha, sendo este encontrado por meio da Equação 3, cujo produto é resultado de uma combinação das Equações 1 e 2.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Q = A \cdot V \quad (\text{Equação 2})$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A = área da seção transversal (m²);

D = diâmetro interno do tubo (m);

Q = vazão (m³/s);

V = velocidade do fluido (m/s).

Verificou-se a necessidade da instalação de uma bomba para alimentar o sistema. É relevante informar que a bomba em questão é a de baixa pressão instalada antes dos filtros. Dependendo da pressão de entrada no filtro, pode ser que esta não seja suficiente para possibilitar a filtração da água. Essa análise foi realizada através da Equação 5. Essa equação é derivada da equação modificada de Bernoulli (Equação 4).

$$\frac{-\dot{W}}{\dot{m}g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + Hl \quad (\text{Equação 4})$$

$$P_1 = P_2 + (z_2 - z_1 + Hl_{1 \rightarrow 2}) \cdot \rho g \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

\dot{W} = potência (J/s);

\dot{m} = vazão mássica (kg/s);

P = pressão (N/m²);

ρ = massa específica da água (kg/m³);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

V = velocidade (m/s);

z = altura (m);

Hl = perda de carga (m).

Para o cálculo da perda de carga da linha, foi utilizada a Equação 6 de Darcy-Weisbach:

$$Hl_{1 \rightarrow 2} = \left(f \frac{L}{D} + k \right) \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Hl = perda de carga (m);

f = fator de atrito;

L = comprimento do trecho reto (m);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

k = coeficiente de perda de carga localizada;

V = velocidade (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

A Equação 7 foi usada para encontrar o número de Reynolds e determinar se o regime de escoamento do fluido era turbulento ou laminar.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

Re = número de Reynolds;

D = diâmetro interno da tubulação (m);

V = velocidade (m/s);

ρ = massa específica da água (kg/m³);

μ = viscosidade dinâmica (Pa.s).

O fator de atrito foi determinado pela Equação de Haaland (Equação 8):

$$f = \left(-1,8 \log \left(\left(\frac{e}{3,7 x D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \right)^{-2} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

f = fator de atrito;

e = rugosidade da tubulação (m);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

Re = número de Reynolds.

Dando sequência a utilização do arranjo geral de uma plataforma, foram-se tiradas medidas de altura, comprimento e largura do compartimento a fim de verificar se o espaço disponível era suficiente para encaixar o novo sistema.

Após a projeção da linha, partindo do ponto de desvio da linha principal e conectando-a no sistema de osmose reversa, fez-se uma relação de materiais estimados e seus valores comerciais.

5 RESULTADOS

5.1 IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA UTILIZADO NA PLATAFORMA

A captação de água do mar se dá por uma abertura no casco chamada de caixa de mar. O fluido é bombeado e distribuído aos sistemas onde água salgada é necessária, incluindo o de dessalinização, cuja parte da aplicação está voltada para o LQ. A bomba de captação de água da plataforma, localizada no casco, não é exclusiva para o sistema de água potável, portanto, não foi relevante para o presente trabalho o cálculo para definição da mesma, uma vez que a água salgada é destinada a outros sistemas e também atende ao novo sistema proposto, assim como atendia ao sistema antigo (por destilação).

Na atual condição da plataforma, a linha principal que chega ao primeiro equipamento necessário do processo é de 6" e constituída de carbono com revestimento orgânico. Parte dessa água se destina a outros sistemas do navio, onde não há obrigatoriedade de água potável, e a outra parte se destina ao conjunto de dessalinização.

Os equipamentos utilizados para a dessalinização por destilação são os dessalinizadores por destilação e as unidades de esterilização UV, ambos equipamentos trabalham com uma vazão máxima de 80m³/dia. Cada equipamento possui uma linha de drenagem e a água gerada no processo é distribuída principalmente para dois sistemas: o de água potável do LQ (chuveiros, sanitários, torneiras etc) e o de água quente (que também atende ao LQ).

5.2 MEDIÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO

São necessários dois skids: um operando a 100% e o outro de stand by, em caso de danos ou manutenção do principal. Como o skid de osmose reversa possui dimensões fixas, conforme informado pelo fornecedor (6.06 x 2.44 x 2.59 m), verificou-se as medidas do compartimento de uma plataforma, a fim de confirmar se havia espaço suficiente para encaixar o sistema. O compartimento possui 7

m de comprimento, 3,5 m de largura e 5,4 m de altura, estando dentro do limite para incluir dois sistemas de osmose reversa. Como o escolhido vem em um container, o arranjo proposto para 2 unidades é um acima do outro.

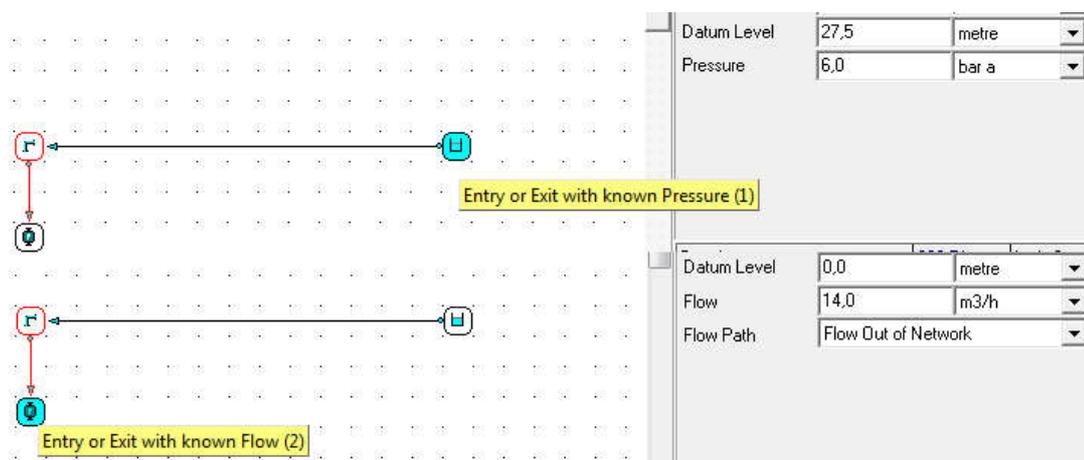
Também utilizando um arranjo geral, analisou-se a possível rota da linha nova, derivando da linha de 6" no módulo de utilidades do casco e chegando ao terceiro deck da plataforma, onde há o espaço reservado para os equipamentos de conversão de água salgada em potável.

5.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA NOVO

Ao requisitar cotação para o sistema, não foi obtida resposta de nenhum fornecedor que atendesse as especificações de projeto (80 m³/dia). Dessa forma, pesquisou-se na internet sobre *skids* que se aproximassem do requisitado e foi encontrado um com vazão de 100 m³/dia, cuja empresa era a Lenntech. Ela forneceu um catálogo com um sistema de osmose reversa completo, conforme Anexo A. Os dados de vazão e pressão necessários foram informados pelo próprio fornecedor e a velocidade considerada foi encontrada através de uma simulação no software *Fluid Flow*. Dessa maneira, calculou-se o diâmetro da tubulação e a necessidade de uma bomba de alimentação. A bomba de alta pressão, localizada após os filtros do *skid*, necessária para bombeamento da água nas membranas de osmose reversa, já está inclusa, bem como as linhas de limpeza, linha de rejeito, sistemas elétricos, tanques, sistema de dosagem química etc.

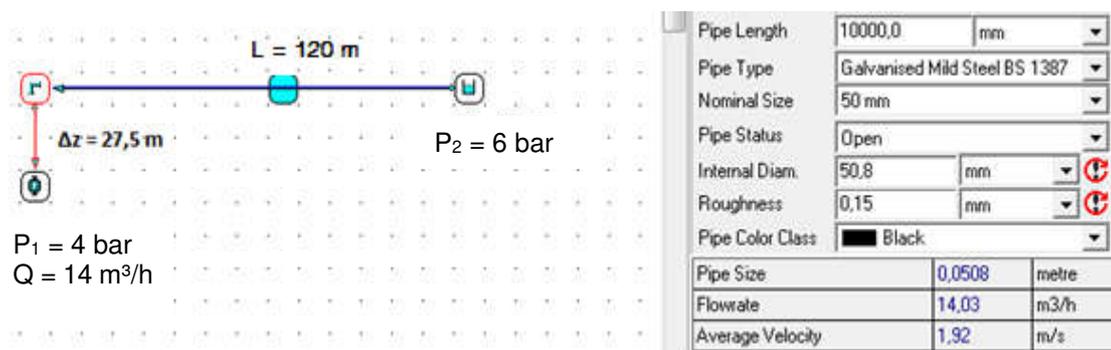
Para encontrar o valor da velocidade, utilizando o *Fluid Flow* e considerando que o regime do fluido é permanente, foi necessário informar alguns dados básicos para o software como as pressões nos pontos 1 e 2, desnível entre os pontos, vazão necessária para alimentação e comprimento da linha. Esses pontos e dados estão mostrados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12: Input de dados no software *Fluid Flow*.



Fonte: Autores.

Figura 13: Retorno dos dados com obtenção do valor da velocidade e da rugosidade



Fonte: Autores.

O fornecedor informa em sua folha de dados que as pressões mínima e máxima para alimentação do sistema são de 3 bar e 4 bar, respectivamente, e foi informado que a vazão de alimentação é de $14 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,0038 \text{ m}^3/\text{s}$). Estima-se também que a linha principal, onde foi feita a derivação da linha nova, tem uma pressão de operação de 6 bar, podendo variar de uma plataforma a outra dependendo do *design*. O desnível entre o ponto de derivação até a entrada do sistema (Δz) é de 27,5 m e o comprimento total esperado para a linha é de 120 m. Dessa maneira, substituindo os valores na Equação 3, tem-se:

$$D = 0,05 \text{ m} \approx 2 \text{ pol}$$

A nova linha, assim como a linha principal, é feita de aço carbono revestido. Se o projeto for de aplicação da Petrobrás, por exemplo, há uma norma da Petrobrás que destaca qual o material a ser utilizado em cada linha (*N-1693 - Critérios para padronização de material de tubulação*).

O fornecedor informa que a bomba de alimentação não é incluída no *skid*, mas que é possível obtê-la, caso seja necessário. Nesse caso, se a pressão que chega no filtro é maior do que a recomendada pelo fabricante (4 bar), não é preciso instalar uma bomba, pelo contrário, é preciso colocar alguma barreira na linha para reduzir essa pressão. Se a pressão na alimentação for menor do que a pressão mínima requerida para o sistema (3 bar), então é necessário calcular e escolher uma bomba que atenda ao sistema e forneça a pressão necessária para o funcionamento do *skid*.

Para encontrar a pressão de chegada no filtro (P_1), foram utilizados os seguintes dados: fluido em regime permanente e incompressível; $e = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$; $D = 0,0508 \text{ m}$; $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$; $P_2 = 6 \text{ bar} = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$; $\mu = 0,91 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; $V_1 = V_2 = 1,92 \text{ m/s}$; $z_2 - z_1 = 27,5 \text{ m}$.

Para o cálculo do fator de atrito, encontrou-se que o número de Reynolds era de $Re = 109.10^3$, estando dentro do limite de regime turbulento ($Re > 2300$).

Em seguida, determinou-se o fator de atrito através da Equação 8, encontrando-se o valor de $f = 0,0272$.

Preparou-se uma tabela (Tabela 3) para realizar os cálculos da perda de carga localizada (k). Os valores de k são tabelados e podem ser encontrados no Anexo B.

Tabela 3: Perda de carga localizada (k)

ITEM	DIÂMETRO	QUANTIDADE	UN	K	K _{TOTAL}
Curva de 45° raio longo	2"	6	pc	0,17	1,02
Curva de 90° raio longo	2"	19	pc	0,22	4,18
Flange (Entrada com cantos vivos)	2"	88	pc	0,50	44,00
Te	2" x 2"	1	pc	0,69	0,69
Válvula esfera	2"	2	pc	0,05	0,10
Weldolet (entrada arredondada)	6" x 2"	1	pc	0,05	0,05
SOMATÓRIO					50,04

Fonte: Autores.

Portanto, contendo todos os elementos necessários para determinação da pressão da linha, utilizando-se da Equação 5, a pressão que chega no filtro é:

$$P_1 = 10,92 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Dessa maneira, não é necessário incluir uma bomba, pois a pressão que chega nesse ponto está acima do recomendado. Assim, é preciso que seja incluída uma barreira na linha, como válvula de controle de pressão ou disco de ruptura, para reduzir o valor da pressão e permitir que o fluido esteja dentro dos padrões informados pelo fabricante. Essa escolha depende da equipe de projeto da plataforma e deve ser avaliada baseando-se nos dados de processo, disponibilidade no mercado, valor comercial etc. Para este trabalho, foi considerado utilizar um disco de ruptura, pois era mais acessível e barato do que uma válvula de controle e também é funcional para o sistema proposto.

5.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Com base nas informações calculadas de diâmetro, comprimentos retos e acessórios foi elaborada a lista de materiais necessários para a implantação do sistema, e em seguida foi pesquisado na internet o valor para compra dos materiais conforme pode-se observar nas Tabelas 4 e 5. As conexões estão na unidade de peças (pc) e os tubos em metros (m).

Tabela 4: Lista de material e orçamento do sistema por destilação (atual)

Descrição do item	Diâmetro (pol)	Qtd	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Cotovelo 90° #3000 ASTM A182 GR F316L ASTM B16.12	1	2	188,00	376,00
Cotovelo 90° #3000 ASTM A105 1 "SW ASME B16.11	1	2	32,80	65,60
Flange de solda de soquete ASTM A105 face com ressalto (RF) ASME B16.5 #300	1	2	27,25	54,50
Flange de solda de soquete ASTM A182 Gr F316L face com ressalto (RF) ASME B16.5 #150	1	5	146,00	730,00
Gaxeta circular sem amianto comprimido (fibra de aramida e NBR) #150, 1/16"	1	14	8,00	112,00
Parafuso de fixação; ASTM A320 Gr.L7, Zn-Ni - 75 mm Comprimento	1	20	52,00	1040,00
Tubo sem costura, extremidade plana A312 Gr TP 316L	1	0,6	235,00	141,00
Tubo sem costura, extremidade plana API 5L GrB PSL1 Sch-80	1	0,41	98,00	40,18
Acoplamento de redução #3000 A105 soquete de soldagem ASME B16.11	1,5 x 1	2	43,00	86,00

Acoplamento de redução #3000 A182 Gr F 316L soquete de soldagem ASME B16.11	1,5 x 1	5	135,00	675,00
Válvula esfera, ASTM A105, classe 800	1,5	2	853,24	1706,48
Válvula esfera, ASTM A182 Gr F 316L, classe 800	1,5	6	1141,84	6851,04
Válvula de retenção, ASTM A105, classe 150	1,5	1	1387,00	1387,00
Cotovelo 90° #3000 ASTM A105 soquete de soldagem ASME B16.11	1,5	2	75,03	150,06
Cotovelo 90° #3000 IASTM A182 GR F316L soquete de soldagem ASTM B16.11	1,5	18	378,00	6804,00
Flange soquete de soldagem ASTM A182 Gr F316L, face com ressalto (RF) ASME B16.5 #150	1,5	26	288,00	7488,00
Flange soquete de soldagem ASTM A105, face com ressalto, ASME B16.5 #150	1,5	3	32,47	97,41
Gaxeta circular sem amianto comprimido (fibra de aramida e NBR) CL150,1/16" (RF)	1,5	15	12,00	180,00
Parafuso de fixação ASTM A193 Gr.B7, Zn-Ni - 85 mm Comprimento	1,5	8	15,00	120,00
Parafuso de fixação; ASTM A320 Gr.L7, Zn-Ni - 70 mm Comprimento	1,5	56	48,00	2688,00
Sela de vinil éster FRP - 100mm	1,5	8	56,48	451,84
Te #3000 A182 Gr F 316L, soquete de soldagem, ASME B16.11	1,5	4	535,00	2140,00
Tubo sem costura, extremidade plana A312 Gr TP 316L	1,5	11,66	563,00	6564,58

Tubo sem costura, extremidade plana API 5L GrB PSL1 Sch-80	1,5	1,09	162,00	176,58
Acoplamento #6000 A234, soquete de soldagem, ASME B16.11	2	4	88,00	352,00
Cotovelo 45°, raio longo, ASTM A105 GR. WPB ASME B16.9	2	4	151,15	604,60
Cotovelo 90°, raio longo, ASTM A234 GR.WPB ASME B16.9	2	5	129,56	647,80
Flange soquete de soldagem ASTM A105, face com ressalto, ASME B16.5 #150	2	15	51,20	768,00
Parafuso de fixação ASTM A193 Gr.B7, Zn-Ni - 75 mm Comprimento	2	32	18,00	576,00
Sela de vinil éster FRP - 100mm	2	1	84,73	84,73
Te A234 Gr WPB ASME B16.9	2	2	88,00	176,00
Tubo sem costura, extremidade plana API 5L GrB PSL1 Sch-80	2	1,92	176,00	337,92
Tubo sem costura, extremidade plana API 5L GrB PSL1 Sch-160	2	4,48	102,00	456,96
Fabricante de água potável (destilador)	-	2	954900,00	1909800,00
Unidade de esterilização UV	-	2	106100,00	212200,00
TOTAL			R\$ 2.160.253,24	

Fonte: Autores

Tabela 5: Lista de material e orçamento do sistema por osmose reversa (proposto)

Descrição do item	Diâmetro (pol)	Qtd	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Flange de encaixe, ASTM A105, face plana (FF), #150	0,75	1	23,05	23,05
Flange cego, ASTM A105, face plana (FF), #150	0,75	1	10,00	10,00
Junta circular; tipo de face completa; folha comprimida sem amianto; espessura da parede 1/16 "(1,6 mm)	0,75	2	1,18	2,36
Tubo em aço carbono API 5L GR.B PSL 1, extremidade plana	0,75	0,50	24,09	12,045
Válvula esfera de liga Ni-Al-B, extremidades flangeadas com face plana (FF), classe 150	0,75	1	376,12	376,12
Curva de aço carbono A234 Gr WPB, 90 graus, raio longo	2	19	22,35	424,65
Curva de aço carbono A234 Gr WPB, 45 graus, raio longo	2	6	11,00	66,00
Flange de encaixe, ASTM A105, face plana (FF), #150	2	88	892,05	78500,4
Flange de encaixe, soquete de soldagem, PVC ASTM D 1784, padrão, face plana (FF), classe 150	2	2	46,11	92,229
Disco de ruptura em aço carbono	2	1	503,59	503,59
Curva, PVC, ASTM D 1784 classe 12454, SCH 80, soquete de soldagem	2	2	37,00	74,00
Junta circular; tipo de face completa; folha comprimida sem amianto; espessura da parede 1/16" (1,6 mm)	2	1	2,83	2,83

Junta circular; tipo de face completa; Teflon envolto em inserções sem amianto (fibra de aramida e NBR); espessura da parede 3,2 mm (1/8 pol.)	2	2	19,69	39,38
Tubo em aço carbono API 5L GR.B PSL 1, extremidade plana	2	120,00	62,45	7494,00
Tubo em PVC ASTM D 1785 PVC 1120, extremidade plana	2	4,00	145,08	580,32
Te, PVC, ASTM D 1784 classe 12454, soquete de soldagem	2	1	63,38	63,38
Válvula esfera de liga Ni-Al-B, extremidades flangeadas com face plana (FF), classe 150	2	2	717,38	1434,76
Flange de encaixe, soquete de soldagem, ASTM A182 Gr F 316L, face com ressalto (RF), #150	1,5	2	194,00	388,00
Flange de encaixe, soquete de soldagem, PVC ASTM D 1784, face plana (FF), #150	1,5	4	160,90	643,6
Curva, PVC, ASTM D 1784 classe 12454, SCH 80, soquete de soldagem	1,5	2	36,00	72,00
Junta circular; tipo de face completa; folha comprimida sem amianto; espessura da parede 1/16" (1,6 mm)	1,5	2	1,02	2,04
Junta circular; tipo de face completa; Teflon envolto em inserções sem amianto (fibra de aramida e NBR); espessura da parede 3,2 mm (1/8 pol.)	1,5	4	14,26	57,04
Tubo em PVC ASTM D 1785 PVC 1120, extremidade plana	1,5	4	34,24	136,96

Te, PVC, ASTM D 1784 classe 12454, soquete de soldagem	1,5	1	44,71	44,71
Válvula esfera, corpo em PTFE, extremidade flangeada com flange plana (FF), classe 150	1,5	2	213,40	426,8
Parafuso prisioneiro, ASTM A193 Gr B7, Zn-Ni; porcas em ASTM A 194 Gr 2H; Zn-Ni	1/2 x 3	8	2,44	19,52
Parafuso prisioneiro, ASTM A193 Gr B7, Zn-Ni; porcas em ASTM A 194 Gr 2H; Zn-Ni	1/2 x 3,5	16	2,77	44,352
Parafuso prisioneiro, ASTM A193 Gr B7, Zn-Ni; porcas em ASTM A 194 Gr 2H; Zn-Ni	1/2 x 3,5	8	2,772	22,176
Parafuso prisioneiro; liga de aço ASTM A 320 Gr L7, Zn-Ni; porcas em ASTM A 194 Gr 4 / S3, Zn-Ni;	1/2 x 3,25	4	3,94	15,76
Luva de redução, PVC, ASTM D1784 classe 12454, soquete de soldagem	2 x 1,5	2	74,88	149,76
Te, aço carbono, ASTM A 234 Gr WPB, padrão	2 x 2	1	26,32	26,32
Parafuso prisioneiro, ASTM A193 Gr B7, Zn-Ni; porcas em ASTM A 194 Gr 2H; Zn-Ni	5/8 x 3,75	8	3,03	24,24
Weldolet, aço carbono ASTM A105	6 x 2	1	90,00	90,00
Skid de osmose reversa - Lenntech, 100 m³/dia	-	2	1160000	2320000,00
TOTAL			R\$ 2.411.862,39	

A diferença entre os sistemas foi de R\$ 251.609,15, sendo o sistema de osmose reversa mais caro que o sistema por destilação térmica. Dessa maneira, economicamente, o sistema proposto não é viável.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a analisar a substituição de um sistema de dessalinização por destilação por um de osmose reversa em uma plataforma do tipo FPSO. Após cumprir todos os passos especificados na metodologia e analisar os dados finais foi concluído que:

- É possível prever a alteração no arranjo atual da plataforma. Entretanto, o roteamento da nova linha é complicado, pois deriva de uma já existente e é preciso encaixar o arranjo em estruturas ao longo do percurso até a sala de máquinas, onde estariam os dessalinizadores.
- Alguns fatores podem ser observados para que a modificação proposta não tenha sido exequível, podendo-se citar o superdimensionamento do *skid*, a imprecisão das estimativas de materiais e a não projeção de um sistema dedicado apenas para a potabilização da água.
- Apesar do projeto proposto extrapolar os valores do complexo já existente, a água proveniente do sistema de osmose reversa pode apresentar uma qualidade superior, requer menos manutenção, é um sistema automatizado, sustentável e simples de implementar.
- A tecnologia de osmose reversa ainda é cara, principalmente se for instalada em um ramo *offshore*. A tendência é que daqui alguns anos, devido ao problema de escassez da água e a dificuldade de abastecimento, o emprego dessa tecnologia seja reavaliado.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Procurar mais fornecedores de sistema de osmose reversa para plataformas offshore a fim de conseguir um skid com a vazão exata requisitada pelo sistema (80 m³/dia);
- Projeção de um sistema totalmente dedicado para a potabilização da água, incluindo bomba de captação, o skid de osmose reversa, rede de tubulações e seus acessórios.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Tailand O. Plataformas Offshore: Uma breve análise desde a construção ao descomissionamento. Rio de Janeiro, 2010. Trabalho de conclusão de curso de Tecnologia em Construção Naval - Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2010.

ALMEIDA, Zaqueu. Osmose Reversa e Membranas. Youtube, 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wAhLKYbYd9o>> Acesso em 23 novembro de 2019.

ALVES, Daian Péricles. Implementação de conceitos de manufatura colaborativa: um projeto virtual. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

ANDRADE, Rodrigo O. Para tirar o sal da água. Pesquisa FAPESP, Ed. 279. mai. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/para-tirar-o-sal-da-agua/>> Acesso em 23 novembro de 2019.

BARBOSA, Gabriela M. P. A potabilização da água do mar é uma realidade?. Be-taEQ, 2019. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2019/09/04/a-potabilizacao-da-agua-do-mar-e-uma-realidade/>> Acesso em 23 novembro de 2019.

Blue Water. FPSO Operations. 2020. Disponível em: <<https://www.bluewater.com/fleet-operations/fps-operations/>> Acesso em 23 novembro de 2019.

BONNELYE, V., SANZ, M. A., DURAND, J. P., et al. Reverse osmosis on open in-take seawater: pretreatment strategy. Desalination, v. 167, pp. 191-200, 2004.

BORDIGNON, Simone. Dessalinização da água do mar como alternativa para obtenção de água potável. Curitiba, 2016. Trabalho de pós-graduação em economia e meio ambiente, setor de ciências agrárias da Universidade Federal do Paraná, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>> Acesso em 23 novembro de 2019.

CELLI, Robson. Modelos de dessalinização e sua eficiência: comparativo entre tecnologias. Gestão, Tecnologia e Inovação – Revista eletrônica dos cursos de engenharia. Paraná, v.01, n.1, p. 31-38, janeiro, 2017.

DUARTE, Victor M.; KIPERSTOK, Asher; QUEIROZ, Luciano M.; TORRES, Ednildo A. Energetic aspects and opportunities for reusing water on offshore platforms in Campos Basin, Brazil. Ambiente & água - an interdisciplinary journal of applied science. Salvador, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n5/1980-993X-ambiagua-12-05-00786.pdf>> Acesso em 05 outubro de 2019.

FERRARO, Ronaldo J. S. Sistema de osmose reversa. Campinas, 2008. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica - Universidade São Francisco, 2008.

FREITAS, Tayná D. Produção de água a bordo de navios e plataformas. São Paulo, 2011. Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Construção Naval - Centro Universitário de Ciência e Tecnologia da Zona Oeste, 2011.

Gest. Tecnol. Inov. Vol.01 n.1, 2017. Janeiro - Abril Artigo 3 Página 31, Robson Celli. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n1/Artigo3-n1-Robson.pdf>> Acesso em 05 outubro de 2019.

IWAKI, Gheorge P. Portal tratamento de água - Seminário Toray: Tratamento de águas, efluentes e reuso com Membranas. 2016. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/seminario-toray-tratamento-de-aguas-efluentes-e-reuso-com-membranas/>> Acesso em 23 novembro de 2019.

JANNA, William S. Projeto de sistemas fluidotérmicos. 4 ed. São Paulo. Cengage Learning Edições Ltda, 2017.

KAMINSKI, M. L.; AALBERTS, P. Implementation of the Monitas system for FPSO units. Houston, Texas, 2010. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.702.1779&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em 05 outubro de 2019.

MUSPRATT, Adam. Guide to FPSO (Floating Production Storage and Offloading). Oil & Gas, 2018. Disponível em: <<https://www.oilandgasiq.com/fpso-flng/articles/guide-to-floating-production-storage-and-offloading-fpso>> Acesso em 23 novembro de 2019.

Ministério do Meio Ambiente. Água, um recurso cada vez mais ameaçado. 2016. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf> Acesso em 05 outubro de 2019.

Nações Unidas Brasil. A ONU e a água, 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>> Acesso em 05 outubro 2019.

National Aeronautics and Space Administration. NASA's 'Salt of the Earth' Aquarius Reveals First Map. 2011. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/aquarius/multimedia/gallery/pia14786.html>. Acesso em 23 novembro de 2019.

OLIVEIRA, Fernando F. de. Avaliação de filtros lentos de areia como pré-tratamento para o controle de biofouling em plantas de osmose reversa aplicadas na dessalinização de água do mar. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia USP - Instituto Butantan. São Paulo, 2012.

ORISTANIO, Bruna de Sandre; PEIG, Bruno B.; LOPES, Marcelo A. S. Desenvolvimento de um sistema de pré-tratamento para osmose reversa. São Paulo, 2006. Projeto de formatura em Engenharia ambiental apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

Petrobrás. Tipos de plataformas. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/infograficos/tipos-de-plataformas/desktop/index.html#>> Acesso em 05 outubro de 2019.

Purificação de água – Osmose reversa. Bancada pronta, 2012. Disponível em: <<https://bancadapronta.wordpress.com/2012/10/06/purificacao-de-agua-osmose-reversa/>> Acesso em 23 novembro de 2019.

Revista Canal. Dessalinização avança no Brasil. 13. ed, 2018. Disponível em: <<http://abconsindcon.com.br/revista-canal/dessalinizacao-avanca-no-brasil/>> Acesso em 23 novembro 2019.

Revista Galileu. Mundo terá déficit de 40% de água em 2030 se consumo não mudar. 2015. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2015/03/mundo-tera-deficit-de-40-de-agua-em-2030-se-consumo-nao-mudar.html>>. Acesso em 23 novembro 2019.

RIBEIRO, Rafael C.C. A inovação tecnológica da geração de água doce. Monografia para Aperfeiçoamento de Oficiais de Máquinas. Rio de Janeiro, 2014. Marinha do Brasil Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2014.

RUBIM, Cristiane. Dessalinização De Água Do Mar, Um Mercado A Ser Explorado No Brasil. Revista TAE. ed 7 - jun/jul. 2012 - Ano 2. Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/322/dessalinizacao-de-agua-do-mar-um-mercado-a-ser-explorado-no-brasil>> Acesso em: 23 novembro 2019.

SAMPAIO, Cidália M.S. Dessalinização da água através de painéis solares fotovoltaicos. Portugal, 2016. Dissertação de mestrado em Sistemas Enérgicos Sustentáveis na Universidade de Aveiro, 2016.

Saveh – Sistema de auto avaliação de eficiência hídrica. A disponibilidade de água no mundo e no Brasil. 2016. Disponível em: <<https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>> Acesso em 05 outubro de 2019.

SIGNORELLI, Matheus Ruas Miranda. Dessalinização: métodos e possibilidades. Projeto Final apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, 2015.

TORRI, Júlia B. Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações. Trabalho de pós-graduação em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VANNIER, Célio M. Processos de dessalinização da água do mar utilizados a bordo de navios. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de produção na Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2011.

WHO – World Health Organization. Desalination for Safe Water Supply. 2007. Disponível em:
<https://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf>
Acesso em 05 de outubro de 2019.

ANEXO A: FOLHA DE DADOS LENNTECH

LENNTECH

WATER TREATMENT SOLUTIONS

LENNRO

SISTEMAS CONTAINERIZADOS

Sistemas de ósmosis
inversa containerizados

100 m³/día
 300 m³/día
 500 m³/día

LENNTECH Water Treatment Solutions
 Rotterdamsaweg 402M, 2629HH Delft, The Netherlands
 Tel: +31(0)152610900 / Fax: +31(0)152616289
info@lenntech.com / www.lenntech.com

Desorpolón

Lenntech puede proporcionar sistemas de ósmosis inversa containerizados para la producción de agua potable a partir de agua de mar.

- Diseño compacto, reducida superficie requerida, unidad "lave en mano", móvil
- Sistema de control automático.

Este sistema containerizado incluye:

Prefiltración

- Cloración / De-cloración con control automático redox
- Filtración Multimedia con batería de válvulas neumáticas

Ósmosis inversa

- Cartucho de filtración de 5 micras;
- Bomba de alta presión (HPP) (con controlador de frecuencia)
- Dispositivo de recuperación de energía (opcional);
- Membranas de alto rendimiento;
- Recipientes a presión de fibra de vidrio 1000 psi;
- Conductividad del permeado en la pantalla frontal de la cabina de control;
- Indicadores de caudal en las líneas de permeado y concentrado;
- Interruptores e indicadores de de presión;
- Válvula de seguridad de descarga de presión antes y después de bomba de alta presión;
- Enjuague automático con agua fresca al apagado del equipo;
- Unidad CIP (limpieza de membranas con solución química)
- Cabina de control totalmente automática;
- Container aislado (incl. Puerta lateral, tramolla en techo).

Especificaciones del agua de alimentación

Sólidos disueltos totales	35.000-38.000 ppm
Valor de pH	8-8.5
Sólidos suspendidos totales	<5 ppm
Silt Density Index SDI ₁₅	< 5
Turbidez	< 2 NTU
Temperatura	Min. 20°C - max. 30°C
Presión del agua de alimentación	Min. 3 bar, máx 4 bar

Especificación del agua tratada

Sólidos disueltos totales	100-300 ppm
Valor de pH	6-7
Dureza total	5-10 ppm CaCO ₃

Opciones

Lenntech puede personalizar sus sistemas de desalinización de acuerdo a sus exigencias de calidad del agua y a las condiciones locales. A continuación, algunas de las opciones que se pueden incluir para personalizar su sistema:

- Bombas de alimentación / retrolavado
- Aire acondicionado en contenedor, paredes adicionales / puertas
- Ajuste de pH;
- Remineralización
- Post-desinfección
- Monitorización de datos y cabina de control con PLC avanzado

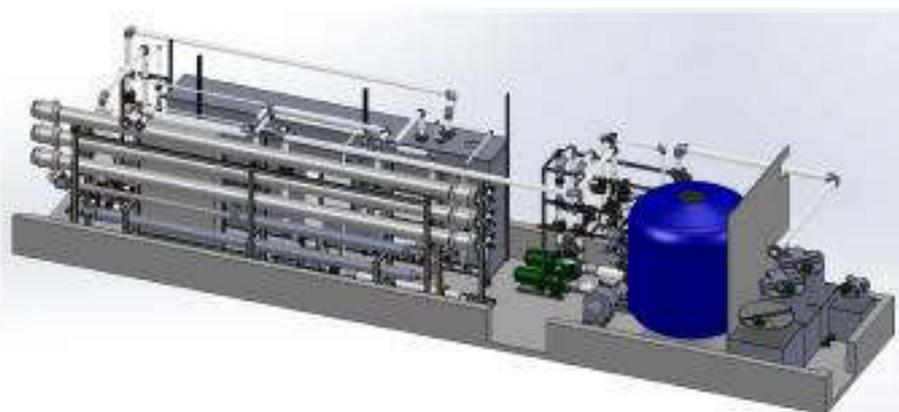
Technical data

LENNRO_SW_Cont_M	100	300	500	
Pre-treatment - MMF				
Número de filtros	2	1	1	
Diámetro [mm]	780	1800	2000	
Altura [mm]	2139	2105	2476	
Caudal de alimentación [m ³ /h]	14	32	47	
Ratio de filtración [m/h]	15.3	12.5	15	
Caudal de retrolavado [m ³ /h]*	11-14	65-75	80-95	
Medio de filtración	30% antracita 0.8-1.6 mm 60% arena 0.4-0.8 mm 10% grava 2-4 mm			
Altura de medio filtrante	1000 mm			
Osmosis Inversa				
Caudal de alimentación [m ³ /h]	14	32	47	
Recuperación	30%	40%	45%	
Caudal de permeado [m ³ /h]	4.2	12.5	21.1	
Bomba de alta presión [bar]	56	59	64	
Membranas	6	18	30	
No. membranas	17.9	17	15.0	
Lay-out (# Porta-membranas)	2	3	5	
Equipo para recuperación de energía	Intercambiador de presión	Intercambiador de presión	Intercambiador de presión	
Consumo de energía [kWh/m ³]	Con ERD	2.61	2.41	2.61
	Sin ERD	6.70	5.71	-
Sistema CIP/retrolavado				
Caudal de bomba en CIP/enjuague [m ³ /h]	16	30	40	
Presión de CIP/enjuague [bar]	4	4.5	5	
Volumen de tanque de CIP/enjuague [L]	900	2500	3500	
Containerización				
Tamaño de container	20ft HC	40ft HC	40ft HC	

*Velocidad de caudal de retrolavado 25-30m/h. La bomba para retrolavado puede ser proporcionada (a petición del cliente).
Estos datos son proporcionados únicamente a título de información. Están sujetos a modificaciones en función de la fuente de agua de mar y la calidad del agua.

Dimensiones

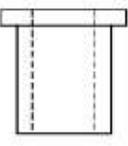
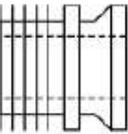
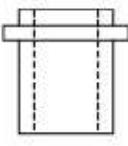
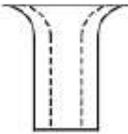
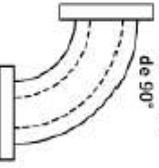
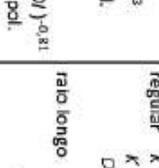
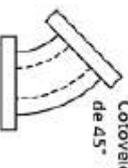
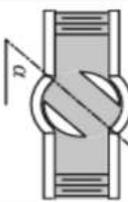
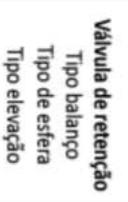
LENNRO_SW_Cont_M	100	300	600
Container	1 x 20 ft HC	1 x 40 ft HC	1 x 40 ft HC
Dimensiones externas (longitud x anchura x altura) (m)	6.06x2.44x2.59	12.19x2.44x2.90	12.19x2.44x2.90

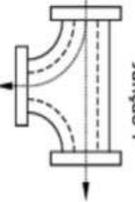
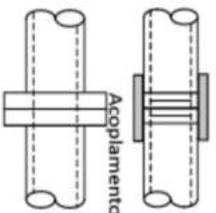


Este sistema requiere una pre-presión mínima de 3 bar.
 Lenntech puede ofrecer todo tipo de tratamientos necesarios antes y después de su sistema de ósmosis inversa, de acuerdo con su análisis de agua y los requisitos del proceso.
 Los sistemas de agua de mar containerizados ofrecidos por Lenntech incluyen todos los tratamientos necesarios para proveer de agua potable al cliente.
 Para más información puede ponerse en contacto directamente con nosotros.

Doc vers 01_2015

ANEXO B: TABELA DE PERDAS DE CARGA (JANNA, 2017)

	Entrada com cantos vivos $K = 0,5$		Cesto filtro $K = 1,3$
	Entrada com tubo de projeção interna $K = 1,0$		Entrada arredondada ou entrada com boca de sino $K = 0,05$
	rosqueado		flangeado, soldado, colado, sino e espigão
	regular $K = 1,4$ $K = 1,4(DI)^{-0,53}$ DI de 0,3 a 4 pol.	regular $K = 0,31$ $K = 0,44(DI)^{-0,23}$ DI de 1 a 25 pol.	
	raio longo $K = 0,75$ $K = 0,75(DI)^{-0,81}$ DI de 0,3 a 4 pol.	raio longo $K = 0,22$ $K = 0,51(DI)^{-0,58}$ DI de 1 a 23 pol.	
	regular $K = 0,35$ $K = 0,35(DI)^{-0,14}$ DI de 0,3 a 4 pol.	raio longo $K = 0,17$ $K = 0,22(DI)^{-0,14}$ DI de 1 a 23 pol.	
	Todos os tamanhos		
	α 0 10 20 30 40 50 60 70 80		
	$K = 0,05$ 0,29 1,56 5,47 17,3 25,6 206 485		
	Tipo balanço $K = 2,5$ Tipo de esfera $K = 70,0$ Tipo elevação $K = 12,0$		
	$K = 2,5$ $K = 70,0$ $K = 12,0$		

	rosqueado	flangeado, soldado, colado, sino e espigão
	regular $K = 1,5$ $K = 1,5(DI)^{-0,57}$ DI de 0,3 a 4 pol.	regular $K = 0,3$ $K = 0,43(DI)^{-0,26}$ DI de 1 a 23 pol.
	linha principal $K = 0,9$ todos os tamanhos DI de 0,3 a 4 pol.	linha principal $K = 0,14$ $K = 0,27(DI)^{-0,46}$ DI de 1 a 20 pol.
	linha derivada $K = 1,9$ $K = 1,9(DI)^{-0,38}$ DI de 0,3 a 4 pol.	linha derivada $K = 0,69$ $K = 1,0(DI)^{-0,29}$ DI de 1 a 20 pol.
	$K = 0,08$ $K = 0,083(DI)^{-0,69}$ DI de 0,4 a 4 pol.	$K = 0,08$ DI de 0,3 a 23 pol.