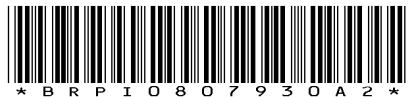




**(21) PI 0807930-7 A2**



\* B R P I 0 8 0 7 9 3 0 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 12/02/2008  
**(43) Data da Publicação: 01/07/2014**  
(RPI 2269)

**(51) Int.Cl.:**  
C02F 1/44  
B01D 61/02

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(54) Título:** SISTEMAS DE FILTRAÇÃO, DE TRATAMENTO DE ÁGUA, DE PASSAGEM DUPLA PARA A DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA E MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA, DE FÁBRICO DE MÓDULO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E DE TRANSPORTE DE ÁGUA

**(57) Resumo:**

**(30) Prioridade Unionista:** 14/02/2007 US 60/889,839,  
27/04/2007 US 60/914,690

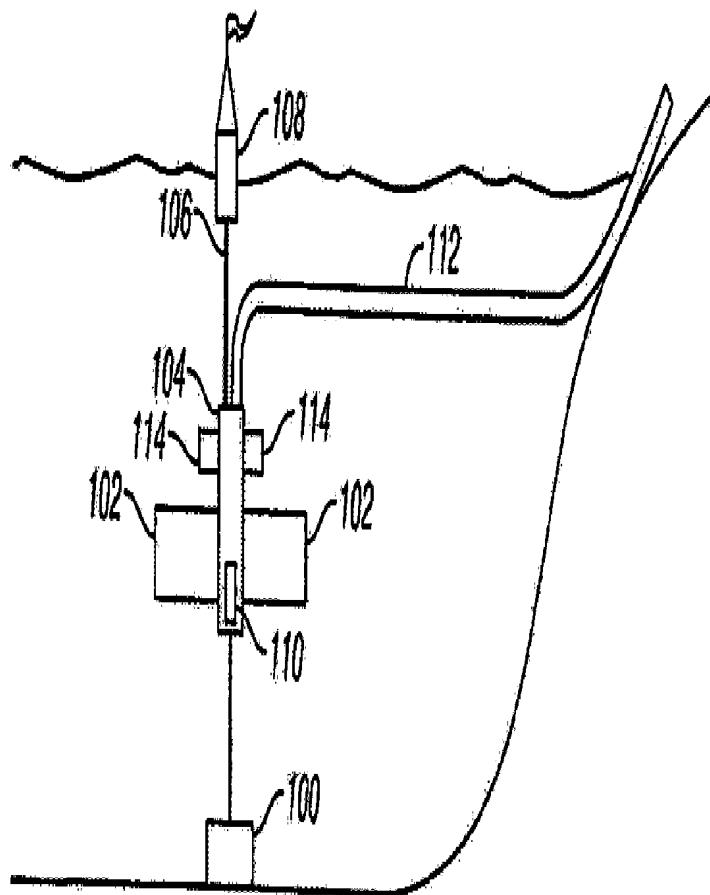
**(73) Titular(es):** DXV Water Technologies, LLC

**(72) Inventor(es):** Diem Xuan Vuong

**(74) Procurador(es):** Hugo Silva, Rosa & Maldonado-  
Prop. INT

**(86) Pedido Internacional:** PCT US2008053753 de  
12/02/2008

**(87) Publicação Internacional:** WO 2008/100957 de  
21/08/2008



**“Sistemas de Filtração, de Tratamento de Água, de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água e Métodos de Tratamento de Água, de Fabrico de Módulo de Tratamento de Água e de Transporte de Água”**

5

**Relatório Descritivo**

**Referência Remissiva**

**a Pedidos Correlatos.**

Este Pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório US nº 60/889.839, depositado em 14 de fevereiro de 2007, e o Pedido 10 Provisório US nº 60/914.690, depositado em 27 de abril de 2007. As revelações dos Pedidos acima referenciados são expressamente incorporadas aqui por referência nas suas totalidades.

**Campo da Invenção**

Os sistemas e métodos para a dessalinização da água do mar e para a purificação de águas superficiais e subterrâneas são proporcionados. Os sistemas utilizam a pressão hidrostática de uma coluna d'água natural ou induzida para filtrar água através de uma membrana de osmose inversa, de nanofiltração ou outra, por onde uma certa qualidade de água desejada ou água potável é obtida.

20

**Antecedentes da Invenção**

Mais de 97% de água na Terra é água do mar, três quartos da água restante está bloqueado no gelo glacial e menos de 1% está em aquíferos, lagos e rios que pode ser utilizada para o consumo industrial, agrícola, sanitário e humano. Como a água em aquíferos, lagos e rios é 25 um recurso renovável, esta pequena fração da água da Terra é continuamente reutilizada. É a taxa desta reutilização que deu ênfase aos

recursos hídricos convencionais.

No século passado, estas fontes de água passaram a ser tratadas como importantes uma vez que o aumento da população e a poluição limitaram a disponibilidade de acesso fácil à água doce.

5 Carências de água recentemente localizadas exigiram o desenvolvimento de instalações de dessalinização que tornam a água potável a partir de água salgada do oceano. O processo de dessalinização convencional compreende três etapas principais: o pré-tratamento; a dessalinização; e o pós-tratamento. Na etapa de pré-tratamento, a água do mar é

10 trazida do oceano para o local de dessalinização e, em seguida, acondicionada em conformidade com o processo de dessalinização a ser empregado. A água é geralmente tirada de áreas rasas, perto de terra, que contêm matérias suspensas (por exemplo, orgânicas ou inorgânicas) que devem ser filtradas antes do processo de dessalinização. Na

15 etapa de dessalinização, um método, como Destilação *Multistage Flash* (MSF), Destilação por Multi-Efeito (MED), Eletrodiálise (ED) ou Osmose Reversa (RO), é empregado para remover os sais da água. Os processos de dessalinização normalmente requerem quantidades substanciais de energia sob diversas formas (por exemplo, mecânica, elétrica, etc.), e o

20 descarte da salmoura concentrada gerada pelo processo pode ser uma significativa preocupação ambiental. Na etapa de pós-tratamento, a água tratada do processo de dessalinização é condicionada de acordo com a sua utilização final.

A destilação *Multistage Flash* ou por Multi-Efeito foi o processo escolhido para a indústria de dessalinização durante muitos anos, mas desde a década de 1990, melhorias na tecnologia de membrana e aumentos dos custos da energia fizeram da osmose reversa o

25 líder claro para capacidade nova.

A Osmose Reversa é um processo de membrana que age

30 como um filtro molecular para remover de 95 a 99% de sais dissolvidos

e de moléculas inorgânicas, bem como de moléculas orgânicas. A osmose é o processo natural que ocorre quando a água ou outro solvente flui espontaneamente a partir de uma solução menos concentrada, através de uma membrana semipermeável e em direção a uma solução 5 mais concentrada. Na Osmose Reversa, as forças osmóticas naturais são superadas pela aplicação de uma pressão externa à solução concentrada (de alimentação). Assim, o fluxo de água é revertido e a água dessalinizada (permeado) é removida da solução de alimentação, deixando uma solução salgada mais concentrada (salmoura). A qualidade 10 da água produto pode ser ainda melhorada através da adição de uma segunda passagem de membranas, por onde a água tratada a partir da primeira passagem é alimentada para a segunda passagem. Num processo de osmose reversa como é normalmente empregado comercialmente, a água do mar pré-tratada é pressurizada para entre 5.861 a 15 8.274 kPa (850 e 1.200 libras por polegada quadrada (psi)) num revestimento de recipiente, por exemplo, uma membrana de osmose reversa enrolada em espiral. A água do mar entra em contato com uma primeira superfície da membrana e, através da aplicação de pressão, a água potável penetra na membrana e é coletada no lado oposto. A salmoura 20 concentrada gerada no processo, que tem uma concentração de sal de até cerca de duas vezes maior à da água do mar, é eliminada de volta para o oceano.

### **Sumário da Invenção**

É proporcionado um processo altamente eficiente e inovador 25 para a dessalinização de água do mar e para a purificação das águas superficial e subterrânea. O processo utiliza a pressão hidrostática de um corpo de água para conduzir um processo de osmose reversa para remover, por exemplo, sais dissolvidos ou um processo de filtração em corpos de água doce para tirar constituintes indesejáveis, tais como 30 vírus e bactérias. O processo é vantajoso em sua eliminação de sistemas que seriam de outra forma necessários numa instalação de dessa-

linização convencional ou numa instalação de tratamento de água convencional, na medida em que permite a utilização eficiente de pressão hidrostática para facilitar a osmose inversa ou outros processos de filtração. Em modalidades preferidas, um módulo de Membrana 5 Exposta à Profundidade para Extração de Água (DEMWAX™) é proporcionado de forma que pode ser suspenso a partir de uma plataforma flutuante, amarrado ao fundo do mar ou, de outra maneira, posicionado a uma profundidade onde a pressão é suficiente para produzir água potável ou água de reduzido teor de sais dissolvidos, a partir da água do 10 mar, através de osmose reversa. Noutras modalidades preferidas, um módulo DEMWAX™ pode ser proporcionado com membranas de nanofiltração e utilizado para filtrar contaminantes da água de superfície ou subterrânea.

Consequentemente, num primeiro aspecto um sistema de 15 filtração é proporcionado, o sistema compreendendo um módulo de membrana configurado para ser submerso num corpo de água a uma profundidade submersa, o módulo de membrana compreendendo pelo menos um cartucho de membrana, o cartucho de membrana compreendendo pelo menos um elemento de membrana, o elemento de membrana tendo um primeiro lado e um segundo lado, em que o primeiro lado do elemento de membrana é exposto à água a ser filtrada sob uma pressão característica da profundidade submersa; uma passagem coletora configurada para ser imersa no corpo de água, onde pelo menos uma parte da passagem coletora está em comunicação fluida 20 com o segundo lado do elemento de membrana em que a água filtrada é coletada, e uma passagem de respiração que se estende a partir da passagem coletora para uma superfície do corpo de água e configurada para expor um interior da passagem coletora a uma pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água ou numa 25 elevação mais alta do que a superfície do corpo de água, em que um diferencial entre a pressão característica da profundidade submersa e a 30

pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água ou numa elevação mais alta do que a superfície do corpo de água faz o permeado fluir a partir do primeiro lado do elemento de membrana para o segundo lado do elemento de membrana.

5 Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende duas camadas de membrana espaçadas à parte por pelo menos um espaçador de permeado.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana é substancialmente plano.

10 Numa modalidade do primeiro aspecto, o cartucho de membrana compreende pelo menos dois elementos de membrana.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o sistema de tratamento de água compreende uma pluralidade de elementos de membrana, onde cada elemento de membrana é espaçado à parte de um elemento de membrana adjacente por pelo menos cerca de 1 mm.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o sistema de tratamento de água compreende uma pluralidade de elementos de membrana, onde cada elemento de membrana é espaçado à parte de um elemento de membrana adjacente por pelo menos cerca de 2 mm.

20 Numa modalidade do primeiro aspecto, o sistema de tratamento de água compreende uma pluralidade de elementos de membrana, onde cada elemento de membrana é espaçado à parte de um elemento de membrana adjacente por pelo menos cerca de 2 mm a cerca de 8 mm.

25 Numa modalidade do primeiro aspecto, o sistema de tratamento de água compreende uma pluralidade de elementos de membrana, onde cada elemento de membrana é espaçado à parte de um elemento de membrana adjacente por cerca de 6 mm.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende duas membranas de lâmina plana numa configuração paralela, o elemento de membrana compreendendo ainda pelo menos um espaçador coletor situado entre duas membranas de lâmina plana, onde o espaçador coletor é configurado para separar as duas membranas de lâmina plana uma da outra.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o módulo de membrana compreende uma pluralidade dos cartuchos de membrana.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de nanofiltração. O módulo de membrana pode ser configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros, ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 30 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 60 metros, ou a uma profundidade de cerca de 60 metros, ou a uma profundidade de cerca de 60 metros até cerca de 244 metros, ou a uma profundidade de cerca de 122 metros até cerca de 152 metros, ou a uma profundidade de cerca de 152 metros até cerca de 183 metros.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de osmose reversa. O módulo de membrana pode ser configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 190 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 244 metros, ou a uma profundidade de cerca de 259 metros até cerca de 274 metros.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de ultrafiltração. O módulo de membrana pode ser configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade

de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros, ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 22 metros, ou a uma profundidade de cerca de 22 metros até cerca de 60 metros.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de microfiltração. O módulo de membrana pode ser configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros, ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 7 metros e é ainda configurado para substancialmente evitar arrastamentos de vida aquática à medida que o permeado passa do primeiro lado do elemento de membrana para o segundo lado do elemento de membrana.

Numa modalidade do primeiro aspecto, o diferencial entre a pressão característica da profundidade submersa e a pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água proporciona substancialmente toda a força que conduz o processo de filtração, na ausência de um dispositivo mecânico para aumentar a pressão à qual o primeiro lado da membrana é exposto, e na ausência de um dispositivo mecânico para reduzir a pressão à qual o segundo lado da membrana é exposto.

Num segundo aspecto, um sistema de tratamento da água é proporcionado compreendendo pelo menos uma membrana configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água a ser tratada, a água tendo uma primeira pressão à profundidade submersa,

a membrana tendo um lado do concentrado e um lado do permeado, um coletor em comunicação fluida com o lado do permeado da membrana e uma passagem configurada para expor um interior do coletor a uma segunda pressão, que é inferior à primeira pressão, onde expor o lado do concentrado da membrana à primeira pressão impulsiona um processo de filtração em que o permeado move-se através da membrana a partir do lado do concentrado para o lado do permeado.

Numa modalidade do segundo aspecto, a segunda pressão é característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água.

Numa modalidade do segundo aspecto, a passagem estende-se desde o coletor até pelo menos a superfície do corpo de água.

Numa modalidade do segundo aspecto, o coletor é a passagem.

Num terceiro aspecto, é proporcionado um sistema de tratamento da água que compreende um meio para filtrar pelo menos um constituinte a partir de uma água de origem para produzir uma água tratada, tendo o meio de filtração um lado da água de fonte e um lado da água tratada, em que o lado da água de fonte é configurado para ser exposto a uma pressão hidrostática da água de fonte; e meios para coletar a água tratada, em que o meio de coleta é configurado para ser exposto a uma pressão inferior à pressão hidrostática.

Numa modalidade do terceiro aspecto, a pressão inferior é característica da pressão atmosférica na superfície da água de fonte.

Num quarto aspecto, um sistema de tratamento da água é proporcionado compreendendo meios para filtrar uma água de fonte para produzir uma água tratada, tendo o meio de filtração um lado da água de fonte e um lado da água tratada; e meios para tirar proveito das condições de pressão ambiental na água de fonte e acima da água de fonte para criar um diferencial de pressão entre o lado da água de

fonte e o lado da água tratada suficiente para induzir o permeado a atravessar a partir do lado da água de fonte para o lado da água tratada.

Num quinto aspecto, um sistema de filtração é proporcionado para produzir água tratada a partir de água de alimentação, o sistema compreendendo pelo menos uma membrana de osmose reversa, onde a membrana é configurada para permitir a passagem da água através da mesma enquanto restringe a passagem através da mesma de um ou mais íons dissolvidos na água de alimentação, onde a membrana é configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água de alimentação que contém os íons dissolvidos nela, onde a profundidade é de pelo menos cerca de 141 metros, em que um primeiro lado da membrana é configurado para ser exposto à água de alimentação a uma pressão característica da profundidade submersa e em que um coletor num segundo lado da membrana é configurado para ser exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar, pelo qual, em uso, um diferencial de pressão através da membrana impulsiona um processo de filtração por osmose reversa tal que um permeado de uma concentração reduzida de íons dissolvidos é obtido no segundo lado da membrana, em que a membrana se situa de tal modo que, em utilização, pelo menos um da gravidade e corrente efetivamente remove um concentrado de maior densidade para fora da membrana.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema é configurado para ser submerso num corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 113 metros até cerca de 307 metros, onde a água do mar tem uma salinidade de cerca de 20.000 até cerca de 42.000 ppm.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema é configurado para ser submerso num corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 247 metros até cerca de 274 metros, onde a água do mar tem uma salinidade de cerca de 33.000 até cerca de 38.000 ppm.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada à parte de uma membrana adjacente por pelo menos cerca de 1 mm.

5 Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada à parte de uma membrana adjacente por pelo menos cerca de 2 mm.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada à parte de uma membrana adjacente de cerca de 2 mm a cerca de 8 mm.

10 Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada à parte de uma membrana adjacente de cerca de 6 mm.

15 Numa modalidade do quinto aspecto, o coletor é exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar através de uma passagem.

Numa modalidade do quinto aspecto, a passagem é um tubo de respiração. O tubo de respiração pode estender-se a partir da profundidade submersa até pelo menos uma superfície do corpo da água de alimentação.

20 Numa modalidade do quinto aspecto, a passagem compreende pelo menos um espaço entre duas membranas.

Numa modalidade do quinto aspecto, o coletor é um tanque de retenção em comunicação fluida com o ar numa superfície do corpo da água de alimentação.

25 Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema ainda compreende uma bomba configurada para transferir o permeado a partir de um primeiro local para um segundo local.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema ainda compreende um tanque de armazenamento de permeado pelo menos parcialmente submerso no corpo da água de alimentação.

5 Numa modalidade do quinto aspecto, o tanque de armazenamento de permeado é pelo menos parcialmente submerso e compreende um material flexível que pode acomodar o enchimento e a descarga de permeado.

10 Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema ainda compreende pelo menos um módulo de membrana, onde o módulo de membrana compreende uma ou mais membranas de lâminas planas emparelhadas seladas nas bordas para evitar a infiltração da água de alimentação, onde as superfícies externas das membranas de lâminas planas emparelhadas são configuradas para serem expostas à água de alimentação e onde, em uso, o permeado pode ser retirado de entre as 15 membranas de lâminas planas emparelhadas por meio de um módulo de coleta de permeado.

Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema ainda compreende uma plataforma *offshore* (no mar) a partir da qual o módulo de membrana é suspenso.

20 Numa modalidade do quinto aspecto, o sistema ainda compreende um canal configurado para transportar a água potável para terra.

25 Num sexto aspecto, um sistema de filtração da água para a produção de água tratada a partir de água de alimentação é proporcionado, o sistema compreendendo pelo menos uma membrana de nanofiltração, onde as membranas são configuradas para permitir a passagem da água através da mesma enquanto restringe a passagem através da mesma de pelo menos um constituinte, onde a membrana é configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água de alimen-

tação que contém os constituintes, onde a profundidade é de pelo menos cerca de 6 metros, em que um primeiro lado da membrana é configurado para ser exposto à água de alimentação a uma pressão característica da profundidade submersa e em que um coletor num 5 segundo lado de cada membrana é configurado para ser exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica numa superfície do corpo da água de alimentação, pelo qual, em uso, um diferencial de pressão através da membrana impulsiona um processo de filtração tal que um permeado que tem uma concentração reduzida do constituinte é obtido 10 no segundo lado da membrana, onde a membrana é situada de modo a evitar que a tensão superficial iniba substancialmente o fluxo livre de água de alimentação através do primeiro lado da membrana.

Numa modalidade do sexto aspecto, a profundidade é de pelo menos cerca de 8 metros.

15 Numa modalidade do sexto aspecto, a profundidade é de pelo menos cerca de 10 metros.

Numa modalidade do sexto aspecto, o diferencial de pressão entre a pressão característica da profundidade submersa e a pressão característica da pressão atmosférica proporciona substancialmente 20 toda a força que conduz o processo de filtração.

Numa modalidade do sexto aspecto, o processo de filtração ocorre sem a influência de uma bomba de vácuo.

Numa modalidade do sexto aspecto, o sistema ainda compreende uma bomba de deslocamento positivo configurada para mover 25 o permeado do coletor para a superfície do corpo da água de alimentação.

Num sétimo aspecto, é proporcionado um sistema de passagem dupla para a dessalinização da água, compreendendo o sistema um sistema de filtração de primeira passagem, compreendendo o

sistema de filtração de primeira passagem pelo menos uma primeira membrana de nanofiltração configurada para permitir a passagem de água através da mesma ao mesmo tempo em que restringe a passagem de um ou mais íons dissolvidos através da mesma, em que a primeira membrana é configurada para ser submersa num corpo de água do mar a uma profundidade de pelo menos cerca de 113 metros, em que um primeiro lado da primeira membrana é configurado para ser exposto à água do mar a uma pressão característica da profundidade submersa e em que um segundo lado da primeira membrana é configurado para ser exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar ou de uma elevação mais alta do que o nível do mar, através do qual, em uso, um diferencial de pressão através da primeira membrana conduz um processo de filtração tal que um permeado de salinidade reduzida é obtido no segundo lado da primeira membrana, em que a primeira membrana é configurada de tal modo que, em utilização, pelo menos um da gravidade e corrente efetivamente remove um concentrado de densidade superior para fora da primeira membrana; e um sistema de filtração de segunda passagem, compreendendo o sistema de filtração de segunda passagem pelo menos uma segunda membrana, em que a segunda membrana é uma membrana de nanofiltração ou uma membrana de osmose reversa.

Numa modalidade do sétimo aspecto, um primeiro lado da segunda membrana é configurado para ser exposto ao permeado de salinidade reduzida e está configurado de tal modo que, em uso, um diferencial de pressão é aplicado em toda a segunda membrana para conduzir um processo de filtração tal que um permeado de salinidade ainda mais reduzida é obtido no segundo lado da segunda membrana.

Numa modalidade do sétimo aspecto, o sistema de filtração de primeira passagem é configurado para ser submerso num corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 152 metros a cerca de 213 metros, a água do mar tendo uma salinidade de cerca de 33.000 a

38.000 ppm.

Numa modalidade do sétimo aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada à parte de uma membrana adjacente por cerca de 1 mm ou mais.

Numa modalidade do sétimo aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada à parte de uma membrana adjacente por cerca de 2 mm ou mais.

Numa modalidade do sétimo aspecto, o sistema compreende uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada à parte de uma membrana adjacente por cerca de 2 mm até cerca de 8 mm.

Num oitavo aspecto, um método para o tratamento da água é proporcionado, compreendendo o método: submergir um módulo de membrana numa água de fonte a uma profundidade submersa, compreendendo o módulo de membrana pelo menos uma unidade de membrana, a unidade de membrana tendo um primeiro lado e um segundo lado, em que pelo menos uma parte do segundo lado está em comunicação fluida com um canal coletor e onde o primeiro lado está exposto à água de fonte sob uma primeira pressão, em que a primeira pressão é característica da profundidade submersa; expor o canal coletor a uma segunda pressão, em que a segunda pressão é suficiente para induzir o permeado a atravessar a partir do primeiro lado para o outro lado; e coletar o permeado no sistema coletor.

Numa modalidade do oitavo aspecto, a segunda pressão é característica da pressão atmosférica numa superfície da água de fonte ou numa elevação mais alta do que a superfície da água de fonte.

Numa modalidade do oitavo aspecto, o permeado é induzido a atravessar a partir do primeiro lado para o segundo lado sem a utilização de uma bomba de vácuo.

Numa modalidade do oitavo aspecto, a unidade de membrana 5 compreende pelo menos uma membrana de nanofiltração. O módulo de membrana pode ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros 10 ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 30 metros ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 60 metros ou a uma profundidade de cerca de 60 metros até cerca de 244 metros ou a uma profundidade de cerca de 122 metros até cerca de 152 metros ou a uma profundidade de cerca de 152 metros 15 até cerca de 183 metros.

Numa modalidade do oitavo aspecto, a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de osmose reversa. O módulo de membrana pode ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 190 metros ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 244 metros, ou a uma profundidade de cerca de 259 metros 20 até cerca de 274 metros.

Numa modalidade do oitavo aspecto, a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de ultrafiltração. O módulo de membrana pode ser submerso a uma profundidade de pelo 25 menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 22 metros ou a uma profundidade de cerca de 22 metros até cerca de 60 metros.

30 Numa modalidade do oitavo aspecto, a unidade de mem-

brana compreende pelo menos uma membrana de microfiltração. O módulo de membrana pode ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros, ou a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros, 5 ou a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.

Numa modalidade do oitavo aspecto, o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 7 metros e é ainda configurado para substancialmente evitar arrastamentos de vida aquática à medida que o permeado passa do primeiro lado do 10 elemento de membrana para o segundo lado do elemento de membrana.

Num nono aspecto, um método para o tratamento de água é proporcionado, compreendendo o método expor pelo menos uma membrana situada num corpo de água a uma pressão hidrostática característica de uma profundidade de imersão da membrana, a membrana tendo um lado do concentrado e um lado do permeado, onde o lado do permeado está em comunicação fluida com um coletor; expor pelo menos uma parte de um interior do coletor a uma pressão inferior à pressão hidrostática, por onde o permeado passa do lado do concentrado para o lado do permeado da membrana; e coletar o permeado a 15 20 partir do coletor.

Numa modalidade do nono aspecto, a segunda pressão é característica da pressão atmosférica numa superfície do corpo de água ou numa elevação mais alta do que aquela da superfície da água.

Numa modalidade do nono aspecto, a membrana funciona 25 como o coletor.

Num décimo aspecto, um método de tratamento de água é proporcionado, o método compreendendo meios para filtrar pelo menos um constituinte indesejado da água de fonte, definindo o meio de filtração um lado da água de fonte e um lado da água tratada, em que

lado da água de fonte é exposto a uma pressão hidrostática da água de fonte; para expor o lado da água tratada a um sistema de baixa pressão, o sistema de baixa pressão tendo uma pressão inferior à pressão hidrostática, por onde a água tratada passa do lado da água de fonte 5 para o lado da água tratada; e para coletar a água tratada.

Num décimo primeiro aspecto, é proporcionado um método de fabrico de um módulo de tratamento de água, compreendendo o método conectar pelo menos um espaçador de água de fonte a uma primeira unidade de membrana, compreendendo a unidade de membrana duas camadas de membrana espaçadas à parte por uma camada espaçadora de permeado, tendo a primeira unidade de membrana uma parte de borda selada e uma parte de borda não selada; conectar uma 10 segunda unidade de membrana ao espaçador de água de fonte; e acoplar um espaçador coletor às partes de borda não selada da primeira unidade de membrana e da segunda unidade de membrana, em que o 15 espaçador coletor é configurado para formar uma selagem estanque que separa um lado da água de fonte da primeira unidade de membrana e a segunda unidade de membrana de um lado da água tratada da primeira unidade de membrana e da segunda unidade de membrana.

Num décimo segundo aspecto, é proporcionado um método 20 de transportar água de uma instalação de coleta *offshore* para terra, compreendendo o método submergir uma unidade de coleta numa primeira profundidade num corpo de água, em que pelo menos uma parte da unidade de coleta é exposta a uma pressão atmosférica; 25 proporcionar uma passagem em comunicação fluida com a unidade de coleta, estendendo-se a passagem a partir da unidade de coleta para um local em terra, onde o local em terra está numa elevação inferior à primeira profundidade.

Numa modalidade do décimo segundo aspecto, a unidade 30 de coleta compreende pelo menos um elemento de membrana, tendo

cada elemento de membrana um primeiro lado e um segundo lado, onde o primeiro lado é exposto a uma pressão característica do corpo de água na primeira profundidade e onde o segundo lado está em comunicação fluida com uma parte da unidade de coleta exposta à pressão atmosférica.

5

### **Breve Descrição dos Desenhos**

A **Figura 1** proporciona um diagrama (não em escala) de um módulo DEMWAX™ amarrado ao solo de um corpo de água.

10 A **Figura 2** proporciona um diagrama (não em escala) de um módulo DEMWAX™ adaptado para uso em instalações temporárias.

A **Figura 3** proporciona um diagrama (não em escala) de um módulo DEMWAX™ suspenso a partir de uma plataforma flutuante.

15 A **Figura 4** proporciona um diagrama (não em escala) de um módulo DEMWAX™ adaptado para o uso em aplicações de grande escala ou para aqueles usuários que desejam maior acesso aos módulos de membrana.

A **Figura 5** proporciona uma vista plana (não em escala) de um módulo de membrana DEMWAX™ que utiliza membranas alinhadas verticalmente numa configuração de caixa.

20 A **Figura 6** representa os elementos enrolados em espiral de um módulo de membrana de osmose reversa convencional, antes de serem enrolados.

25 As **Figuras 7A e 7B** mostram uma vista em corte de um módulo de membrana de osmose reversa que tem doze camadas de membrana enroladas em torno de um tubo de permeado.

A **Figura 8** mostra uma seção reta de um elemento de membrana de uma unidade de osmose reversa convencional (antes de

ser enrolado).

A **Figura 9A** mostra uma vista em perspectiva (não em escala) de um cartucho de membrana, de acordo com uma modalidade.

As **Figuras** de **9B** a **9F** ilustram as etapas num processo 5 para fazer um cartucho de membrana.

A **Figura 10** representa esquematicamente o processo de filtração por osmose reversa e o movimento descendente da salmoura gerada.

As **Figuras** de **11A** a **11C** representam esquematicamente 10 sistemas diferentes de transporte de água coletada ao largo da costa para terra.

A **Figura 12** mostra um diagrama básico (não em escala) de 15 um cartucho de membrana DEMWAX™ em seção reta, que ilustra os espaçadores de água salgada, mostrados com o lado do permeado dos elementos de membrana em comunicação fluida com um sistema de coleta. Os espaçadores de água salgada são 'bolas' plásticas ordenadas num padrão de tabuleiro de jogo e conectadas com fortes fibras plásticas. Os espaçadores evitam a necessidade de uma caixa de treliça para separar as membranas.

20 A **Figura 13** representa as fibras plásticas entrelaçadas onduladas adequadas para o uso como espaçadores de água salgada ou de água de fonte.

A **Figura 14** mostra um diagrama básico (não em escala) de 25 um canal coletor de água permeada para o uso com o sistema DEM-WAX™.

A **Figura 15A** mostra um esquema básico (não em escala) de um módulo com múltiplos cartuchos que contêm múltiplos elementos de membrana e um canal coletor para o uso com o sistema DEM-

WAX™.

A **Figura 15B** mostra um esquema básico (não em escala) de um módulo com múltiplos cartuchos que contêm múltiplos elementos de membrana e um canal coleto para o uso com o sistema DEM-5 WAX™.

A **Figura 15C** mostra um esquema básico (não em escala) de um módulo DEMWAX™ com múltiplos cartuchos que contêm múltiplos elementos de membrana ligados de forma fluida a um sistema de coleta.

10 A **Figura 16** mostra uma vista lateral de uma estrutura de coleta com a colocação dos cartuchos de membrana ilustrados nas linhas tracejadas.

15 A **Figura 17A** mostra uma vista em perspectiva de corte (não em escala) do módulo de membrana com um cartucho de membrana e uma parte do sistema de coleta removidos, para melhor ilustrarem as partes do sistema de coleta.

A **Figura 17B** mostra uma vista em perspectiva (não em escala) de um módulo de membrana com uma estrutura de coleta que suporta quatro conjuntos de cartuchos.

20 A **Figura 18** mostra um diagrama básico (não em escala) que representa uma vista de topo de uma instalação DEMWAX™, que mostra os módulos de membrana submersos suspensos a partir de uma plataforma *offshore*.

25 A **Figura 19** mostra um diagrama básico (não em escala) que representa uma vista de topo de módulos DEMWAX™ submersos num arranjo suspenso a partir de uma plataforma e dispostos em configurações em paralelo e em série.

A **Figura 20** proporciona uma vista plana de uma instala-

ção com múltiplos arranjos de módulos DEMWAX™.

A **Figura 21** mostra uma vista lateral de um sistema de conjunto de bóias de módulos DEMWAX™.

5 A **Figura 22** proporciona um diagrama de um cartucho DEMWAX™ adaptado para o uso com aplicações de água subterrânea.

As **Figuras 23A** e **23B** ilustram um cartucho DEMWAX™ cilíndrico.

As **Figuras 24A** e **24B** ilustram um cartucho DEMWAX™ cilíndrico.

10

### **Descrição Detalhada**

#### **da Modalidade Preferida**

A descrição e os exemplos seguintes ilustram modalidades preferidas da presente invenção em pormenor. Aqueles com habilidade na técnica reconhecerão que existem inúmeras variações e modificações 15 desta invenção que são abrangidas pelo seu escopo. Assim, a descrição de uma modalidade preferida não deve ser considerada para limitar o escopo da presente invenção.

As instalações de dessalinização por osmose reversa convencionais expõem as membranas de osmose reversa à alta pressão de 20 água salgada. Esta pressão força a água através da membrana enquanto previne (ou impede) a passagem de íons, moléculas selecionadas e partículas através da mesma. Os processos de dessalinização são tipicamente operados a uma alta pressão e, portanto, têm uma alta demanda de energia. Diversos sistemas de dessalinização são descritos 25 nas Patentes US Nos. 3.060.119 (Carpenter); 3.456.802 (Cole), 4.770.775 (Lopez), 5.229.005 (Fok); 5.366.635 (Watkins); e 6.656.352 (Bosley); e no Pedido de Patente US No. 2004/0108272 (Bosley); as divulgações de cada uma das quais são incorporadas aqui por referê-  
n

cia nas suas totalidades.

Os sistemas são proporcionados para purificar e/ou dessalinizar água. Os sistemas envolvem a exposição de uma ou mais membranas, tais como membranas de nanofiltração (NF) ou de osmose inversa (RO), à pressão hidrostática de uma coluna d'água natural ou induzida, por exemplo, água de alta pressão nas profundezas do mar. A membrana é submersa a uma profundidade onde a pressão é suficiente para superar a soma da pressão osmótica da água de alimentação (ou água de fonte) que existe sobre o primeiro lado da membrana e a perda de pressão transmembrana da própria membrana. Para a água do mar ou outra água que contém maiores quantidades de sais dissolvidos, as perdas de pressão transmembrana são geralmente muito menores do que a pressão osmótica. Deste modo, em algumas aplicações, a pressão osmótica é um condutor mais significativo do que as de pressão transmembrana na determinação da pressão necessária (e, portanto, a profundidade necessária). No tratamento de água doce de superfície ou de água que contém menores quantidades de sais dissolvidos, as pressões osmóticas tendem a ser menores e as perdas de pressão transmembrana tornam-se um fator mais significativo na determinação da pressão necessária (e, portanto, da profundidade necessária). Normalmente, os sistemas adaptados para dessalinizar água do mar exigem maiores pressões e, assim, maiores profundidades, do que os sistemas para tratamento de água doce.

Os sistemas de modalidades preferidas utilizam módulos de membrana de várias configurações. Numa configuração preferida, o módulo de membrana emprega um sistema de membrana em que duas lâminas de membrana paralelas são mantidas separadas por separadores de permeado e onde o volume entre as lâminas de membrana está incluso. A água permeada passa através das membranas e para o volume interior, onde é coletada. As modalidades particularmente preferidas empregam separadores rígidos para manter o espaçamento

entre as membranas sobre o lado de baixa pressão (do permeado); no entanto, qualquer configuração adequada de espaçador de permeado (por exemplo, espaçadores que têm um certo grau de flexibilidade ou de deformabilidade) pode ser empregada, que seja capaz de manter uma separação das duas lâminas de membrana. Os espaçadores podem ter qualquer aspecto, forma ou estrutura adequada capaz de manter uma separação entre as lâminas de membrana, por exemplo, de seção reta quadrada, retangular ou poligonal (sólida ou pelo menos parcialmente oca), de seção reta circular, vigas em I e similares. Os separadores podem ser empregados para manter uma separação entre as lâminas de membrana no espaço em que o permeado é coletado (espaçadores de permeado) e os espaçadores podem manter uma separação entre as lâminas de membrana na área exposta à água não tratada ou bruta (por exemplo, espaçadores de água de fonte). Alternativamente, configurações podem ser empregadas que não utilizem espaçadores de água de fonte. Em vez disso, a separação é proporcionada pela estrutura que mantém as membranas no lugar, por exemplo, a estrutura de suporte. A separação também pode ser proporcionada por, por exemplo, uma série de meios de plástico expandido espaçados (por exemplo, esferas), fibras plásticas trançadas onduladas, monólitos porosos, lâminas fibrosas não trançadas ou algo do gênero. Do mesmo modo, o espaçador pode ser fabricado a partir de qualquer material adequado. Os materiais adequados podem incluir polímeros rígidos, cerâmicas, aço inoxidável, compósitos, metal revestido de polímero e similares. Como discutido acima, os separadores ou outras estruturas que proporcionam espaçamento são empregados dentro do espaço entre as duas superfícies de membrana onde o permeado é coletado (por exemplo, espaçadores de permeado), ou entre superfícies de membrana expostas à água de fonte (por exemplo, espaçadores de água de fonte).

Alternativamente, uma ou mais unidades de membrana enroladas em espiral podem ser empregadas numa configuração enrolada

livremente onde a gravidade ou as correntes de água podem mover o concentrado de maior densidade através da configuração e para fora das superfícies de membrana. Os elementos de membrana podem, em alternativa, ser arranjados em diversas outras configurações (planar, 5 em espiral, curvada, ondulada, etc.) que maximizem a exposição da superfície e minimizem os requisitos de espaço. Numa configuração preferida, estes elementos são arranjados verticalmente, ligeiramente afastados e são abaixados para a profundidade. Em aplicações de água 10 do mar, a pressão hidrostática do oceano força a água através da membrana e um sistema de recolhimento coleta a água tratada e a bombeia para a superfície, para terra ou para qualquer outro local desejado. Se uma configuração enrolada em espiral é utilizada, as membranas são preferencialmente espaçadas mais afastadas do que num sistema de osmose reversa convencional, por exemplo, de cerca de 15 0,25 polegadas ou mais (cerca de 6 milímetros ou mais), e a configuração é de preferência num módulo “aberto” (ou seja, configurado para expor as membranas diretamente para a água de fonte circundante e permitir substancialmente o fluxo da água de fonte pelas membranas). Essa configuração facilita o fluxo de água de alimentação pelas membranas e, sobretudo, facilita a capacidade da gravidade trazer para 20 baixo o concentrado de maior densidade gerado na superfície da membrana pelo processo de filtração. Embora uma configuração aberta seja tipicamente preferida, em certas modalidades, uma configuração diferente de uma configuração aberta pode ser desejável.

25 Os sistemas de modalidades preferidas oferecem a vantagem de eliminar a necessidade de pressurizar a água de alimentação ou bruta pelo abaixamento das membranas na direção da água do mar a profundidades de cerca de 194 metros até cerca de 307 metros ou mais. Os processos convencionais de osmose reversa baseados em terra 30 normalmente requerem enormes quantidades de energia para gerar essa pressão. De preferência, a profundidade empregada nos sistemas de

modalidades preferidas que utilizam membranas de osmose reversa é de cerca de 247 metros até cerca de 274 metros, quando é desejado produzir água potável a partir da água do mar de salinidade média (por exemplo, a água do Oceano Pacífico que tem uma salinidade de cerca de 5 35.000 mg/litro); mais preferencialmente, a profundidade é de cerca de 259 metros. Naturalmente, os sistemas que usam membranas de osmose reversa também podem ser implantados em profundidades mais rasas. Se a água de salinidade reduzida (por exemplo, água salobra adequada para irrigação, uso em refrigeração industrial ou algo do 10 gênero) é desejada, a profundidade preferida para sistemas que utilizam membranas de nanofiltração é de cerca de 113 metros até cerca de 247 metros ou mais. Preferencialmente, a profundidade é de cerca de 152 metros até cerca de 213 metros para produzir água salobra a partir da água do mar de salinidade média (por exemplo, a água do Oceano 15 Pacífico que tem uma salinidade de cerca de 35.000 ppm ou mg/L). Naturalmente, os sistemas que utilizam membranas de nanofiltração também podem ser implantados em profundidades maiores que 213 metros; esses sistemas podem ser utilizados nas mesmas profundidades que aqueles que utilizam membranas de osmose reversa.

20 A profundidade preferida pode depender de uma variedade de fatores, que incluem, mas não se limitam a, a química da membrana, o espaçamento da membrana, as correntes ambientais, a salinidade da água do mar (ou o teor de íon dissolvido da água de alimentação), a salinidade do permeado (ou o teor de íon dissolvido do permeado), e 25 similares. À profundidade, a água do mar em contato com as membranas está, naturalmente, a uma contínua alta pressão. Outras vantagens dos sistemas de modalidades preferidas são que eles não necessitam de canos de alta pressão, de sistemas de admissão de água, de sistemas de pré-tratamento de água ou de sistemas de eliminação de 30 salmoura. Os sistemas de modalidades preferidas também podem ser implantados até mesmo em profundidades mais rasas. Por exemplo,

modalidades podem ser implantadas em águas rasas de oceano para utilização em sistemas de pré-tratamento de dessalinização ou em sistemas de admissão de água do oceano. Tendo nenhuma admissão de alta velocidade, tais sistemas vantajosamente evitam danos à vida marinha. Os sistemas selecionados de modalidades preferidas são preferencialmente configurados de modo que a água salgada não entra em contato com quaisquer constituintes metálicos interiores, mitigando dramaticamente os efeitos corrosivos de íons dissolvidos selecionados que afetam os sistemas convencionais de osmose reversa. Os sistemas são preferencialmente configurados para ser empregados no oceano aberto, não necessitando, portanto, de significativa área em terra perto da costa, como em sistemas de osmose reversa convencionais baseados em terras. Embora seja geralmente preferido operar os sistemas de modalidades preferidas a profundidades de 247 metros até cerca de 274 metros, os sistemas podem vantajosamente ser configurados para funcionar em profundidades mais rasas. Por exemplo, os sistemas que incluem membranas de microfiltração, de ultrafiltração ou de nanofiltração podem ser posicionados em águas superficiais e em reservatórios em profundidades muito mais rasas e configurados para filtrar bactérias, vírus, orgânicos e inorgânicos de uma fonte de água doce. Mais preferencialmente, os sistemas de tratamento de águas superficiais empregam membranas de nanofiltração. As membranas de tais sistemas podem ser posicionadas a uma profundidade de cerca de 6 metros até 61 metros, ou a qualquer outra profundidade adequada, dependendo do total de sólidos dissolvidos a serem removidos, da velocidade de admissão desejada e da qualidade desejada da água tratada. Os sistemas que incluem membranas de microfiltração, de ultrafiltração ou de osmose reversa também podem ser adaptados para produzir água purificada a partir de um abastecimento de água contaminada e podem ser configurados para a colocação em poços subterrâneos.

Os módulos de membrana de determinadas modalidades

preferidas são empregados para separar os constituintes indesejados da água de alimentação e transferir a água tratada assim gerada para um sistema de coleta subaquático que inclui uma bomba. Este sistema de coleta pode agir como um tanque que retém suficiente permeado para abrandar a variabilidade da produção da membrana e a velocidade de bombeamento. As bombas podem ser de qualquer forma adequada, as quais incluem bombas submersíveis, bombas de poço seco ou similares. O sistema de coleta é ligado a pelo menos dois canos, tubos, passagens ou outros meios de direcionar o fluxo, através de um dos quais a água permeada é direcionada para a superfície, para terra ou outro local desejado; e um dos quais isola (ou protege) as membranas da operação da bomba (por exemplo, um 'tubo de respiração'). O aumento repentino da pressão no sistema causado pela ativação ou desativação da bomba pode ser aliviado pelo tubo de respiração que esvazia ou enche e não pelo aumento ou diminuição repentinos do diferencial de pressão através das membranas. Sem um tubo de respiração, a tensão na unidade de membrana devido à ciclagem da bomba (por exemplo, para a manutenção do sistema) pode diminuir a vida útil da membrana ou causar outro desgaste mecânico. Embora seja particularmente preferido empregar um tubo de respiração para expor o tanque de retenção de permeado à pressão atmosférica, e assim permitir o fluxo de água permeada através da membrana, quando exposta à pressão em profundidade, outros meios de aplicar uma pressão reduzida ao lado do permeado das membranas também podem ser empregados para conduzir o processo de filtração. Um único tubo de respiração ou múltiplos tubos de respiração podem ser empregados. Do mesmo modo, múltiplos meios de direcionar o fluxo podem vantajosamente ser utilizados (por exemplo, múltiplos canos para enviar água permeada para um único local ou para locais diferentes, etc.). O(s) tubo(s) de respiração é de preferência configurado para evitar efeitos sônicos observados para fluxo extremamente rápido de ar através do(s) tubo(s) de respiração, quando as bombas são iniciadas ou paradas.

Os sistemas de coleta para uso em aplicações de oceano estão configurados para coletar ou acumular o permeado e transmitir-lo para a superfície do oceano ou outro local desejado (uma localização submersa, tanques de armazenagem subterrâneos ou de superfície em terra ou algo do gênero). Estes sistemas de coleta são preferencialmente flutuantes e amarrados ao fundo do oceano para evitar os efeitos de tempestades de superfície e o impacto visual; no entanto, outras configurações também podem ser vantajosamente empregadas. Por exemplo, uma plataforma de superfície (flutuante ou fixa) pode ser situada no oceano e os módulos de membrana podem ser suspensos a partir dela. As correntes oceânicas são preferencialmente levadas em conta na suspensão do módulo. A corrente aplica uma força contra o módulo suspenso, deslocando-o para o lado. Tal como num pêndulo, à medida que o módulo é deslocado para o lado, ele é forçado para mais perto da superfície. Se as correntes são relativamente constantes, o módulo pode ser suspenso a partir de uma linha que é mais longa do que a preferida profundidade do módulo, com o resultado de que a força da corrente vai empurrar o módulo para o lado e para cima até a profundidade preferida. Estas mesmas considerações são aplicáveis, no sentido inverso, para módulos flutuantes que são amarrados ao solo de um corpo de água. Assim, em determinadas modalidades, o comprimento da linha pode ser ajustado para compensar as mudanças na corrente (por exemplo, um sensor de corrente pode ser empregado, juntamente com um guincho), de modo que o módulo seja mantido na profundidade preferida. Alternativamente, o módulo pode ser colocado numa profundidade tal que o deslocamento de corrente não resulta na elevação do módulo acima da profundidade preferida.

Os sistemas de modalidades preferidas podem empregar tecnologia de plataforma oceânica convencional. Por exemplo, uma plataforma flutuante de casco de concreto pode ser empregada para apoiar um módulo de energia para a geração de energia (por exemplo,

um gerador, um transformador, etc.), o armazenamento de combustível, o armazenamento de sobressalentes de manutenção e outras infra-estruturas para executar o sistema. Como a demanda de água potável na terra não é uniforme ao longo do dia, um contínuo processo de 5 produção preferencialmente emprega um sistema de armazenamento. Quando a demanda é baixa, como um complemento para o armazenamento em terra, a plataforma pode empregar um tanque flutuante feito de um material flexível, como HYPERLON™, que se expande e contrai à medida que o tanque enche e esvazia. Tais sistemas de armazenamento 10 são suspensos no oceano e, portanto, não requerem obra de construção pesada, como é exigido em tanques de água em terra ou em tanques situados nas proximidades da costa.

A água potável ou com teor reduzido de íon gerado pelo sistema é preferencialmente transportada para terra tirando-se partido das 15 pressões praticamente idênticas dentro e fora de um encanamento. Por exemplo, em modalidades selecionadas, um cano flexível que flutua debaixo d'água, feito de HYPERLON™ ou de outros materiais apropriados, pode ser empregado. Estes canos são preferencialmente suspensos 20 abaixo da superfície do oceano, por exemplo, a cerca de 30 metros (100 pés) abaixo da superfície, ou ao longo do fundo do oceano. A profundidade do cano é preferencialmente de tal ordem que não irá interferir 25 com qualquer tráfego de superfície. Caso nenhum tráfego de superfície esteja presente no local do sistema, então pode ser vantajoso empregar um cano na superfície do oceano. Embora o cano flexível seja vantajosamente empregado, o cano rígido, um canal de fluxo de cimento ou 30 outras configurações de cano ou de passagem podem ser empregadas.

As instalações de dessalinização frequentemente adicionam alguns produtos químicos (por exemplo, cloro, flúor, algicidas, anti-espumantes, biocidas, produtos químicos de caldeira d'água, coagulantes, inibidores de corrosão, desinfetantes, floculantes, agentes neutralizantes, oxidantes, removedores de oxigênio, condicionadores de pH, 30

limpadores de resina, inibidores de escala e semelhantes) à água dessalinizada, dependendo de regulamentos locais. Esta atividade pode ter lugar em terra, à medida que a água está sendo entregue para o sistema de distribuição ou em qualquer outro local adequado no sistema.

5

### **Sistema DEMWAX™**

É mostrado um diagrama de um sistema DEMWAX™ de uma modalidade preferida na Figura 1. Amarrados a uma âncora 100 sobre o fundo do oceano estão elementos de um sistema DEMWAX™, 10 que inclui módulos de membrana 102 e um canal de coleta 104. Os módulos de membrana 102 podem incluir um ou mais cartuchos de membrana, por exemplo, conforme descrito abaixo em conexão com a Figura 9C. Estes e outros elementos do sistema são preferencialmente configurados para ser quase tão neutramente flutuadores ou pesos podem ser adicionados, dependendo da aplicação, para manter os módulos numa profundidade desejada. O cano de respiração 106 estende-se entre o canal de coleta 104 e uma bóia 108 que flutua sobre a superfície do oceano para expor o canal de coleta à pressão atmosférica. Alternativamente, o tubo de respiração pode seguir o cano 15 de permeado 112 para o litoral. Uma bomba 110 bombeia o permeado a partir do canal de coleta 104 para terra através do cano 112. A bomba 110 pode ser colocada dentro do canal de coleta ou adjacente a ele 104, conforme ilustrado na figura, ou pode ser instalada na ou perto da costa, em comunicação fluida com o cano 112. A bomba está, de 20 preferência, sobre a mesma profundidade que as membranas, de modo a que a contrapressão não pare o processo de osmose reversa. Se a bomba está a uma profundidade inferior a 850 pés, pode ser necessário proporcionar pressão negativa para as membranas, a fim de permitir que o processo de osmose reversa prossiga. Um ou mais tanques de 25 armazenamento de permeado 114 podem opcionalmente ser dispostos dentro do sistema, por exemplo, como parte do ou estendendo-se a 30

partir do canal de coleta 104, para proporcionar mais espaço de armazenamento. Esse armazenamento adicional pode ser utilizado vantajosamente para aliviar as variações na velocidade da bomba. Os tanques de armazenagem 114 podem incluir sensores (não mostrados) configurados para sentir o volume de permeado armazenado nos tanques 114 e regular o funcionamento da bomba 110 como consequência.

A Figura 2 ilustra outra modalidade de um sistema DEMWAX™ que é especialmente bem ajustado para aplicações temporárias (não-permanentes). Um módulo DEMWAX™ 120 é amarrado a uma ou 10 mais âncoras 122 sobre o fundo do mar. O módulo 120 inclui pelo menos um cartucho de membrana e um canal de coleta. O módulo de membrana é exposto à pressão hidrostática do oceano em profundidade, e o canal de coleta é exposto à pressão atmosférica através de um tubo de respiração 124 que se estende para uma bóia 126 que flutua 15 sobre a superfície da água. O permeado é coletado no módulo 120 e bombeado através de um cano de permeado 127 para uma embarcação móvel de armazenamento 128, perto da bóia 126, para o transporte para terra. Os sistemas como este podem ser implantados rapidamente 20 em situações de emergência, por exemplo, perto de áreas que experimentam contaminação ou escassez de abastecimento de água.

A Figura 3 ilustra uma configuração alternativa de um sistema DEMWAX™. Os módulos de membrana 132 são suspensos abaixo de uma plataforma flutuante 130. No sistema representado, os módulos 132 produzem a água doce que é depositada num tanque ou tanques de retenção 134 que contêm bombas submersíveis, bombas de poço seco ou similares 136. O interior do tanque de retenção 134 é mantido sob pressão atmosférica por força de um tubo de respiração 138 que se estende entre o tanque de retenção 134 e a plataforma flutuante 130. A água tratada pode ser bombeada para a superfície 140 25 e, em seguida, para um tanque de armazenamento flexível 142. Embora ilustrado com o tanque de armazenamento 142 que flutua sobre o

lado na direção do mar da plataforma 130, o tanque de armazenamento também pode ser localizado em qualquer outra configuração apropriada, por exemplo, sobre o lado na direção da terra da plataforma 130 ou suspenso abaixo da superfície 140 da água. A água tratada é, em 5 seguida, bombeada para terra através de um cano 144 para o tratamento final e distribuição. O equipamento de geração de energia 146 pode ser proporcionado na plataforma flutuante 130 e configurado para proporcionar energia para os outros componentes do sistema ilustrado. Uma bomba 148 também pode ser proporcionada para mover a água 10 para terra a partir do armazenamento. Os componentes, tais como os cabos de suspensão, cabos elétricos, amarras e âncoras não são representados na Figura 3, mas podem ser desejavelmente empregados em sistemas como o representado.

A Figura 4 ilustra outra configuração alternativa de um sistema DEMWAX™, no qual uma coluna 160 é suspensa a partir de uma plataforma flutuante 162. A coluna 160 pode ser configurada para proporcionar o acesso a uma câmara mais baixa 164. A câmara 164 pode ser configurada para abrigar diversos componentes do sistema DEMWAX™, tais como bombas, válvulas, painéis elétricos, equipamentos de instrumentação e outros equipamentos auxiliares 168. A câmara 20 164 pode ser dimensionada grande o suficiente para permitir aos trabalhadores o acesso à câmara para fazer a manutenção do equipamento. Os módulos de membrana 170 podem ser ordenados fora da câmara 164, expostos à água de alimentação que os envolve, mas com 25 partes de permeado em comunicação fluida com os canais de coleta e com o sistema 166. O sistema de coleta 166 pode ser exposto ao interior da câmara 164, que, por sua vez, pode ser exposta à pressão atmosférica através da coluna 160. Por essa configuração, a própria câmara 164 pode funcionar como um “tubo de respiração” para o 30 sistema de coleta 166. Um tubo de respiração separado também pode seguir o lado de fora da coluna para a superfície. O sistema de coleta

166 pode ser ligado de maneira fluida a um cano 172 configurado para o transporte de água tratada para o armazenamento ou para terra. Os sistemas de modalidades preferidas tais como estas são particularmente vantajosos para aplicações maiores e podem empregar maiores cartuchos de membrana, maiores módulos de membrana e/ou maiores arranjos de módulos de membrana do que nas outras modalidades. Estes sistemas vantajosamente oferecem flexibilidade adicional na escolha das bombas, bem como a facilidade de acesso às bombas e a outros equipamentos para efeitos de manutenção. Neste pedido, outros 10 tipos de bombas que não as submersíveis podem ser utilizadas. A coluna 160 e a câmara 164 podem compor-se de um material estruturalmente forte, estável e que não corrói, como concreto, de forma que o sistema pode ficar menos afetado por ondas ou correntes oceânicas. Esse sistema pode, mas não precisa, ser amarrado ao fundo do oceano, 15 como descrito acima, em conexão com a Figura 1.

Embora as descrições acima façam uma referência especial às aplicações oceânicas, sistemas configurados similarmente - tanto de livre flutuação como ancorados - também podem ser utilizados com modalidades configuradas para aplicações em água doce ou água de 20 superfície.

Uma configuração de um módulo de membrana DEMWAX™ 200 utiliza cartuchos de membrana alinhados verticalmente, compostos de unidades ou de elementos de membrana 202 numa configuração de caixa. Uma seção reta simplificada de um deste módulo é mostrada na 25 Figura 5. Os elementos de membrana 202 são preferencialmente espaçados juntos próximos, mas não tão próximo que a tensão superficial prejudique substancialmente a capacidade da gravidade puxar para baixo a água do mar de maior densidade gerada nas superfícies da membrana 204 pelo processo de filtração. O espaçamento mínimo para 30 evitar efeitos significativos de tensão superficial pode depender de vários fatores, que incluem a química da membrana, mas geralmente é de

cerca de 1 mm ou mais, de preferência de cerca de 2 mm ou mais, mais preferencialmente de cerca de 2 mm a cerca de 25 mm e de maior preferência de cerca de 5 mm a cerca de 10 mm. Em certas modalidades, um espaçamento inferior a 1 mm pode ser aceitável ou mesmo 5 desejável. Do mesmo modo, em certas modalidades um espaçamento de mais de 25 mm pode ser aceitável ou mesmo desejável. É geralmente preferido minimizar o espaçamento de forma a maximizar a área superficial da membrana por pegada da instalação.

A Figura 5 não está em escala e exagera as distâncias entre 10 as membranas para fins ilustrativos. O diagrama mostra um total de sete elementos da membrana 202 sobre cada um dos lados de um canal de coleta 206; no entanto, em modalidades preferidas um maior número de elementos pode ser empregado, dependendo da quantidade de água a ser gerada ou de outros fatores. Em modalidades preferidas do 15 sistema DEMWAX™ de água do mar, o módulo contém normalmente centenas destes elementos espaçados de cerca de 6 milímetros (uma polegada) um do outro. O espaçamento entre os elementos da membrana depende de vários fatores que incluem (mas não são limitados a) os sólidos totais dissolvidos em água de alimentação; a altura das 20 membranas e a velocidade das correntes ambientais. Em aplicações de água de superfície ou doce, um espaçamento de cerca de 3 milímetros (cerca de 1/8 de polegada) entre os elementos da membrana pode ser desejavelmente empregado.

Nos sistemas de modalidades preferidas, os módulos e/ou 25 os cartuchos de membrana podem ser arranjados verticalmente ou arranjados em qualquer outra configuração adequada, por exemplo, vertical inclinada para fora ou horizontal, se correntes oceânicas estão presentes. Em certas modalidades, os módulos podem convergir num invólucro rígido onde a água doce flui a partir dos módulos de membrana para os canais coletores. Para proporcionar um funcionamento 30 eficiente desses sistemas de osmose reversa, a área superficial da

membrana que é exposta à água salgada de alta pressão é preferencialmente maximizada por unidade de área de pegada, por exemplo, através da colocação dos elementos de membrana extremamente próximos entre si numa configuração paralela 'de alheta' (por exemplo, 5 semelhante às 'alhetas' num radiador ou trocador de calor).

Alternativamente, uma configuração dos módulos de membrana de modalidades preferidas selecionadas pode ser semelhante ao dos módulos de membrana de osmose reversa convencionais. Por exemplo, representadas na Figura 6 estão quatro lâminas retangulares 10 210(a) a 210 (d). As quatro lâminas que compõem o elemento de membrana de osmose reversa representadas na Figura 6 incluem: uma membrana de poliamida 210(a); um espaçador de permeado 210(b) (por exemplo, para separar as duas lâminas de membrana 210(a) e 210(c) de forma que a água doce possa fluir entre elas); uma segunda membrana 15 de poliamida 210(c); e um espaçador de água de fonte 210(d) (por exemplo, para separar os elementos da membrana um dos outros, de modo que a água salgada bruta possa fluir entre eles). A Figura 6 mostra estas lâminas antes de serem juntadas, enroladas e inseridas num recipiente sob pressão. Os espaçadores 210(b) e 210(d) são 20 porosos para permitir que a água flua através dos mesmos. A água de fonte flui para toda a superfície da membrana e o permeado flui para o sistema de coleta. As dimensões típicas das lâminas que podem ser vantajosamente empregadas são de cerca de 0,91 metro (três pés) ou de 1 metro (três pés e quatro polegadas) por 2,44 metros (oito pés); no 25 entanto, quaisquer dimensões adequadas podem ser empregadas. Pode ser dada preferência para empregar lâminas de membrana de uma largura e/ou comprimento conforme disponível a partir do fabricante da membrana; no entanto, qualquer tamanho apropriado pode ser empregado. As lâminas maiores numa dimensão podem ser obtidas por 30 colagem em conjunto de comprimentos mais estreitos utilizando técnicas como são conhecidas na arte, ou podem ser fabricadas em qualquer

dimensão desejada. É geralmente preferível empregar uma lâmina unitária, já que tais lâminas geralmente exibem maior integridade estrutural do que aquelas preparadas a partir de menores lâminas juntadas numa costura. Do mesmo modo, quando uma membrana é 5 fabricada numa configuração plana de sanduíche, pode ser desejável pregar a membrana (ou qualquer outro constituinte da lâmina empregado no sistema) para formar um lado do sanduíche, minimizando assim o número de selos e/ou ligações e aumentando, portanto, a integridade estrutural do sistema, a menos que a prega infrinja um 10 enfraquecimento das propriedades da membrana. Antes de serem enrolados, três lados destas lâminas (duas lâminas de membrana e o espaçador de permeado) são selados. O quarto lado é deixado aberto e aderido ao cano de permeado para que a água tratada possa ser transferida para o sistema de coleta. Qualquer método adequado de selagem 15 pode ser utilizado (por exemplo, lamination, adesivo, enrugamento, selagem a quente, etc.). As dimensões destes elementos num módulo enrolado em espiral convencional são apresentadas nas Figuras 7A e 7B. As fotografias mostram cortes de um módulo de membrana de osmose reversa que tem doze camadas 211 de membrana enroladas em 20 torno de um tubo de permeado. Num raio de cerca de metade de uma polegada (12,7 milímetros), existem doze camadas das quatro lâminas descritas acima em relação à Figura 6. O espaço de fluxo entre as membranas em tais sistemas convencionais é normalmente muito pequeno, mas as pressões empregadas são elevadas, o que permite uma 25 larga superfície de membrana a ser ajustada num pequeno espaço. Nos cartuchos de membrana de modalidades preferidas, o espaçamento entre os elementos da membrana não é tão pequeno quanto nos sistemas de osmose reversa convencionais, de tal forma que a tensão superficial afeta significativamente o fluxo de água de alimentação entre os 30 elementos de membrana. Em vez disso, o espaçamento é grande o suficiente para que o volume de água de alimentação que flui entre os elementos da membrana seja suficiente para manter a pressão osmótica

no espaço entre as membranas, mas suficientemente pequeno para que uma grande área de superfície de membrana caiba num volume relativamente pequeno.

A Figura 8 mostra uma seção reta de um elemento de membrana 212 de uma unidade convencional de osmose reversa (antes de ser enrolado). Em modalidades preferidas, em vez de membranas de enrolamento em torno de um dispositivo de coleta, as membranas 214(a), 214(c) e o espaçador de permeado 214(b) são ordenados verticalmente, de modo que espaçador de água de fonte 214(d) possa ser substituído por um espaço real, embora, em certas modalidades um polímero ou outra lâmina espaçadora pode ser empregado.

### **Cartuchos de Membrana**

A Figura 9A mostra uma vista em perspectiva de um cartucho de membrana 220 configurado de acordo com uma modalidade preferida. O cartucho 220 inclui um ou mais elementos da membrana 222 dispostos substancialmente dentro de uma caixa que compreende duas paredes laterais 224(a), 224(b). Uma ou mais cavilhas rígidas 226(a) estendem-se entre as paredes laterais 224 na parte superior, inferior e traseira do cartucho 220 para manter o espaçamento das paredes laterais 224 e para proporcionar o apoio estrutural para o cartucho 220. Uma ou mais cavilhas rígidas 226(b) estendem-se entre as paredes laterais 224 na parte frontal do cartucho 220 para executar esta mesma função, bem como para proporcionar o espaço para que o permeado flua através da frente do cartucho 220 (ver, por exemplo, a discussão da Figura 17A, abaixo). As cavilhas 226(a), 226(b) são mostradas estendendo-se para as paredes laterais 224; no entanto, outras configurações são possíveis. As cavilhas 226(a), 226(b) também podem ser configuradas para manter o espaçamento entre os elementos da membrana 222, embora meios de espaçamento separados também possam ser proporcionados para executar esta função. Na extremidade

frontal do cartucho 220, os elementos da membrana 222 são separados por um ou mais espaçadores de selagem 227 que se estendem desde as extremidades de cima dos elementos da membrana 222 até as extremidades de fundo dos elementos 222. Juntos, os espaçadores de selagem 5 227 formam uma parede dianteira 229 do cartucho 220. Os espaçadores de selagem 227 são configurados para proporcionar uma vedação estanque que separa a água de fonte que flui entre os elementos da membrana 222 do permeado que flui através dos elementos de membrana 222 e para o sistema de coleta na extremidade frontal do cartucho 10 220. As paredes laterais 224(a), 224(b) podem, cada uma, incluir um ou mais entalhes 228 ou outros recursos configurados para combinar com uma estrutura correspondente do sistema de coleta, para facilitar a coleta de permeado através das extremidades frontais das unidades de membrana 222. O cartucho de membrana 220 pode ser 15 configurado para suportar a pressão hidrostática à qual será exposto durante a operação e pode compreender materiais adequados para a aplicação específica. O diagrama mostra um total de sete elementos de membrana 222 no cartucho 220; no entanto, em modalidades preferidas um maior ou menor número de elementos pode ser empregado, 20 dependendo da quantidade de água a ser gerada, do espaçamento desejado entre as membranas ou de outros fatores. A Figura 9A não está em escala e exagera as distâncias entre as unidades de membrana 222 para fins ilustrativos (por exemplo, um cartucho de membrana de uma modalidade preferida pode ser de um metro de altura com espaçamento entre os elementos da membrana de apenas 6 milímetros).

As Figuras 9B a 9F ilustram as etapas no processo de fábrico de um cartucho de membrana 220. Para construir um cartucho de membrana, um número de unidades ou elementos da membrana 222 é primeiramente preparado. Cada elemento de membrana 222 30 comprehende duas membranas 234 espaçadas à parte por uma lâmina espaçadora de permeado 236. As extremidades de topo, de fundo e

traseira de cada elemento de membrana 222 são seladas, como indicado pela linha pontilhada 230 na Figura 9B, deixando aberta a borda frontal (o lado direito da Figura 9B) do elemento de membrana 222. A selagem das bordas pode ser realizada utilizando adesivos, métodos de 5 enrugamento, selagem a quente ou qualquer outro método adequado capaz de formar um selo que possa suportar o diferencial de pressão entre o interior e o exterior do elemento de membrana. Um ou mais espaçadores 232 são, em seguida, conectados em torno das bordas do elemento de membrana 222. Os espaçadores 232 podem estender-se 10 para além do perímetro do elemento de membrana 222, como mostrado na Figura 9B ou podem fazer fronteira com o perímetro. Os espaçadores 232 podem opcionalmente incluir um ou mais entalhes, ranhuras ou aberturas configurados para receber uma cavilha que se estende através de uma série de elementos 222. Evidentemente, os espaçadores 15 232 podem ter qualquer outra configuração adequada para o seu propósito pretendido. Na extremidade frontal do elemento de membrana 222, um espaçador de selagem 227 é anexado, que se estende ao longo da altura do elemento 222. Os espaçadores 232 e o espaçador de selagem 227 podem ser conectados ou de outra forma acoplados ao 20 elemento de membrana 222 usando adesivo ou qualquer outro meio adequado. Uma vez que os espaçadores 232 e os espaçadores de selagem 227 estão conectados, outro elemento de membrana 222 é conectado aos espaçadores 232 e ao espaçador de selagem 227. O processo é repetido até que um cartucho seja construído com o número 25 desejado de elementos da membrana 222.

As Figuras 9C a 9E mostram várias configurações de espaçadores numa pilha de elementos da membrana 222. A Figura 9C mostra uma seção reta de uma pilha de elementos da membrana 222 que estão espaçados à parte por espaçadores 232. Os espaçadores 232 30 estendem-se para além das bordas dos elementos da membrana 222 para enrolar-se em torno de uma cavilha contínua 238 que abrange a

série de elementos da membrana 222 no cartucho. Juntos, os espaçadores 232 e a cavilha 238 formam uma estrutura de reforço que abrange a série de elementos da membrana 222 e que pode servir como um componente estrutural do cartucho de membrana (ver, por exemplo, as 5 cavilhas 226(a) na Figura 9A). A Figura 9D mostra uma modalidade alternativa, na qual os espaçadores 240 estendem-se para além das bordas dos elemento de membrana 222. Os espaçadores 240 podem ser sucados ou entalhados para receber uma cavilha 242 que abrange a série de elementos da membrana 222, com a cavilha 242 ajustando-se 10 nas ranhuras nos espaçadores 240. A cavilha 242 pode compreender, por exemplo, um material polimérico, compósitos ou metal. A Figura 9E mostra ainda outra modalidade, que inclui uma cavilha tipo pente 244, configurada para receber de perto cada unidade de membrana 222. Em tal configuração, o espaçamento das unidades de membrana 15 222 é mantido pelos dentes da cavilha 244, sem a necessidade de espaçadores adicionais. Para fabricar um cartucho desta configuração, uma série de unidades de membrana 222 pode ser inserida em cada espaço entre os dentes da cavilha 244. Os adesivos ou outros meios de conexão adequados podem ser opcionalmente proporcionados nestes 20 espaços para garantir a adequada conexão da cavilha 244 com as unidades 222. Além disso, embora ilustradas com espaçadores 232, que se estendem para a área entre as membranas 234, as modalidades também podem empregar espaçadores que não fazem isso. Por exemplo, as modalidades podem incluir elementos da membrana que sejam 25 selados (nas bordas superior, traseira e inferior) por meio de membros de selagem que se estendem para além da área da membrana. Nessas modalidades, os separadores poderão ser dispostos entre aquelas partes dos membros de selagem que se estendem para além da área da membrana, e não entre as próprias membranas.

30 A parede frontal 229 do cartucho de membrana 220 é ilustrada em mais detalhe na Figura 9F. Conforme mostrado na figura, os

espaçadores de selagem 227 são dispostos no meio de cada unidade de membrana 222. Os espaçadores de selagem 227 estendem-se ao longo do comprimento das unidades de membrana 222 (ver Figura 9B) e são configurados para separar a água de fonte que flui no meio das unidades de membrana 222, como indicado pela seta 231, a partir do permeado que flui através dos espaçadores de permeado 236 e no canal de coleta, como indicado pela seta 233. Os espaçadores de selagem 227 não interferem substancialmente com o fluxo de permeado entre os elementos de membrana 222. Os espaçadores de selagem 227 podem ser aderidos às lâminas de membrana 234 usando adesivo ou qualquer outro método adequado.

As pegadas dos sistemas de modalidades preferidas são uma função da capacidade desejada, da altura da membrana e do espaço entre os elementos da membrana. Para aplicações de água do mar, assumindo que os elementos da membrana estão espaçados de 15 6,35 milímetros (1/4 de uma polegada) e as membranas são de 1 metro (40 polegadas) de altura para cada 93 metros quadrados (1.000 pés quadrados) de área de pegada do cartucho de membrana, o sistema pode produzir cerca de 1,6 milhões de litros por dia (cerca de 400.000 galões por dia), pressupondo uma taxa de fluxo de cerca de 61 litros por 20 metro quadrado de membrana por dia (cerca de 1,5 gpf). Os módulos de membrana podem ser empilhados em profundidade para reduzir ainda mais a pegada. Se os sistemas de membrana podem ser implantados numa área onde as correntes de água são significativas, os 25 módulos podem ser empilhados mais proximamente do que naquelas áreas onde as correntes de água são mínimas, à medida que as correntes significativas facilitarão a mistura e o movimento do concentrado que sai do módulo superior, equalizando, assim, a salinidade com a água salgada circundante dentro de uma curta distância abaixo do 30 módulo superior. Na ausência de correntes significativas, pode ser desejável proporcionar um sistema para facilitar a mistura e o movi-

mento de água salgada entre as membranas, por exemplo, chafarizes, jatos ou algo do gênero.

Qualquer configuração de membrana adequada pode ser empregada nos sistemas de modalidades preferidas. Por exemplo, uma 5 desta configuração emprega um coletor central com unidades ou cartuchos de membrana que aderem ao coletor de ambos os lados. Outra configuração emprega unidades de membrana em círculos concêntricos com coletores radiais que movem a água potável para o coletor central.

10

### **Profundidade dos Módulos de Membrana**

Em aplicações de água salgada, os módulos de membrana de modalidades preferidas são preferencialmente submersos a profundidades suficientes para produzir a água de permeado desejada por pressão ambiental da água salgada contra a membrana, sem a aplicação de pressão adicional. Essas profundidades são normalmente de pelo menos cerca de 194 metros, preferencialmente de pelo menos cerca de 259 metros. No entanto, dependendo da aplicação, os sistemas de modalidades preferidas podem ser implantados em outras profundidades. A profundidade de 259 metros é preferida para osmose reversa de 15 água salgada para produzir água potável a partir da água do mar de salinidade média (por exemplo, cerca de 35.000 mg/L). Se um nível de salobridade é permitido (por exemplo, para a água usada para irrigação ou processos industriais), uma menor profundidade pode ser empregada. Por exemplo, a produção de água salobra adequada para irrigação 20 agrícola pode ser alcançada com certas membranas submersas a uma profundidade de cerca de 100 metros até cerca de 247 metros. Um nível aceitável de salobridade pode ser selecionado por selecionar o tipo (por exemplo, química) de membrana e a profundidade do módulo de membrana, dependendo da salinidade da água salgada circundante. Os 25 sistemas de modalidades preferidas que utilizam membranas de nano- 30

filtração, por exemplo, podem ser implantados no oceano a cerca de 43 metros de profundidade para filtrar cerca de 20% da salinidade da água de alimentação e também para remover cálcio e muitos outros constituintes indesejáveis. Estes sistemas podem ser empregados como sistemas 5 *offshore* de pré-tratamento para instalações de dessalinização em terra, ampliando a capacidade das instalações existentes e reduzindo a manutenção e também os requisitos de energia global em cerca de 50% em relação às instalações padrões de osmose reversa em terra. Os sistemas de modalidades preferidas que utilizam membranas de ultrafiltração (UF) e/ou de microfiltração (MF) também podem ser empregados 10 em conexão com instalações de dessalinização convencionais ou em aplicações industriais que não estão próximas dos oceanos ou de outros corpos d'água de maiores profundidades. Os sistemas de modalidades preferidas podem ser configurados para uso com aplicações industriais 15 onde a presença de cálcio ou de outros constituintes indesejáveis apresenta problemas (por exemplo, corrosão ou acúmulo em escala), tais como aplicações em resfriamento de instalação de energia. Membranas de RO e NF adequadas para uso com modalidades preferidas estão disponíveis comercialmente pela Dow Water Solutions, Midland, 20 MI e pela Saehan Industries, Inc., Coréia do Sul.

Em certas modalidades, os sistemas podem ser configurados para implantação em profundidades rasas. Por exemplo, as modalidades podem ser implantadas em águas oceânicas rasas (por exemplo, a uma profundidade de cerca de 7 metros) e utilizadas como sistemas 25 de admissão de água oceânica de baixa velocidade, por exemplo, para produzir água de resfriamento para uma instalação de energia em terra. Esses sistemas de admissão de baixa velocidade evitam vantajosamente prejudicar a vida marinha. Estes sistemas também podem empregar tecidos ou telas de filtro em lugar de membranas menos porosas.

30 Além disso, os sistemas de modalidades preferidas que empregam membranas de microfiltração, de ultrafiltração ou de nanofiltration

ção podem ser posicionados em águas superficiais e em reservatórios em profundidades tão rasas como 6 metros e podem ser configurados para filtrar as bactérias, vírus, matéria orgânica e compostos inorgânicos da água de fonte. Por exemplo, os sistemas que empregam membranas de nanofiltração podem ser posicionados a uma profundidade de cerca de 6 até 30 metros ou em qualquer outra profundidade adequada, dependendo do sólidos dissolvidos totais a serem removidos e da qualidade desejada da água tratada. Os sistemas de modalidades preferidas que incluem membranas de microfiltração, de ultrafiltração ou de nanofiltração também podem ser adaptados para produzir água limpa a partir de um abastecimento de água contaminada e configurados para a colocação em poços subterrâneos. Em fontes de água doce com níveis muito baixos de sólidos dissolvidos, a pressão osmótica da água de fonte é um fator menos importante no processo de filtração (em geral, todos os 100 mg/L de sólidos dissolvidos totais na água de fonte requerem cerca de 6,9 kPa (1 libra por polegada quadrada) de pressão). Consequentemente, as perdas de pressão transmembrana das membranas tornam-se mais dominantes na determinação da profundidade exigida para o nível desejado de tratamento.

Em certas modalidades, uma coluna d'água induzida pode ser usada para proporcionar pressão para impulsionar o processo de filtração. Quando um riacho ou rio não tem a profundidade necessária, ele pode ser desviado para um reservatório artificial semelhante a uma piscina grande, funda. O sistema DEMWAX™ pode ser situado na piscina. A piscina mantém a natureza de fluxo da fonte de água original por escoamento do excesso de água de volta para o rio ou córrego existente ou para um novo local (por exemplo, desviada para fins de irrigação). Assim, as impurezas filtradas pelas membranas podem permanecer onde estavam naturalmente, por exemplo, no rio ou riacho. A quantidade de impurezas devolvidas ao rio ou riacho é normalmente suficientemente pequena, de tal forma que o seu retorno não altera

significativamente a química do corpo de água do seu estado natural. Os sistemas utilizados em tais aplicações tipicamente necessitam desviar um excesso de água; porém, o fluxo pela gravidade da fonte de água original normalmente elimina a necessidade de muita (se houver) 5 energia de bombeamento artificial. Os módulos de membrana também podem estar situados dentro de recipientes ou tanques de pressão. A coluna d'água pode ser induzida por bombeamento da água de fonte para o tanque. No caso dos riachos que têm mudanças de elevação significativa (área montanhosa), a água pode ser direcionada para o 10 fluxo na direção de um tanque de alimentação situado numa altura pré-selecionada acima do tanque de pressão com os módulos, para induzir a altura de coluna d'água desejada.

É preferível situar o módulo DEMWAX™ a uma distância suficiente do fundo da fonte de água de modo a evitar a incrustação da 15 membrana por limo, sedimentos e outros sólidos suspensos tipicamente presentes em maior concentração perto do fundo de corpos d'água. Preferencialmente, o módulo DEMWAX™ de água salgada situa-se pelo menos a duzentos pés do fundo do oceano, no entanto, em certas modalidades ele pode ser aceitável para situar o módulo DEMWAX™ em 20 profundidades próximas ao fundo do oceano.

Do mesmo modo, se é desejável empregar o sistema num local onde o oceano é raso, de forma que uma profundidade de 259 metros não possa ser obtida (por exemplo, alguns locais próximos à costa), nestas modalidades preferidas um sistema de duas passagens 25 pode ser empregado. Pela submersão de uma membrana de nanofiltração em menores profundidades (por exemplo, cerca de 152 metros), os sistemas de modalidades preferidas podem produzir água salobra com cerca de 7.000 ppm de salinidade. Essa água salobra pode então ser submetida a outro processo de osmose reversa (por exemplo, em terra, 30 sobre uma plataforma *offshore* ou em qualquer outro local adequado) a um custo operacional substancialmente inferior aos dos sistemas de

osmose reversa convencionais para obter água potável. Alternativamente, o fundo do corpo de água pode ser escavado para proporcionar uma cavidade, câmara ou passagem que permita situar o módulo de membrana numa profundidade desejada.

5 Em modalidades preferidas, a primeira passagem de um processo de duas passagens utiliza um sistema DEMWAX™ com membranas de nanofiltração para produzir água com uma adequada redução na salinidade. A água de salinidade reduzida é bombeada para terra, onde é submetida a um processo de filtração de segunda passagem para reduzir as concentrações de íons dissolvidos para aquelas 10 características de níveis potáveis com uma taxa de retorno aproximada a 80%. O processo de filtração de segunda passagem pode empregar um sistema de membrana convencional de osmose reversa enrolado em espiral ou de nanofiltração. A salmoura gerada por esse processo é tão 15 salina ou ligeiramente menos salina do que a água salgada original. Dessa forma, ela pode ser eliminada (por exemplo, de volta para o mar), sem as preocupações ambientais associadas à salmoura mais altamente salina gerada em sistemas convencionais de osmose reversa baseados em terra, que pode ser quase duas vezes mais salina do que a água 20 salgada original. O processo de duas passagens também é energeticamente mais eficiente do que a dessalinização baseada em terra convencional. Ele só consome cerca de 2 kWh por metro cúbico (cerca de 7,5 kWh por kgal) no total para as duas passagens do processo (uma primeira passagem através de um sistema DEMWAX™ numa profundidade de 150 metros (500 pés) e a cerca de dez quilômetros (seis milhas) 25 da costa, e uma segunda passagem em terra num processo de dessalinização convencional), em contraste com as instalações do estado da arte de osmose reversa em terra que consomem cerca de 4,2 kWh por metro cúbico (mais de 16 kWh por kgal) ou mais. Esse sistema pode 30 ser usado para aproveitar, por exemplo, o Mar Vermelho, para produzir água de alimentação mais limpa (isto é, água de alimentação de menor

salinidade e de menor concentração de outros constituintes indesejáveis, tais como cálcio) para um existente sistema de dessalinização de RO em terra convencional, melhorando a eficiência e diminuindo os custos de manutenção do sistema.

5 Diferentes águas salgadas possuem diferentes salinidades (por exemplo, a salinidade do Mar Vermelho (40.000 ppm) é superior à do Atlântico Norte (37.900 ppm), que por sua vez é superior à do Mar Negro (20.000 ppm)). O teor de sal dos oceanos abertos, isentos de influências de terra, raramente é inferior a 33.000 ppm e quase nunca 10 mais do que 38.000 ppm. Os métodos de modalidades preferidas podem ser ajustados ou modificados para acomodar água salgada de diferentes salinidades. Por exemplo, a profundidade preferida de submersão dos sistemas DEMWAX™ de modalidades preferidas é maior em água mais salina (por exemplo, no Mar Vermelho), e é menor em 15 água menos salina (por exemplo, no Mar Negro). As profundidades aqui referidas são aquelas preferidas para a água de salinidade média (33.000 a 38.000 ppm, de preferência cerca de 35.000 ppm), e podem ser ajustadas para acomodar água de maior ou menor salinidade.

### **Algoritmo de Espaçamento**

20 Os elementos de membrana estão preferencialmente espaçados a uma distância que permite o livre fluxo de água bruta entre os mesmos e, no caso de sólidos altamente dissolvidos (ou seja, água salgada), que mantém aproximadamente a pressão osmótica da água de alimentação animal em todo o espaço entre os elementos da membrana. 25 O fluxo de permeado, de alimentação e de concentrado gerados (por exemplo, salmoura), num módulo de membrana DEMWAX™ de uma modalidade preferida é representado na Figura 10, que mostra dois elementos da membrana 300 com espaços à parte 300. Cada elemento de membrana 300 compreende duas lâminas de membrana 302 espaçadas 30 à parte por um espaçador de permeado 304. Conforme discutido

acima, o espaço permitido para o fluxo de água de fonte entre as membranas em recipientes de pressão de dessalinização convencionais é extremamente pequeno. Os sistemas de modalidades preferidas preferencialmente empregam espaçamentos maiores para facilitar que a 5 água salgada ou outra água de fonte flua naturalmente para as superfícies da membrana 302 que usam gravidade para puxar a água salgada de maior densidade gerada na superfície para baixo, conforme indicado pelas setas 306, puxando, assim, a água salgada de salinidade ambiente de cima. Quanto mais rápida a corrente à qual as membranas 302 10 estão expostas, mais rápido o concentrado é eliminado, permitindo maiores volumes de água de alimentação para entrar em contato com as membranas 302. A seta 308 indica a água permeada que penetra a membrana. Os sistemas de modalidades preferidas também podem ser configurados para operar em água sem corrente, utilizando o fluxo de 15 convenção gerado pelo concentrado mais denso puxado para baixo pela gravidade.

Para maximizar a produtividade da instalação por unidade de ‘pegada’ de instalação, o espaçamento mais próximo é normalmente preferível. Foi desenvolvido um algoritmo que leva em consideração 20 diversos parâmetros para determinar o espaçamento preferido dos elementos da membrana, dependendo das condições presentes.

As variáveis exógenas utilizadas para determinar o espaçamento preferido incluem a altura do elemento de membrana, a velocidade do concentrado, o fluxo, o retorno e o volume do espaçador de 25 água de fonte (se houver). A distância entre o topo e o fundo do elemento de membrana determina quanto longe a salmoura cai antes de encontrar a água do mar regular. Com nenhuma mudança na velocidade, no fluxo ou no retorno, um elemento mais alto é preferencialmente mais espaçado de um elemento vizinho do que um elemento menor. Como a 30 água potável penetra na membrana, a salmoura restante é mais pesada devido à sua maior salinidade e a gravidade faz com que a salmoura

mais pesada caia, puxando mais água salgada original para baixo a partir do topo do sistema. A quantidade de água doce que penetra cada unidade de área de superfície de membrana varia em função do fluxo do sistema. O fluxo é tipicamente medido em galões de permeado por dia por pé quadrado de área de superfície de membrana (ou, alternativamente, em litros de permeado por dia por metro quadrado de área de superfície de membrana), e quanto maior o fluxo, menos superfície de membrana é exigida por unidade de capacidade de permeado. As taxas de fluxo podem variar de acordo com os materiais da membrana, a 5 salinidade da água salgada e a profundidade (pressão). A porcentagem de água que é exposta às membranas que realmente penetra é referida como a taxa de 'retorno'. Embora as altas taxas de retorno (na ordem dos 30% a 50% ou mais) sejam normalmente críticas para a viabilidade comercial em instalações convencionais de dessalinização em terra, elas 10 são normalmente apenas de menor importância nos sistemas de modalidades preferidas. Numa taxa de retorno de 50% para uma instalação em terra, o sistema deve tratar, pressurizar ou de outro modo processar o dobro do volume de água salgada em relação à água doce produzida. Os sistemas de modalidades preferidas não requerem pressão produzi- 15 da mecanicamente, pré-tratamento da água de alimentação ou eliminação de salmoura, como em sistemas convencionais de dessalinização e de tratamento de água baseados em terra, assim, uma elevada taxa de retorno é de menor importância. Segundo algumas modalidades, uma menor taxa de retorno é desejável, uma vez que uma maior taxa de 20 retorno resulta em água de alimentação de maior salinidade entrando em contato com as partes mais inferiores dos elementos de membrana. A taxa de retorno estimada para os sistemas DEMWAX™ de água salgada de modalidades preferidas é de cerca de dois por cento (2%). Quanto maior o retorno, menos água deve ser exposta à superfície da 25 membrana. Se um espaçador de água bruta é utilizado, o seu volume deve ser considerado na determinação do espaçamento dos elementos 30 da membrana.

O algoritmo de espaçamento de membrana empregado na configuração dos sistemas selecionados de modalidades preferidas é especificado abaixo. Embora os espaçamentos de membrana, de acordo com este algoritmo, sejam particularmente preferidos, qualquer espaçamento adequado pode ser empregado.

$$S = \frac{FH}{kRV}$$

onde S é o espaço entre os elementos da membrana medido em milímetros (ou polegadas); F é o fluxo do sistema medido em litros por metro quadrado por dia (ou galões por pé quadrado de área de superfície de membrana por dia), H é a altura dos elementos da membrana em metros (ou polegadas), R é o retorno (% do fluxo de água exposta às membranas); V é a velocidade de salmoura que cai entre os elementos, medida em metros por minuto (ou pés por minuto); e k é uma constante que é igual a 720 (quando o fluxo é medido em litros por metro quadrado por dia, a altura é medida em metros e a velocidade é medida em metros por minuto) ou 5.386 (quando o fluxo é medido em galões por pé quadrado por dia e a altura é medida em polegadas e a velocidade é medida em pés por minuto).

Dessa forma, para um elemento de membrana de 36 polegadas (na altura) com um retorno percentual de dois por cento e fluxo de dois galões por pé quadrado por dia com salmoura caindo a três pés por minuto, um espaçamento preferido é de 0,223 polegadas.

$$0,023 = \frac{2 \times 36}{5.386 \times 0,02 \times 3}$$

Se for utilizado um espaçador de água bruta, por exemplo, para manter a integridade estrutural, quando as condições ambientais (correntes de água, etc.) resultam em perturbação das membranas, o volume do espaçador preferencialmente aumenta proporcionalmente o

espaçamento entre os elementos de membrana. Por exemplo, se um espaçador ocupa 20% do volume entre os elementos da membrana, a distância entre as membranas é aumentada de tal modo que o volume entre as membranas é aumentado em 20%.

5

### **Tubo de Respiração**

#### **e Recipiente de Retenção**

A fim de que a água flua através das membranas, um diferencial de pressão através das membranas deve ser mantido. Preferencialmente, isto é realizado por evacuação do recipiente de retenção com 10 uma bomba submersível de bomba de poço seco e pela exposição do recipiente à pressão atmosférica, utilizando um tubo de respiração. O tamanho aproximado preferido de um tubo de respiração para uso num módulo de dezenove mil metros cúbicos (cinco milhões de galões) por dia é de 12,7 centímetros (cinco polegadas) de diâmetro; no entanto, 15 podem ser empregados outros tamanhos apropriados. O tubo de respiração pode ser fabricado a partir de qualquer material adequado. Por exemplo, o tubo de respiração pode ser construído a partir de um polímero, metal, compósito, concreto ou similares. O tubo de respiração é configurado para suportar a pressão hidrostática a que está 20 exposto durante a operação, sem entrar em colapso. A integridade estrutural pode ser proporcionada pelo material em si, ou através da utilização de membros de reforço (viga no interior ou no exterior do tubo, separadores no interior do tubo ou similares).

Numa modalidade preferida, um tubo de respiração está ligado ao recipiente de retenção debaixo d'água. Uma ou mais bombas submersíveis, bombas de poço seco ou similares podem ser situadas no recipiente de retenção, no qual pode ser proporcionado um encanamento para levar a água ao seu destino pretendido (por exemplo, um recipiente de maior armazenamento). O tamanho preferido do recipiente de 25 retenção é uma função dos requisitos operacionais da bomba.

### **Energia de Bombeamento**

Os sistemas de modalidades preferidas utilizam eficientemente a pressão hidrostática em profundidade em vez de bombas, para alimentar o processo de filtração por osmose reversa e, portanto, não 5 requerem a grande quantidade de energia necessária em sistemas de dessalinização convencionais baseados em terra. Os sistemas de modalidades preferidas empregam sistemas de bombeamento para bombear a água tratada gerada para a superfície e depois para terra, mas essas necessidades energéticas são substancialmente menores do 10 que aquelas exigidas para dessalinizar a água em sistemas baseados em terra. Em virtude da pressão de carga em profundidade, muito mais energia é geralmente necessária para bombear a água para a superfície do que para bombear a água da superfície para terra. Para os sistemas 15 de modalidades preferidas que empregam as membranas de poliamida de osmose reversa convencionais, uma profundidade de operação de 850 pés é utilizada para produzir água potável a partir de água do mar. Para outras químicas de membrana ou quando purifica-se água de 20 diferentes salinidades (água doce, água salobra, água extremamente salina), menores profundidades ou maiores profundidades podem ser necessárias para obter água do mesmo teor reduzido de sal.

As Figuras 11A a 11C ilustram diversas configurações para o bombeamento de permeado para terra a partir de um sistema DEMWAX™ *offshore*. A Figura 11A mostra um sistema DEMWAX™ 700 suspenso em profundidade. O sistema 700 compreende um ou mais 25 módulos de membrana (ou arranjos de módulos) e um sistema de coleta exposto à pressão atmosférica através de um tubo de respiração, como descrito aqui. O sistema 700 está ligado a um cano de permeado 702, que pode incluir partes flexíveis e/ou rígidas. O cano de permeado 702 pode estender-se a partir do sistema suspenso 700 para baixo até o 30 fundo do oceano e, em seguida, percorrer o fundo do oceano e para cima até terra. O sistema suspenso 700 também inclui uma bomba

que pode incluir partes flexíveis e/ou rígidas. O cano de permeado 702 pode estender-se a partir do sistema suspenso 700 para baixo até o fundo do oceano e, em seguida, percorrer o fundo do oceano e para cima até terra. O sistema suspenso 700 também inclui uma bomba 704 configurada para levar o permeado através do cano 702 e para cima até a costa. Porque o sistema de coleta no sistema suspenso 700 é mantido sob pressão atmosférica, a pressão de carga que a bomba 704 deve ultrapassar para bombear o permeado para cima até a terra nesta configuração é uma função da distância vertical entre o sistema suspenso 700, da elevação da descarga do cano de permeado e da perda de carga de sistema do encanamento que conecta o sistema de tratamento à costa 706.

A Figura 11B mostra outro sistema DEMWAX™ 720 suspenso em profundidade. O sistema 720 inclui um ou mais módulos de membrana e um sistema de coleta expostos à pressão atmosférica através de um tubo de respiração, como descrito aqui. O sistema 720 é conectado a um cano de permeado 702, que pode compreender partes flexíveis e/ou rígidas. O cano de permeado 702 pode estender-se para baixo a partir do sistema suspenso 720 até o fundo do oceano e, em seguida, percorrer o fundo do oceano e parte do caminho para cima até a costa. O cano de permeado 702 entra num túnel 726 numa localização verticalmente abaixo do sistema suspenso 720. Porque o sistema de coleta do sistema suspenso 720 é mantido sob pressão atmosférica, e porque o bombeamento é feito a partir de uma localização verticalmente abaixo do sistema suspenso 720, o sistema suspenso 720 não necessita incluir uma bomba de permeado para transferir o permeado para terra. Uma bomba 724 pode ser, em vez disso, proporcionada onde o cano de permeado 702 entra no túnel, para bombear o permeado para cima até a superfície 728.

A Figura 11C mostra outro sistema DEMWAX™ 740 suspenso em profundidade. O sistema 740 inclui um ou mais módulos de

membrana e um sistema de coleta expostos à pressão atmosférica através de um tubo de respiração, como descrito aqui. O sistema 740 é conectado a um cano de permeado 742, que pode incluir partes flexíveis e/ou rígidas. O cano de permeado 742 pode estender-se para baixo a 5 partir do sistema suspenso 700 até o fundo do oceano e, em seguida, percorrer o fundo do oceano e parte do caminho para cima até a costa. O cano de permeado 742 entra na terra numa localização verticalmente abaixo do sistema suspenso 740, no topo de um túnel 744 que conduz a um poço molhado 745. Uma coluna de acesso 746 estende-se a partir 10 da superfície da terra 750 para baixo até o poço molhado 745. Porque o sistema de coleta do sistema suspenso 740 está em comunicação com a pressão atmosférica, e porque o cano de permeado 742 termina numa localização verticalmente abaixo do sistema suspenso 740, o sistema suspenso 740 não necessita incluir uma bomba de permeado para 15 transferir o permeado para terra. Além disso, porque o cano de permeado 742 entra na terra num local verticalmente acima do poço 745, nenhuma bomba é necessária no ponto de entrada em terra. O sistema 740 precisa somente ser suspenso a uma curta distância (por exemplo, um ou dois pés (cerca de um terço de um metro)) verticalmente acima 20 do poço 745 para o transporte de permeado para terra sem o uso de uma bomba. Uma bomba 748 pode, em vez disso, ser proporcionada no poço molhado 745 para bombear o permeado para cima até a superfície 750 através da coluna de acesso 746. Uma vantagem deste sistema é 25 que todas as partes móveis (ou seja, as bombas) são mais facilmente acessíveis em terra ou abaixo da terra do que no mar e em profundidade.

Como discutido acima, os sistemas de modalidades preferidas oferecem economias substanciais de energia em relação aos convencionais sistemas de dessalinização de água baseados em terra 30 salgada. Por exemplo, a energia para levar água de 850 metros abaixo do mar para a superfície e a energia para bombear a água seis milhas

para terra são calculadas como se segue, e mostra que a grande maioria da exigência de energia é para levar a água para a superfície:

$$HP = \frac{HF}{pE}$$

onde HP = Potência; H = Carga Dinâmica Total em pés; F = fluxo de água em galões por minuto; p = constante de bombeamento = 3.960 (para altura em pés e fluxo em gpm) e E = eficiência da bomba (assumida em 85%, o que é típico das grandes bombas).

Para bombear cinco milhões de galões de água potável por dia (ou 3.472 gpm) (cerca de 18,9 milhões de litros, ou 13.144 litros por hora) para a superfície, a potência é calculada como se segue:

$$HP = \frac{850\text{pés} \times 3.472\text{gpm}}{3.960 \times 0,85} = 876,8$$

Como a indústria de dessalinização tipicamente compara as eficiências do sistema usando as unidades de kWh por metro cúbico (kilowatts-hora por mil galões), a potência é convertida para kilowatts utilizando o fator de conversão de 0,745 kilowatts por unidade de cavalos força:

$$876,8 \text{ cavalos força} \times 0,745 = 653,2 \text{ kilowatts}$$

Assim, 653,2 kilowatts alimentarão uma bomba com a capacidade de 5 milhões de galões por dia, 18,9 milhões de litros por dia ou 13.144 litros por minuto (3.472 galões por minuto). A energia consumida durante esse período é 15.677 kilowatts-hora. A razão da necessidade de energia para a água bombeada produz um valor de 3,14 kilowatts-hora por mil galões.

Para bombear a água para terra, a necessidade de energia é calculada da seguinte forma. A mesma fórmula como acima é utilizada, mas um valor de projeto de 1,83 metros (seis pés) de perda de carga de

5 pressão para cada 305 metros (1.000 pés) de distância horizontal é assumido. Assumindo um percurso de seis milhas (9.656 metros), que é equivalente a 58 metros (190 pés) de perda de carga (9.656 metros ÷ 305 metros) x 1,83 m = 58 metros) (5,28 mil pés por milha x seis milhas x seis pés = 190 pés). Partindo destes pressupostos, um adicional de 146 kilowatts (196 cavalos força) de potência de bombeamento é necessário para bombear a água para terra.

$$HP = \frac{190\text{pés} \times 3.472\text{gpm}}{3.960 \times 0,85} = 196$$

10 A conversão de potência em energia gera uma necessidade de 146 kilowatts de energia. Uma carga de 146 kilowatts por 24 horas (3,506 megawatts-hora divididos pelos cinco milhões de galões) produz um consumo de energia de 0,70 kilowatt-hora por mil galões.

15 Além da energia de bombeamento, os sistemas de modalidades preferidas normalmente têm cargas de energia estacionária e de manutenção estimadas em 5% das necessidades de energia de bombeamento. Por exemplo, o uso total de energia para um sistema de modalidades preferidas é proporcionado na Tabela 1.

**Tabela 1**

<b>Utilização de Energia</b>	<b>kWh por Metros Cúbicos (kilowatts-hora por Mil Galões)</b>
Energia de bombeamento para a superfície	3,14 (0,83)
Energia de bombeamento para terra (6 milhas)	0,70 (0,18)
Energia auxiliar (5% da energia de bombeamento)	0,19 (0,05)
<b>Utilização total de energia</b>	<b>4,03 (1,06)</b>

Esta necessidade total de energia de apenas cerca de 1,1 kWh por metro cúbico (quatro kilowatts-hora por mil galões) é substancialmente menor que a dos sistemas de osmose reversa do estado da arte, que normalmente consomem mais de 4 kWh por metro cúbico (mais de dezesseis kilowatts-hora por mil galões). Por exemplo, a instalação de dessalinização de Tuas foi concluída em Singapura em 2005 e seu empreiteiro a considera como “uma das mais eficientes do mundo”, necessitando apenas cerca de 4,3 kWh por metro cúbico (16,2 kilowatts-hora por mil galões). Mesmo fontes de água convencionais exigem muitas vezes muito mais energia do que o sistema DEMWAX™ para populações costeiras. A Tabela 2 proporciona dados que demonstram a eficiência energética superior dos sistemas de modalidades preferidas comparados àqueles da instalação de dessalinização de Tuas e de dois importantes recursos hídricos para uma conhecida região costeira árida.

**Tabela 2**

<b>Recurso Hídrico</b>	<b>Kilowatts-hora por Mil Galões (kWh por Metros Cúbicos)</b>
Projeto Hídrico do Estado da Califórnia	9,2 a 13,2 (2,4 a 3,5)
Aqueduto do Rio Colorado	6,1 (1,6)
Instalação de Dessalinização de Tuas	16,2 (4,3)
Sistema de Poço Marinho DEMWAX™	4,0 (1,1)

**Vantagens do Sistema DEMWAX™**

O sistema DEMWAX™ oferece inúmeras vantagens de custo sobre os recursos hídricos convencionais e, mais especificamente, sobre as tecnologias convencionais de tratamento de água e de dessalinização. Por exemplo, os sistemas de osmose reversa convencionais exigem pressões de funcionamento relativamente elevadas (da ordem de 5.516 kPa (800 psi)) para produzir água potável. O sistema DEMWAX™ não exige energia para pressurizar a água de alimentação. Como a pressão natural em profundidade é utilizada no sistema DEMWAX™, não há necessidade de bombas para criá-la artificialmente.

Nenhuma manipulação de água de fonte como em sistemas convencionais de purificação de água ou de dessalinização é necessária nos sistemas de modalidades preferidas. Como os processos de dessalinização convencionais admitem água de alimentação e, em seguida, eliminam salmoura que têm o dobro da salinidade, os componentes dos sistemas devem ser projetados para superar os efeitos corrosivos da água salgada e da salmoura. Os sistemas de modalidades preferidas não exigem que qualquer água de alimentação seja manipulada.

Apenas as membranas e os invólucros são expostos à água de alimentação, assim, os componentes são muito menos dispendiosos para o fabrico porque materiais especiais resistentes à corrosão não são exigidos para o transporte de água de fonte e de salmoura ou concentrado, eles exigem menos manutenção e eles têm uma vida útil mais longa. Em instalações de dessalinização convencionais, os materiais utilizados para superar o efeito corrosivo da exposição ao sal são muito mais caros de fabricar do que os materiais utilizados nos sistemas de modalidades preferidas. Além disso, em virtude do rendimento aproximado de 50% dos convencionais sistemas de osmose reversa, dois galões de água salgada devem ser manipulados para cada galão de água doce produzida. Nos sistemas de modalidades preferidas, por comparação, apenas o simples galão de água doce deve ser manipulado.

Nenhum sistema especial de admissão e de pré-tratamento é empregado nos sistemas de modalidades preferidas. Os sistemas de admissão de água salgada em instalações de osmose reversa convencionais estão perto da costa e da superfície e, portanto, admitem muitas matérias suspensas que incluem material orgânico. Este material contribui para a incrustação da membrana e a compactação que exige manutenção e para a redução na vida útil da membrana. Em certas modalidades, as membranas DEMWAX™ são implantadas em profundidades onde a luz reduzida minimiza o crescimento orgânico. Isto também evita a necessidade de sistemas de pré-tratamento que filtram os maiores sólidos e os materiais orgânicos.

Nenhum sistema de eliminação de salmoura ou de concentrado é empregado nos sistemas de modalidades preferidas operados em profundidade para produzir água tratada. Quando os sistemas de modalidades preferidas são empregados para gerar água salobra a uma profundidade mais rasa para ser depois purificada, num segundo processo, a geração de salmoura é significativamente menor do que num processo de dessalinização convencional. Da mesma forma,

quando os sistemas de modalidades preferidas são empregados para gerar água potável em profundidade num processo de uma etapa (ou mesmo num processo de duas ou mais etapas), a geração de salmoura é também significativamente menor. A eliminação da salmoura subproduto de processos convencionais de osmose inversa tem um impacto ambiental prejudicial. A eliminação de salmoura concentrada põe em perigo a vida marinha no ponto de eliminação. Muitas vezes, as autoridades ambientais exigem instalações de osmose reversa para diluir a salmoura com mais água do mar, a custo adicional, antes de devolvê-la ao oceano, acrescentando um outro componente significativo e, portanto, custos, para a instalação.

Os sistemas de modalidades preferidas não têm requisitos em terra importantes, em contraste com as instalações típicas de larga escala de utilidade que necessitam de grandes extensões de terra perto da costa em áreas povoadas, que são necessariamente caras. Os sistemas de modalidades preferidas normalmente não requerem qualquer terreno, além daquele necessário para proporcionar o acesso à água gerada ou, em certas modalidades, a fim de proporcionar facilidades de mistura em terra caso a água deva ser aditivada antes da distribuição (por exemplo, cloração, fluoretação etc.). Os tanques de armazenamento para proteger a produção contínua contra a demanda variável intra-dia podem ser grandes, consequentemente, a proteção do abastecimento é preferencialmente proporcionada pelos tanques submarinos, flexíveis, amarrados em alto-mar. Isto evita a necessidade de grandes tanques rígidos em terra e de fundações altamente projetadas que os acompanham; no entanto, os sistemas de modalidades preferidas podem ser empregados com tanques em terra, quando conveniente (por exemplo, com os tanques existentes). Do mesmo modo, em certas modalidades, pode ser desejável não empregar tanques de qualquer tipo. Qualquer água gerada em excesso pode ser descartada, ou a totalidade da água produzida pode ser empregada como ela é gerada.

Uma vantagem dessa configuração é o reduzido custo com equipamento.

Outros benefícios dos sistemas de modalidades preferidas incluem a capacidade de produção constante. A temperatura da água afeta o fluxo (taxa pela qual a água penetra na membrana). Como a água próxima da superfície coletada para instalações de dessalinização convencionais varia de temperatura ao longo do ano, a produção de instalação convencional de osmose inversa também é variável. O sistema DEMWAX™ não sofre essas produções oscilantes, uma vez que as águas profundas às quais a membrana é exposta estão normalmente a uma temperatura relativamente constante, independentemente da estação ou das condições meteorológicas na superfície.

Os sistemas de modalidades preferidas oferecem flexibilidade superior quando comparados às convencionais instalações baseadas em terra. Essas instalações convencionais podem ser consideradas propriedades fixas em terra que podem incorrer em maiores riscos do que os sistemas de modalidades preferidas, que podem ser utilizados como bens móveis no mar e, potencialmente, em águas internacionais. O isolamento de terra e a mobilidade permitem que o sistema seja transferido para áreas de maior necessidade ou de maior rentabilidade.

Os sistemas de modalidades preferidas são propícios para a produção móvel, temporária, de água em larga escala para as zonas afetadas por catástrofes naturais, como terremotos e tsunamis, que podem contaminar as fontes convencionais de água potável. O projeto modular e escalável de modalidades preferidas também se presta a aplicações *offshore* de escala muito larga. Além disso, em virtude dessa natureza modular, a maior parte dos custos está no próprio sistema e não no projeto, engenharia, construção e trabalho civil *in situ* que estão sujeitos a muito mais variáveis do que a fábrica controlada na qual os cartuchos DEMWAX™ e outros componentes são fabricados.

Além das vantagens de custo, os sistemas de modalidades preferidas têm significativas vantagens ambientais e de produção. As vantagens ambientais incluem a criação e, portanto, a eliminação de zero salmoura. Uma instalação de dessalinização convencional admite 5 água do mar e retorna cerca da metade dela de volta (em muitos casos para locais próximo à costa) sob a forma de salmoura com o dobro da salinidade. Essa salmoura de maior salinidade tem um impacto negativo sobre a vida marinha na área de eliminação. Através da dispersão e mistura, a salmoura eventualmente dilui com a água do mar, mas por 10 causa do contínuo processo de dessalinização, existe sempre uma área em torno do cano de descarga de um sistema de dessalinização convencional onde a vida marinha é impactada. Os sistemas de modalidades preferidas normalmente purificam cerca de 1 a 3 por cento da água que é exposta às membranas, gerando, assim, apenas uma concentração 15 pouco maior de água do mar nas proximidades das membranas que é muito mais rapidamente diluída pela água do mar circundante. Além disso, em profundidades de cerca de 500 pés até cerca de 1.000 pés, muito menos vida marinha está presente devido à ausência de luz.

Os sistemas de modalidades preferidas também oferecem 20 significativa flexibilidade de aplicação. Por exemplo, os sistemas de modalidades preferidas podem ser utilizados em aplicações de água doce para filtrar constituintes indesejáveis, tais como bactérias, vírus, orgânicos e inorgânicos, dos abastecimentos de água. Por exemplo, os sistemas de modalidades preferidas adaptados para uso com aplicações 25 de água doce têm pouca ou nenhuma exigência de terra, e não necessitam de sistemas de admissão de água de fonte ou de eliminação especial de concentrado. Além disso, os sistemas de modalidades preferidas adaptados para o uso com aplicações de águas subterrâneas podem prevenir o abandono de poços subterrâneos contaminados, quando 30 outros métodos de tratamento da água são proibitivos em termos de custos. Os sistemas de modalidades preferidas para o tratamento de

água de superfície, subterrânea ou de outras fontes de água doce oferecem vantagens semelhantes aos sistemas de tratamento de água do mar ou salina.

A utilização da água tem um impacto ambiental significativo. Na medida em que a acessível água do oceano pode substituir a água retirada de fluxos naturais de água, tais córregos e rios podem ser devolvidos ao seu estado natural, ou mais água pode ser removida a montante, para proporcionar maiores necessidades de águas interiores. O Rio Colorado raramente desemboca no Mar de Cortez no Norte do México, devido às retiradas a montante. O Aqueduto do Rio Colorado proporciona 1,2 bilhões de galões (4,5 bilhões de litros) de água por dia para o sul da Califórnia. Doze sistemas de dessalinização de modalidades preferidas, cada um capaz de gerar 100 MGD (cerca de 378 milhões de litros por dia), podem substituir a distribuição para o sul da Califórnia a partir do Rio Colorado.

Energia e água estão intimamente ligadas. Vastas quantidades de energia são utilizadas no bombeamento da água até o ponto de utilização. Os sistemas de modalidades preferidas são muito mais eficientes em termos de energia do que as instalações de dessalinização convencionais ou os projetos hídricos, como o Aqueduto do Rio Colorado e o Projeto Hídrico do Estado da Califórnia. Como tal, o aumento das eficiências resulta em menor consumo de energia. Como a maioria da geração de energia emite gases com efeito estufa (por exemplo, instalações alimentadas a carvão), menor uso de unidade de energia para a água reduz proporcionalmente as emissões de gases com efeito estufa.

Uma vantagem adicional dos sistemas de modalidades preferidas é que tecnologia e materiais convencionais e baratos podem ser utilizados em muitos componentes dos sistemas, por exemplo, materiais de membrana, tais como poliamidas, material do tipo HYPERLON™ para

tanques e tubulações para água, polivinilclorida (PVC) para invólucros de módulo de membrana e tanques de retenção, bombas submersíveis convencionais ou bombas de poço seco, equipamentos convencionais de geração de energia (por exemplo, motores, turbinas, geradores, etc.) e 5 plataformas convencionais (concreto ou outros materiais que normalmente são empregados em plataformas *offshore*, por exemplo, na indústria de produção de petróleo) podem ser empregados. Além disso, os materiais de membrana utilizados nos sistemas de modalidades preferidas normalmente têm uma vida útil mais longa do que aqueles 10 empregados em sistemas de osmose reversa convencionais, devido à menor taxa de fluxo e menor pressão operacional; portanto, pode resultar em menores custos de manutenção e de materiais. As plataformas ou bóias empregadas para apoiar os módulos de membrana podem convenientemente ser construídas a baixo custo a partir de 15 concreto pré-tensionado e podem ser fabricadas num formato modular, de modo que possam ser produzidas em massa e configuradas para um projeto específico, através da combinação de vários módulos (por exemplo, módulos de suspensão, módulos de geração de energia; módulos de armazenamento de combustível; módulos de sala de contro- 20 le; módulos de armazenamento de sobressalentes; etc.).

A construção de grandes projetos de infra-estrutura, como as instalações de dessalinização ou de energia, normalmente ocorre em larga medida *in loco*. Por conseguinte, as questões de calendário e de fluxo de trabalho, bem como engenharia específica de local aumentam 25 significativamente a complexidade e os custos de construção, em comparação à fabricação de linha de montagem comum. Em contraste, os sistemas de modalidades preferidas podem ser construídos numa localização conveniente fora do terreno e transportados para o local desejado para a implantação.

30 As plataformas flutuantes que podem ser utilizadas em sistemas de modalidades preferidas são móveis e podem ser produzidas

em poucos locais no mundo e transportadas para o local desejado. Alternativamente, as plataformas estacionárias construídas no leito do mar podem ser utilizadas. Os sistemas de modalidades preferidas podem ser conectados aos sistemas de água existentes baseados em 5 terra, por exemplo, usando-se percursos de tubo curto debaixo do fundo do mar e escavando-se por várias centenas de jardas num ambiente próximo à costa.

### **Módulo de Membrana**

As Figuras 12 a 15 representam várias configurações de sistemas DEMWAX™ de modalidades preferidas. A Figura 12 mostra um 10 diagrama básico (não em escala) de um módulo de membrana DEMWAX™ 310 em vista plana, que ilustra elementos de membrana 312 que têm espaçadores de permeado rígidos 314. Os espaçadores rígidos 314 mantêm as faces da membrana 316 separadas sob pressões de profundidade, o que facilita a coleta de água potável doce (permeado) de entre 15 as faces opostas da membrana 316 de cada elemento da membrana 312. O fluxo de permeado é indicado pelas setas 318, 320. A água do mar (água salgada) circula livremente nos espaços entre as lâminas da membrana 312. Um invólucro de PVC rígido 322 numa extremidade 20 das lâminas da membrana 312 coleta o permeado e o transfere para um cano 324 em comunicação fluida com um sistema de coleta. As lâminas da membrana 312 são mantidas numa configuração espaçada por espaçadores de água salgada opcionais 326, que são colocados entre as lâminas da membrana 312 sobre o lado de alimentação bruta.

A Figura 13 representa fibras plásticas entrelaçadas onduladas 330 que têm os elementos ondulados 332 e os elementos retos 334. Estas fibras são adequadas para utilização como espaçadores entre as unidades da membrana para a manutenção de espaço suficiente para que a água bruta flua.

30 A Figura 14 mostra um diagrama básico (não em escala), de

um elemento coletor 340 para utilização com o sistema DEMWAX™. Pinos horizontais (não representados) são empregados para proporcionar a integridade estrutural para o elemento coletor 340 quando exposto a pressões em profundidade, enquanto permite que o permeado flua 5 através do coletor 340. Dependendo do material empregado na construção do elemento coletor, pinos (horizontais, verticais ou de outra configuração, ou monolíticos ou de outro suporte interior poroso) podem ser omitidos (por exemplo, quando um material de elevada resistência capaz de resistir a pressões em profundidade é empregado). 10 O elemento coletor 340 pode ter lados 342 que são entalhados para permitir a conexão de cartuchos ou de elementos de membrana, bem como de um cano conector 344 configurado para ligação a um sistema de coleta.

A Figura 15 mostra um diagrama básico (não em escala) de 15 um elemento de invólucro 350 para a utilização com o sistema DEMWAX™. As unidades ou elementos de membrana 352 são ligados numa extremidade a um elemento coletor 354. O invólucro 350 mantém as membranas 352 numa treliça folgada espaçada à parte, que mantém a integridade estrutural das membranas 352, o espaçamento das membranas 352 e o livre fluxo da água do mar para as membranas 352. 20

A Figura 15B proporciona uma vista de um módulo de membrana 360 para um elemento coletor central 362 com membranas 364 fixadas nos dois lados de um canal central. A Figura 15C mostra um módulo de membrana 380 de acordo com uma nova modalidade, 25 com cartuchos 382 acoplados a um canal de coleta 384 que tem um canal interno 388 que se estende através do mesmo. Cada cartucho 382 pode incluir múltiplas unidades de membrana 387. O canal interno 388 é separado da água de fonte, mas em comunicação fluida com o lado do permeado das unidades da membrana 387. O canal de 30 coleta 384 é conectado de forma fluida, através das saídas 389(a), 389(b), para uma parte do poço molhado 390 do tanque de retenção

386. Proporcionar duas saídas 389(a), 389(b) entre o canal de coleta 384 e o poço molhado 390 permite a liberação do ar preso durante o 5 enchimento do canal interno 388. Uma bomba 392 pode ser proporcionada na parte do poço molhado 390 e configurada para bombear o permeado através de um cano de permeado 394 para a armazenagem no mar ou em terra. O tanque de retenção 386 é exposto à pressão atmosférica por um tubo de respiração 396. Um cabo de energia 398 também pode ser proporcionado e conectado a uma instalação de geração de energia *offshore* ou em terra para alimentar a bomba 392.

10 A Figura 16 ilustra um sistema coleto 400 configurado de acordo com uma modalidade preferida. O sistema 400 inclui duas asas 402 que compreendem canos ou tubos que são formados, curvados, conectados ou de outra forma configurados num formato tipo armação para formar um canal de coleta. A colocação de cartuchos de membra- 15 na 401 nas asas 402 é ilustrada com linhas tracejadas. As partes superior e inferior 403(a), 403(b) das asas 402 podem ser perfuradas para permitir que o permeado flua a partir dos cartuchos 401 para as asas 402. As partes extremas 403(c) das asas 402, no entanto, podem ter paredes exteriores sólidas, uma vez que estas partes são expostas à 20 água de fonte. As asas 402 podem incluir placas de extremidade 405 que são configuradas para separar o lado do permeado dos cartuchos 401 a partir da água de fonte. As asas 402 também podem ser proporcionadas com estacas (não mostradas) para reforço estrutural.

25 Cada asa 402 é conectada de forma fluida, através de uma ou mais saídas 407, a um canal central ou tanque de retenção 404 que aloja uma bomba submersível 406 (mostrada em linhas tracejadas). Um cano de permeado 412 pode estender-se a partir do tanque de retenção 404 para armazenagem temporária ou por todo o caminho para terra. O tanque de retenção 404 pode ter uma parte inferior 30 fechada 408 que se estende abaixo das asas 402. A parte inferior 408 pode ser configurada para abrigar equipamento de leitura, tais como

equipamento de leitura de temperatura. O tanque de retenção 404 também pode ter uma parte superior fechada 410 que se estende acima das asas 402. O tudo de respiração 414 estende-se a partir da parte superior 410 para a superfície do corpo de água e está configurado para manter o interior do sistema de coleta 400 sob cerca da pressão atmosférica. A parte superior 410 pode ser proporcionada com sensores (não mostrados) configurados para ler o nível de permeado armazenado no sistema de coleta 400 e regular o funcionamento da bomba 406 de acordo com a demanda de água tratada. A parte superior 410 pode incluir opcionalmente braços que se estendem lateralmente 416 configurados para proporcionar o armazenamento temporário de permeado. O armazenamento temporário pode também ser proporcionado fora do sistema de coleta 410, no caminho do cano do permeado 412. Os braços 416 podem compreender, por exemplo, extensões de cano fora do tanque de retenção 404. As asas 402 e o tanque de retenção 404 podem ter uma configuração adequada para suas finalidades pretendidas. Por exemplo, as asas 402 e o tanque de retenção 404 podem ter uma forma de seção reta geralmente circular ou geralmente retangular. As asas 402 e o tanque de retenção 404 podem ter também uma seção reta contínua ou variável. Dependendo da profundidade da aplicação específica e das condições às quais o sistema coletor 400 será exposto, as asas 402 e o tanque de retenção 404 podem compreender metal, PVC ou qualquer outro material adequado. Por essa configuração, o sistema de coleta 400 pode servir às duplas funções de coletar permeado e proporcionar o sistema com reforço estrutural contra as condições ambientais.

A Figura 17A mostra uma vista parcialmente em perspectiva de corte de um módulo de membrana que compreende um número de cartuchos de membrana 432 ligados a um sistema de coleta 430. Um dos cartuchos 432 foi removido para ilustrar melhor as partes do sistema de coleta 430. Uma parte extremo do sistema de coleta 430

também foi removida para ilustrar um canal interior 431 do sistema de coleta. O sistema de coleta 430 tem uma parte superior 434 e uma parte inferior 436 e é reforçado por estacas 440 que se estendem entre as partes superior e inferior 434, 436. Os cartuchos de membrana 432 5 são colocados com suas paredes frontais 433 (ver as Figuras 9A a 9F) em relação limítrofe com o sistema de coleta 430, em ambos os lados do sistema 430. As cavilhas 438 nas extremidades frontais dos cartuchos 432 sentam contra as estacas 440, permitindo o livre fluxo de permeado em torno das estacas 440. A área entre as paredes frontais 433 dos 10 cartuchos 432 e as partes superior e inferior 434, 436 do sistema de coleta 430 é fechada para separar o lado do permeado das membranas da água de fonte circundante. As partes superior e inferior 434, 436 são perfuradas para receber o permeado que flui dos cartuchos 432 para o canal interior 431 do sistema de coleta 430. O lado do permeado 15 das membranas é mantido sob cerca da pressão atmosférica por um tubo de respiração (não mostrado) em comunicação fluida com o sistema de coleta 430.

Quando o módulo da membrana está submerso, a água de fonte circundante flui substancialmente livremente através do topo, do 20 fundo e da traseira de cada cartucho 432. O diferencial de pressão entre o lado da água de fonte das membranas e o lado do permeado das membranas faz com que o permeado flua para o lado de baixa pressão (do permeado) das membranas. Embora ilustrado numa configuração 25 geralmente simétrica com cartuchos em ambos os lados de um sistema de coleta, os módulos de membrana podem ser configurados em qualquer outra configuração adequada.

A Figura 17B mostra uma vista em perspectiva (não em escala) de um módulo de membrana 450 configurado de acordo com outra modalidade. O módulo 450 inclui um número de cartuchos 452 ligados 30 a uma estrutura de coleta 451 que compreende vários canos interligados. A estrutura de coleta 451 inclui quatro colunas 454 situadas nos

cantos da estrutura 451. As colunas 454 compreendem canos verticalmente orientados que são conectados em dois lados opostos da estrutura 451 por um ou mais canos de extremidade 456. Nos outros dois lados da estrutura 451, as colunas 454 são conectadas por um ou 5 mais canais de coleta 458. A modalidade ilustrada inclui dois canais de coleta superiores e dois inferiores 458, cada canal 458 tendo uma seção superior 460(a) e uma seção inferior 460(b). Cada canal de coleta 458 é configurado para suportar um conjunto de cartuchos 452 e receber o permeado que flui através das paredes frontais dos cartuchos 452 (isto 10 é, as extremidades dos cartuchos adjacentes ao canal de coleta 458), enquanto evita o fluxo de água de fonte para o canal de coleta 458. Cada canal de coleta 458 pode incluir placas de extremidade 462 ou outros recursos configurados para separar o lado do permeado das membranas nos cartuchos 452 da água de fonte circundante. O lado 15 do permeado das membranas é mantido sob cerca da pressão atmosférica por um tubo de respiração (não mostrado) em comunicação fluida com a estrutura de coleta 451. Os canais de coleta 458 podem ser configurados substancialmente como descrito acima, em relação à Figura 17A, ou podem ter qualquer outra configuração adequada para a 20 sua finalidade pretendida. Ao empregar este sistema de canos interligados, a estrutura de coleta 451 pode servir à dupla função de armazenar o permeado e proporcionar o sistema com reforço estrutural contra as condições ambientais. Uma ou mais bombas (não mostradas) podem ser proporcionadas numa ou mais das colunas 454, ou em qualquer 25 outra parte do sistema, para bombear o permeado coletado para a superfície.

A estrutura 451 também pode compreender um ou mais membros de reforço 464 configurados para proporcionar apoio estrutural adicional para o módulo 450. Os membros de reforço 464 podem 30 ser dispostos entre as colunas 454 e os canos de extremidade 456, como mostrado na figura. Adicionalmente ou alternativamente, os

5 membros de reforço podem ser dispostos entre os canos de extremidade 456 e os canais de coleta 458, entre duas ou mais colunas 454, entre dois ou mais canais de coleta 458, e/ou em qualquer outra configuração adequada. Os membros de reforço podem compreender membros sólidos ou podem compreender canos ocos para fazer parte do sistema de coleta e proporcionar o armazenamento adicional dentro do sistema. Um caminho 466 pode opcionalmente ser anexado no centro da estrutura 451 para proporcionar o acesso durante a construção e a manutenção do módulo 450.

10 A Figura 18 mostra um diagrama básico (não em escala) que representa uma vista de topo de uma instalação DEMWAX™ que inclui uma plataforma *offshore* 500 e vários módulos de membrana submersos 502. Os módulos 502 são configurados em diferentes bancos e ligados a uma linha coletora de permeado 503. A plataforma 15 pode suportar o equipamento para a operação do sistema (geração de energia, bombeamento, etc.).

A Figura 19 mostra um diagrama básico (não em escala) que representa uma vista de topo de módulos DEMWAX™ submersos 504 dispostos em configurações em paralelo e em série.

20 A Figura 20 proporciona uma vista plana de um sistema de arranjo de bóias 506 que suportam os módulos DEMWAX™ 508. Cabos de energia conectam as estações de bóia/módulo a uma plataforma de geração de energia 510 e canos de água conectam os sistemas de coleta de cada estação de bóia/módulo ao armazenamento no mar ou em 25 terra.

A Figura 21 mostra uma vista lateral da configuração do sistema de arranjo de bóias 520 que suporta os módulos DEMWAX™ 522. Cada módulo 522 inclui um ou mais módulos de membrana 524 conectados de forma fluida a um sistema coletor 526. O sistema coletor 30 526 é exposto à pressão atmosférica através de um tubo de respiração

528. Cabos de energia e canos de permeado 530 (situados a uma profundidade suficiente para evitar o tráfego de superfície) conectam as estações de bóia/módulo à geração de energia e ao armazenamento de água em terra ou no mar. Cada estação de bóia/módulo está ancorada 5 ao fundo do oceano por uma corrente 532.

Para minimizar a pegada de arranjos multi-pilhas, pilhas de módulos podem ser empilhadas em cima uma da outra em camadas. As camadas podem ser verticalmente espaçadas para permitir que ocorra a mistura entre o concentrado mais pesado que cai dos módulos 10 de membrana de uma camada superior e a água do mar circundante. Qualquer configuração adequada pode ser empregada e as pilhas de módulos podem ser acrescentadas ou removidas conforme o desejado, por exemplo, para aumentar ou diminuir a produção de permeado, para substituir os módulos danificados, para limpar os módulos ou para 15 decompor parte do sistema para transporte noutro local.

### **Sistemas e Configurações**

#### **de Membrana de Osmose Reversa**

Como discutido acima, qualquer configuração adequada pode ser empregada para as membranas de osmose reversa utilizadas 20 nos sistemas de modalidades preferidas. Estes incluem configurações folgadas enroladas em espiral, onde as membranas de lâmina plana são enroladas em torno de um cano de coleta central. A densidade desses sistemas é normalmente de cerca de 200 a 1.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Os diâmetros do módulo são normalmente de até 40 cm ou mais. A alimentação flui 25 axialmente num módulo cilíndrico e o permeado flui para o cano central. Os sistemas enrolados em espiral exibem alta durabilidade de pressão, são compactos, exibem uma baixa queda de pressão de permeado e baixa concentração de membrana e exibem uma polarização de concentração mínima. Preferencialmente, os módulos enrolados em 30 espiral estão situados numa configuração vertical, para facilitar a

transferência de concentrado mais denso para fora das superfícies da membrana.

Outra configuração que pode ser empregada em sistemas de modalidades preferidas é comumente referida como placa e moldura.

5 As lâminas de membrana são colocadas numa configuração com estilo sanduíche com os lados de alimentação virados um para o outro. A alimentação flui proveniente dos lados do sanduíche e o permeado é coletado a partir da moldura (por exemplo, num ou mais lados). As membranas são geralmente mantidas à parte por um espaçador corrugado. A densidade é normalmente de cerca de 100 até cerca de 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Essas configurações são vantajosas na medida em que a substituição de estrutura e de membrana é relativamente simples. Numa configuração de placa e moldura, como em outras configurações, as membranas são preferencialmente espaçadas suficientemente

10 distantes de tal ordem que a tensão superficial não interfere com as correntes de convecção que transferem o concentrado mais denso para baixo e para longe da superfície da membrana.

15

Outro tipo de membrana que pode ser vantajosamente empregado em sistemas de modalidades preferidas é uma membrana de fibra oca. Um grande número destas fibras oca, por exemplo, centenas ou milhares, é empacotado junto e alojado em módulos. Em operação, a pressão em profundidade é aplicada ao exterior das fibras, forçando a água potável para o canal central ou lúmen, de cada uma das fibras, enquanto os íons dissolvidos permanecem fora. A água potável é coletada no interior das fibras e é removida através das extremidades.

20

25

A configuração de módulo de fibra é uma altamente desejável uma vez que permite que os módulos alcancem uma área superficial muito elevada por unidade de volume. A densidade é normalmente de até cerca de 30.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. As fibras são geralmente dispostas em feixes ou cordas que são envasadas em suas extremidades, com as

30

extremidades das fibras abertas numa extremidade para remover o permeado. A densidade de vedação das membranas da fibra num módulo de membrana é definida como a área envasada de corte transversal ocupada pela fibra. Em modalidades preferidas, as membranas 5 são espaçadas à parte (por exemplo, em baixas densidades de vedação), por exemplo, um espaçamento entre as paredes de fibra de cerca de 1 mm ou menos até cerca de 10 mm ou mais é geralmente empregado.

Normalmente, as fibras dentro do módulo têm uma densidade de vedação (como definida acima) de cerca de 5% ou menos até 10 cerca de 75% ou mais, de preferência de cerca de 10% até cerca de 60% e mais preferencialmente de cerca de 20% até cerca de 50 %. Qualquer diâmetro interno adequado pode ser utilizado para as fibras de modalidades preferidas. Devido às altas pressões em profundidade às quais 15 as fibras são expostas, é preferível empregar um pequeno diâmetro interior para uma maior integridade estrutural, por exemplo, de cerca de 0,05 mm ou menos até cerca de 1 mm ou mais, de preferência de cerca de 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, ou 0,50 mm até cerca de 0,6, 0,7, 0,8, ou 0,9 mm. A espessura da parede da fibra pode ser selecionada com base em materiais de balanceamento utilizados e na resistência necessária com eficiência de filtração. Tipicamente, uma espessura de 20 parede de cerca de 0,1 mm ou menos até cerca de 3 mm ou mais, de preferência de cerca de 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, ou 1,9 mm até cerca de 2,0, 2,1, 2,2, 2,3, 2,4, 2,5, 2,6, 2,7, 2,8, ou 2,9 milímetros pode ser utilizada em certas modalidades. Pode ser desejável empregar 25 um suporte poroso ou material de vedação na fibra, por exemplo, quando as fibras têm um diâmetro relativamente grande ou uma parede relativamente fina, para evitar o colapso sob pressão em profundidade. Um suporte preferido é acetato de celulose, no entanto, qualquer um suporte adequado pode ser empregado.

30 O comprimento das fibras é preferencialmente relativamente curto, para superar a resistência ao fluxo. Se expostas a correntes

que se movem relativamente rápido, então, fibras mais longas podem ser empregadas.

Em certas modalidades, pode ser vantajoso proporcionar uma fonte de fluxo líquido e/ou de aeração (por exemplo, água pressurizada ou água pressurizada que contém ar arrastado) para o módulo de membrana abaixo das fibras, de tal forma que bolhas ou líquido possa passar ao longo do exterior das fibras para proporcionar uma ação de fricção para reduzir a incrustação e aumentar a vida útil da membrana ou para reduzir a concentração de polarização numa superfície da membrana. Da mesma forma, as membranas podem ser vibradas (por exemplo, mecanicamente) para produzir um efeito semelhante. Em geral, é preferível permitir que as membranas funcionem em condições ambientais sem introduzir mecanicamente correntes ou fluxo gerados para as membranas (por exemplo, fibras ou lâminas), de modo a minimizar o consumo de energia. No entanto, em certas modalidades (por exemplo, a água com um elevado grau de turbidez ou de conteúdo orgânico), pode ser desejável proporcionar essas correntes ou fluxo de modo a aumentar a vida útil da membrana pela redução da incrustação.

As fibras são preferivelmente dispostas em arranjos cilíndricos ou feixes, no entanto outras configurações também podem ser empregadas, por exemplo, quadrada, hexagonal, triangular, irregular e similares. É preferível que as membranas sejam mantidas numa configuração espaçada à parte de modo a facilitar o fluxo de água do mar e de concentrado através das mesmas; entretanto, em certas modalidades pode ser desejável enfeixar juntos fibras ou grupos de fibras, separar as fibras ou envolver as fibras dentro de uma tela, gaiola ou outra configuração protetora para proteger as membranas das forças mecânicas (por exemplo, durante a manipulação) e para manter seu espaçamento. Preferencialmente, as partições ou espaçadores são formados por um espaçamento entre os respectivos grupos de fibra, no

entanto, partições ou espaçadores porosos (por exemplo, uma tela, grampo ou anel) ou sólidos também podem ser empregados. Os feixes de fibras podem ser protegidos por uma tela de suporte que tem tanto elementos verticais como horizontais adequadamente espaçados para 5 proporcionar o fluxo irrestrito de água do mar ao redor das fibras.

Em certas modalidades preferidas, pode ser desejável encerrar as membranas dentro de um recipiente ou de outro recinto, o que pode proporcionar proteção contra forças mecânicas (por exemplo, como numa membrana convencional enrolada em espiral envolvida dentro de 10 um tubo protetor) e para introduzir de forma intermitente ou contínua água do mar no (e remover a salmoura concentrada do) recipiente que contém as membranas. No entanto, é geralmente preferível ter as membranas total ou parcialmente não contidas, para que elas sejam diretamente expostas à água de fonte circundante.

15 As membranas de qualquer configuração especial (lâminas, enrolada em espiral ou fibra) são vantajosamente proporcionadas em forma de cartucho. A forma de cartucho permite que um número desejado de cartuchos possa juntar-se a um sistema de remoção de permeado, a fim de gerar o volume desejado de permeado. Um sistema 20 de cartucho também é vantajoso para facilitar a remoção e a substituição de um cartucho com membranas incrustadas ou com vazamento.

Ao longo do tempo, a eficiência da membrana diminui devido à absorção de impurezas na superfície da membrana. A raspagem 25 reduz a eficiência das membranas por partículas inorgânicas suspensas, como o carbonato de cálcio, sulfato de bário e compostos de ferro que bloqueiam a capacidade de filtração e/ou que aumentam a pressão de operação. A incrustação ocorre quando partículas orgânicas, coloidais e suspensas bloqueiam a capacidade de filtração. As membranas 30 podem ser limpas utilizando anti-escamantes e anti-incrustantes convencionais para regenerar a capacidade de filtração e aumentar a

vida útil da membrana. Os métodos de limpeza física, tais como retro-lavagem, podem também ser eficazes na regeneração de uma membrana, para aumentar a vida útil da membrana. Na retrolavagem, o permeado é forçado de volta através da membrana. As membranas 5 empregadas nos sistemas de modalidades preferidas podem ser colocadas num cronograma regular de limpeza para manutenção preventiva, ou num cronograma regular de substituição de membrana. Alternativamente, os sistemas podem ser empregados para detectar quando é necessária a limpeza ou a substituição (por exemplo, quando a taxa de 10 fluxo de permeado diminui de um valor pré-selecionado, ou quando a pressão necessária para manter uma taxa de fluxo de permeado aumenta para um valor pré-selecionado).

### **Estrutura de Suporte**

As plataformas *offshore* adequadas para utilização com os 15 sistemas de modalidades preferidas incluem aquelas normalmente empregadas na perfuração de petróleo e produção de petróleo *offshore*. As plataformas *offshore* fixas são construídas numa variedade de configurações estruturais e incluem qualquer estrutura fundada sobre o fundo do mar e que se estende desde o fundo do mar até a superfície da 20 água. A parte da plataforma que abriga o equipamento que suporta o processo de dessalinização é normalmente referida como as bordas ou o deque da plataforma. A parte da plataforma que se estende do fundo do mar até a superfície da água e que suporta as bordas é normalmente de um tipo referido como uma jaqueta (estrutura espacial tubular), plataforma 25 estaiada ou plataforma de perna de tensão. As plataformas incluem plataformas de perna de tensão onde uma plataforma flutuante está conectada ao fundo do oceano através de tendões, tais como cabos de aço.

Outro tipo de plataforma flutuante é a plataforma *spar* (ver- 30 gôntea) que geralmente é uma estrutura cilíndrica flutuante que é

ancorada ao fundo do oceano com cabos de aço. A plataforma pode ser rígida ou incluir a articulação de uma estrutura rigidamente armada. As plataformas estaiadas são normalmente suportadas verticalmente e lateralmente na base enquanto livres para rodar fora da vertical sobre a 5 base. A estabilidade é proporcionada à plataforma por um arranjos de cabos de estai ligados na direção do topo da plataforma e ancorados ao fundo do mar em alguma distância da base da plataforma. A plataforma é restaurada para uma posição vertical após ter sido defletida horizontalmente pelas forças de tensão dentro dos estais conectados.

10 As estruturas baseadas na gravidade são grandes estruturas projetadas para serem rebocadas para o local de instalação, onde elas são lastreadas para baixo e mantidas no lugar sobre o fundo do mar pela força da gravidade. As estruturas baseadas na gravidade têm uma grande capacidade de carregar grandes cargas de convés durante o reboque no 15 oceano para o local de instalação, e conveses são transferidos para a estrutura, uma vez que esteja no lugar. Outras plataformas, comumente referidas como plataformas semissubmersíveis, incluem geralmente pontões retangulares ou cilíndricos, muitas vezes em excesso de 20.000 toneladas de deslocamento, que proporcionam a estabilidade durante os 20 fenômenos meteorológicos extremos.

Alternativamente, uma embarcação pode ser utilizada para suportar os sistemas de modalidades preferidas, por exemplo, uma barcaça, navio-tanque ou uma plataforma *spar*. As plataformas *spar* têm geralmente um casco alongado à prova d'água que tem um calado de quilha extremamente profundo, normalmente superior a 500 pés. A plataforma *spar* suporta um convés superior acima da superfície do oceano e é amarrada com linhas de âncora catenárias presas ao casco e às âncoras do leito do mar. Dutos de interligação geralmente estendem-se a partir de uma *moon pool* (abertura no meio da coluna de sustentação) do casco da plataforma *spar* para o fundo do oceano. O casco da plataforma *spar* típica é geralmente moldado cilindricamente, normal-

mente formado por uma larga série de chapas curvadas posicionadas numa forma circular e que têm um plano radial perpendicular que passa pelo isocentro do casco para formar uma estrutura cilíndrica. Esta concepção cilíndrica é usada para reduzir a gravidade do desprendimento dos vórtices causado pelas correntes oceânicas e para resistir de forma mais eficiente às pressões hidrostáticas.

5 Em águas mais rasas, as plataformas apoiadas no fundo do mar podem ser vantajosamente usadas. As plataformas localizadas em águas mais rasas são projetadas para cargas de vento estático e de 10 ondas.

Noutra configuração, uma estrutura flutuante, como um balão (por exemplo, uma concha de concreto que confina ar, ou outra configuração do tipo) pode ser empregada para suspender um módulo DEMWAX™ acima em profundidade. A estrutura flutuante pode ser 15 amarrada ao fundo do oceano ou pode ser equipada com um dispositivo de propulsão para manter o módulo numa localização desejada (profundidade e/ou latitude e longitude). Nesta configuração, a estrutura flutuante pode estar na superfície ou submersa. Se a estrutura flutuante está submersa, uma bóia ou outra estrutura de superfície pode ser 20 utilizada para apoiar um tubo de respiração, se presente. As estruturas flutuantes podem ser utilizadas para apoiar qualquer outro(s) componente(s) do sistema, conforme desejado, ou podem ser usadas em combinação com outros sistemas de apoio. Um sistema de bóias para apoiar os módulos DEMWAX™ está representado nas Figuras 20 e 21.

25 Uma estrutura de convés pode ser proporcionada para apoiar o pessoal e o equipamento para a operação dos sistemas de modalidades preferidas (por exemplo, geradores de energia elétrica ou motores hidráulicos conduzidos por máquinas, bombas, habitação da tripulação, etc.). As plataformas *offshore* podem ser tripuladas ou (de 30 preferência) não tripuladas. As plataformas *offshore* não tripuladas

requerem manutenção periódica; por isso, para tal propósito uma tripulação de manutenção tem de visitar a plataforma para realizar os trabalhos de manutenção necessários. O acesso às plataformas *offshore* pode ser proporcionado, por exemplo, por helicóptero ou navio.

5 Assim, pode ser vantajoso prover a plataforma com um deque para helicóptero ou outras estruturas que apoiem a transferência da tripulação e dos equipamentos para dentro e para fora da plataforma. Os geradores de energia, tais como os geradores de energia elétrica ou os motores hidráulicos conduzidos por máquinas, podem ser proporcionados a bordo da plataforma para uso quando a manutenção deve ser realizada. Isto também contribui para elevar o custo da plataforma onde esses geradores ou motores para uso em manutenção estão permanentemente instalados na plataforma. Se, em vez disso, eles são transportados na embarcações de apoio, isto é inconveniente para a

10 tripulação, especialmente quando transportando esse equipamento a partir da embarcação para a plataforma. Em certas modalidades, pode ser desejado gerar energia em profundidade (por exemplo, geração de energia submarina). Nesta configuração, pode ser desejado situar todos os componentes, com exceção de tubos de respiração (caso existam),

15 em profundidade.

20

Numa configuração alternativa, um único módulo DEMWAX™ ou pequeno grupo de módulos pode ser suspenso a partir de uma bóia ou amarrado diretamente ao fundo. Vários desses módulos podem ser enfileirados para gerar uma maior instalação, que pode

25 eliminar a necessidade de uma grande plataforma naquelas áreas onde uma plataforma é indesejável (por exemplo, por razões de estética ou de impacto ambiental). A unidade de bóia pode incorporar um pequeno gerador e tanque de combustível ou um cabo de transmissão subaquático. Alternativamente, uma bóia maior ou uma pequena plataforma ou

30 algo similar pode ser empregado para abrigar a geração de energia para várias bóias menores com módulos DEMWAX™ suspensos a partir

delas. Numa configuração preferida, as bóias estão situadas em torno de um tanque ou estrutura de armazenamento de permeado.

Os sistemas de coleta de membrana de modalidades preferidas podem ser utilizados em qualquer configuração adequada, por exemplo, numa configuração de círculo concêntrico ou em outras configurações (por exemplo, uma configuração hexagonal “embalada mais próximo”, de arranjos octogonais concêntricos com oito módulos de membrana trapezoidal que alimentam na direção de coletores radiais, ou uma série de coletores em qualquer configuração, que alimentam na direção de um coletor central. Em adição aos arranjos ou módulos espaçados horizontalmente, arranjos ou módulos espaçados verticalmente também podem ser empregados.

### **Suprimento de Energia Alternativo**

Porque o sistema DEMWAX™ tem muito menos requisitos de energia do que os sistemas de dessalinização convencionais, ele é particularmente adequado para a integração com recursos renováveis de energia, como geradores eólicos ou fotovoltaicos solares para servir a pequenas, remotas, cargas d’água. Do mesmo modo, se o sistema DEMWAX™ estiver situado numa área que experimenta marés muito altas e muito baixas, a energia das marés pode ser vantajosamente empregada para gerar energia para o sistema. Se fontes de combustível locais, abundantes e/ou de baixo custo estão disponíveis (por exemplo, o biodiesel, o metano, gás natural, biogás, etanol, metanol, diesel, gasolina, óleo combustível, carvão ou outros combustíveis hidrocarbonados), pode ser desejável selecionar geradores de energia que possam tirar vantagem dessas fontes de combustível. Alternativamente, se a eletricidade está convenientemente disponível a partir de um local em terra, um cabo de alimentação para a plataforma DEMWAX™ pode ser proporcionado para as necessidades de energia. Outros sistemas de geração de energia podem incluir sistemas de oscilação de ondas e de

marés ou nucleares (baseados em terra ou submarinos).

### **Modalidades Alternativas**

Embora descrito aqui acima com referência particular às membranas de osmose reversa e às aplicações de dessalinização oceânica, as modalidades podem ser usadas para beneficiar-se com outros tipos de membranas e em numerosas outras aplicações, por exemplo, como descrito abaixo.

### **Aplicações de Água Doce**

A água dos lagos, reservatórios e rios acumula contaminação a partir de fontes como a fauna selvagem, o escoamento urbano e o crescimento orgânico. O método mais comum de tratamento é um processo de três etapas que inclui a clarificação química reforçada, a filtração e a desinfecção. O processo de clarificação convencional geralmente usa produtos químicos onerosos para a coagulação dos contaminantes orgânicos que produzem uma lama que deve ser eliminada para um aterro. As etapas de filtração por areia ou membrana são primordiais e de espaço intensivo. As modalidades do sistema DEM-WAX™ podem ser usadas para vantajosamente substituir os primeiros dois destes processos de forma mais eficiente do que os sistemas convencionais, sem produtos químicos, com complexidade reduzida, com muito menos custo de capital e com melhor qualidade da água tratada, usando-se a pressão natural exercida pela coluna d'água num corpo de água, para conduzir o processo de tratamento.

Os sistemas de modalidades preferidas adaptados para o tratamento de águas de superfície para usos potáveis normalmente utilizam módulos de membrana que incluem unidades de membrana de nanofiltração. O menor tamanho dos poros das membranas de nanofiltração produz água que excede e muito os atuais requisitos de tratamento das águas superficiais EPA, e o baixo fluxo (~ 5 a 10 gfd) torna a

manutenção mais simples à medida que as impurezas não se juntam prontamente aos menores poros da membrana de nanofiltração comparativamente aos sistemas de membrana de microfiltração (MF) atualmente disponíveis. Quando as membranas de microfiltração são 5 empregadas, em vez de membranas de nanofiltração, lodos podem alojar-se nos seus poros maiores, o que requer muito mais limpeza abrangente e frequente. Os sistemas DEMWAX™ de modalidades preferidas reduzem ou eliminam a exigência de frequentes retrolavagens e de suas complexidades acompanhantes (válvulas e bombas). O 10 regime de manutenção para sistemas de microfiltração, portanto, requer sistemas e *hardware* mais complexos. Os sistemas de nanofiltração de modalidades preferidas têm uma baixa barreira de manutenção e mantêm micróbios, vírus, orgânicos e outros constituintes indesejados fora do suprimento de água. Ao abaixar os módulos de membrana a 15 uma profundidade de cerca de 6 metros até cerca de 200 metros, dependendo da exata membrana e qualidade da água de fonte, a água está naturalmente sob pressão contínua suficientemente alta para conduzir o processo de filtração. Evidentemente, as modalidades que utilizam as membranas de osmose reversa também podem ser utilizadas em aplicações de água doce. Por exemplo, as modalidades que utilizam membranas de osmose reversa podem ser implantadas a cerca 20 de 15 metros de profundidade (ou mais fundo) e utilizadas para produzir água ultrapura.

Os sistemas de modalidades preferidas adaptados para a 25 utilização em aplicações de água doce podem ser configurados essencialmente como descrito acima, em conexão com aplicações oceânicas, por exemplo, com um ou mais módulos de membrana e um sistema de coleta suspenso em profundidade e um tubo de respiração que se estende para cima a partir do sistema de coleta para a superfície. 30 Alguns sistemas de modalidades preferidas podem ser ancorados ao fundo do corpo de água através de uma ou mais amarras, embora

amarra não seja uma exigência, a menos que o sistema seja flutuante.

Os módulos de membrana de modalidades preferidas podem incluir uma ou mais unidades de membrana e podem ser configurados em qualquer forma adequada que permita à água de fonte fluir substancialmente livremente nos espaços entre as unidades de membranas. O algoritmo de espaçamento descrito para as aplicações oceânicas é ligeiramente modificado para aplicações de tratamento de água doce. Em aplicações de água doce, o fator limitante no espaçamento entre as unidades da membrana é a tensão superficial. Como os sólidos dissolvidos não estão geralmente presentes em altas concentrações nas fontes de água de superfície, superar a pressão osmótica não exige as altas pressões associadas à dessalinização. Como tal, a água de alimentação ligeiramente concentrante não pode elevar os requisitos de pressão, se o espaçamento é insuficiente, ao contrário de aplicações de água do mar. Dessa forma, os sistemas de modalidades preferidas adaptados para o uso com aplicações de água doce podem utilizar um espaçamento mais estreito (cerca de 3 milímetros ou cerca de 1/8 de polegada de espaçamento) do que é normalmente empregado em aplicações de água do mar.

Cada elemento de membrana pode incluir duas lâminas de membrana com um separador (por exemplo, polímero, compósito, metal, etc.) disposto entre as duas camadas, de modo a permitir que o permeado (água potável tratada) flua entre elas. As duas camadas podem ser lâminas retangulares de membrana que filtram as impurezas e passam a água limpa através do separador para um coletor. As camadas de membrana e a camada separadora podem ser juntadas e seladas nas bordas sobre os lados, com uma passagem ou outra abertura proporcionada para remover o permeado. De preferência, elas são juntadas em três lados, com o quarto lado com a abertura proporcionada para remover o permeado. A borda aberta (não selada) ou a parte não selada de uma borda é colocada em comunicação fluida com o

sistema de coleta. O sistema de coleta pode incluir um canal de coleta adaptado para proporcionar apoio estrutural ao sistema. As ondas e correntes não estão presentes na mesma medida em aplicações de água doce quanto em aplicações oceânicas e materiais e estrutura adequados 5 podem ser selecionados com isto em mente.

O sistema de coleta preferencialmente contém uma bomba submersível e está conectado a dois canos (ou tubos, passagens, aberturas ou outro meio de direção do fluxo): um através do qual o permeado é bombeado para terra, e um cano ou tubo de respiração adaptado para comunicar a pressão atmosférica da superfície do corpo 10 de água ao lado da água tratada das membranas, proporcionando, assim, o necessário diferencial de pressão para conduzir o processo de tratamento. O diâmetro do tubo de respiração é selecionado para evitar a ocorrência de arrastamento de ar ou o excesso de velocidade durante 15 a operação da bomba. A partir do sistema de coleta, o permeado é bombeado para a instalação de tratamento final. Em muitas aplicações de água doce, a distância de bombeamento para terra é normalmente relativamente curta, uma vez que muitos reservatórios e lagos têm pelo menos 6 metros de profundidade um tanto perto de terra.

20 O armazenamento pode ser proporcionado dentro do sistema ou em terra para proteger o contínuo processo de filtração contra a demanda horária desigual de água. Por exemplo, o armazenamento temporário pode ser prestado dentro de um canal ou sistema de coleta, como descrito acima em ligação com a Figura 16. Adicionalmente ou 25 alternativamente, as modalidades podem criar armazenagem virtual de água, colocando-se as membranas em maiores profundidades, onde as maiores taxas de fluxo podem ser induzidas ligando-se mais capacidade de bomba. Quando os módulos de membrana estão submersos a uma maior profundidade do que a exigida para a capacidade de projeto de 30 carga de base, a velocidade constante de bombeamento de carga de base induz a contrapressão no sistema, pois as membranas estão

produzindo mais água do que a bomba pode evacuar. Em tempos de alta demanda, o aumento da taxa de fluxo das bombas de permeado diminui a contrapressão no sistema, o que aumenta o diferencial de pressão entre as membranas e aumenta as taxas de produção de 5 permeado.

Em aplicações de água doce, o acúmulo de crescimento orgânico, como algas, pode impedir a produção de água e requer a limpeza periódica. Dessa forma, os sistemas de modalidades preferidas podem ser projetados para desprender as algas e outros contaminantes 10 das membranas. Os sistemas automáticos que podem ser proporcionados forçam o ar comprimido ou a água através de um conjunto de bicos que se situam abaixo das membranas. Também podem ser proporcionados agitadores de fibra, o que auxilia no desprendimento de quaisquer sólidos da face da membrana. Estes sistemas de limpeza podem 15 ser implantados em intervalos diárias e podem ser complementados com um processo de limpeza mais profundo bi-anual ou, sempre que necessário, que envolva a remoção dos cartuchos de membrana da água. Como tal, os sistemas de modalidades preferidas podem incluir 20 um sistema automatizado para elevar e abaixar os módulos, por exemplo, através da utilização de tanques de lastro ou similares.

A energia é transmitida ao sistema DEMWAX™ para bombeiar a água tratada. Existem muitas maneiras de conseguir isto e o método escolhido pode depender do tamanho do sistema e da disponibilidade de energia perto da unidade. As considerações para a provisão 25 de energia incluem a distância que o local está de terra (perdas em linha e custos de cabeamento), bem como a intrusão (visual e naveacional) de energia localizada na superfície da fonte de água (que flutua sobre uma bóia).

### **Aplicações de Águas Subterrâneas**

30 Metais pesados e compostos orgânicos voláteis muitas vezes

contaminam os suprimentos de águas subterrâneas. Os métodos convencionais de remoção são caros e exigem a eliminação dos resíduos tóxicos resultantes, com as obrigações que a acompanham. Os sistemas DEMWAX™ de modalidades preferidas podem ser vantajosamente 5 utilizados para produzir água limpa a partir de poços contaminados, o que, para outros tipos de tratamento, pode ter custo proibitivo.

A Figura 22 ilustra um exemplo de um sistema DEMWAX™ adaptado para uso em aplicações de águas subterrâneas. O sistema inclui um cartucho de membrana cilíndrico 600 que compreende uma 10 ou mais membranas de nanofiltração, imersas num poço existente 602. As membranas circundam uma câmara de coleta central, com o lado do permeado das membranas em comunicação fluida com a câmara. A câmara é mantida sob pressão atmosférica por um tubo de respiração 604 que se estende para pelo menos o topo do lençol freático 606, que, 15 como mostrado na figura, pode ser abaixado um pouco na região do poço 602. Por submersão do cartucho 600 abaixo da bomba do poço 608 a uma profundidade de cerca de 10 metros (33 pés) abaixo do topo do lençol freático 606, a água potável pode ser produzida e bombeada para fora do poço 602, deixando os contaminantes presentes no solo. O 20 movimento e a recarga de aquíferos subterrâneos podem impedir estes contaminantes de crescerem na área ao redor do poço.

As Figuras 23A-23B e 24A-24B ilustram várias configurações de um cartucho de membrana cilíndrico adaptado para aplicações de águas subterrâneas. Um cartucho de membrana cilíndrico geralmente inclui uma membrana que circunda um canal de coleta central. 25 Em modalidades preferidas, a membrana é configurada de tal maneira a maximizar a área de superfície da membrana dentro do confinamento cilíndrico de um poço subterrâneo. Por exemplo, conforme ilustrado nas Figuras 23A e 23B, uma membrana 620 é arranjada numa prega 30 sanfonada numa configuração cilíndrica em torno de um canal de coleta central 622. Um ou mais espaçadores de permeado 624 são dispostos

no interior de cada prega, quer continuamente ou em locais discretos, para evitar que as pregas da membrana entrem em colapso sobre si próprias. A linha tracejada na figura indica perfurações no canal de coleta central 622, que são proporcionadas para permitir a passagem de 5 permeado através dos espaçadores 624 e para o canal 622. Quando submersas num alojamento de poço 626, as superfícies externas da membrana 620 são expostas às águas subterrâneas circundantes no poço, para que o permeado possa passar através do canal de coleta central 622. Uma armação (não mostrada), por exemplo, que compreende 10 vigas e escoras, pode opcionalmente ser proporcionada em torno da membrana pregada para proporcionar o apoio estrutural para o sistema. Os sistemas que empregam múltiplos cartuchos numa configuração empilhada podem incluir um cano conector 628 para conectar os canais de coleta 622 de cada cartucho. Em algumas modalidades, 15 como mostrado nas Figuras 24A e 24B, um cartucho cilíndrico 630 pode incluir uma membrana 632 com pregas que redobram de volta uma sobre a outra na circunferência exterior do cilindro, de modo a manter o espaçamento similar entre as pregas a partir do centro do cartucho para a periferia. A membrana dobrada 632 circunda um 20 canal de coleta central perfurado 638. O fluxo da água de fonte contra as membranas 632 é indicado pelas setas 634. O fluxo de permeado para o canal de coleta 638 é indicado pelas setas 636. Em modalidades configuradas para aplicações de água subterrânea, as pregas da membrana podem ser espaçadas mais próximas entre si do que em aplicações 25 de água do mar; mas preferencialmente não tão próximo que a tensão superficial iniba o fluxo da água de alimentação entre as membranas.

Os aparelhos e métodos adequados para a utilização em conexão com os sistemas de modalidades preferidas são descritos nas 30 seguintes referências, cada uma das quais é incorporada aqui por referência na sua totalidade: Pacenti e colaboradores, "Submarine

5 *seawater reverse osmosis desalination system*", *Desalination* **126** (1999) 213-218; Patente US No. 5.229.005; Patente US No. 3.060.119; Colombo e colaboradores, "An energy-efficient submarine desalination plant", *Desalination* **122** (1999) 171-176; Patente US No. 6.656.352; Patente US No. 5.366.635; Patente US No. 4.770.775; Patente US No. 3.456.802, e Publicação de Patente US No. US-2004-0108272-A1.

10 Todas as referências citadas aqui são incorporadas por referência na sua totalidade. Na medida em que as publicações e patentes ou pedidos de patentes incorporados por referência contradigam a revelação contida neste Relatório Descritivo, o Relatório Descritivo destina-se a substituir e/ou ter precedência sobre qualquer deste material contraditório.

15 O termo "que compreende" tal como utilizado aqui é sinônimo de "que inclui", "que contém" ou "caracterizado por" e é inclusivo ou ilimitado e não exclui os elementos adicionais, irrestritos ou as etapas de método.

20 Todos os números que expressam quantidades de ingredientes, condições reacionais e assim por diante, utilizados na especificação e nas reivindicações devem ser entendidos como sendo modificados em todos os casos pelo termo "cerca de". Dessa forma, a menos que indicado em contrário, os parâmetros numéricos estabelecidos na especificação e nas reivindicações anexadas são aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas a serem obtidas pela presente invenção. No mínimo, e não como uma tentativa de limitar a aplicação da doutrina dos equivalentes ao escopo das reivindicações, cada parâmetro numérico deve ser interpretado à luz do número de algarismos significativos e de abordagens de arredondamento ordinário.

30 A descrição acima revela vários métodos e materiais da presente invenção. Esta invenção é suscetível a modificações nos métodos

e materiais, bem como a alterações nos métodos e equipamentos de fabrico. Estas modificações tornar-se-ão evidentes para aqueles qualificados na técnica a partir de uma consideração desta revelação ou da prática da invenção revelada aqui. Consequentemente, não se pretende 5 que essa invenção seja limitada às modalidades específicas reveladas aqui, mas que abranja todas as modificações e as alternativas que vêm dentro dos verdadeiros escopo e espírito da invenção, como consubstanciado nas Reivindicações anexas.

**“Sistemas de Filtração, de Tratamento de Água, de Passagem Dupla  
para a Dessalinização da Água e Métodos de Tratamento de Água,  
de Fabrico de Módulo de Tratamento de Água  
e de Transporte de Água”**

5

**Reivindicações**

**1 - Sistema de Filtração, caracterizado** por que o sistema compreende:

um módulo de membrana configurado para ser submerso num corpo de água a uma profundidade submersa, compreendendo o 10 módulo de membrana pelo menos um cartucho de membrana, compreendendo o cartucho de membrana pelo menos um elemento de membrana, tendo o elemento de membrana um primeiro lado e um segundo lado, em que o primeiro lado do elemento de membrana é exposto à água a ser filtrada a uma pressão característica da profundidade 15 submersa;

uma passagem coletora configurada para ser submersa no corpo de água, em que pelo menos uma parte da passagem coletora está em comunicação fluida com o segundo lado do elemento de membrana onde a água filtrada é coletada; e

20 uma passagem de respiração que se estende da passagem coletora para uma superfície do corpo de água e configurada para expor um interior da passagem coletora a uma pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água ou numa elevação mais alta do que a superfície do corpo de água, onde um diferencial 25 entre a pressão característica da profundidade submersa e a pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água ou numa elevação mais alta do que a superfície do corpo de água faz o permeado fluir a partir do primeiro lado do elemento de membrana para

o segundo lado do elemento de membrana.

**2 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o elemento de membrana compreende duas camadas de membrana espaçadas ao lado por pelo menos um espaçador de permeado.

**3 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o elemento de membrana é substancialmente planar.

**4 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o cartucho de membrana compreende pelo menos dois elementos de membrana.

**5 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 4, **caracterizado** por que compreende uma pluralidade de elementos de membrana, em que cada elemento de membrana é espaçado ao lado de um elemento de membrana adjacente em pelo menos cerca de 1 mm.

**6 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 4, **caracterizado** por que compreende uma pluralidade de elementos de membrana, em que cada elemento de membrana é espaçado ao lado de um elemento de membrana adjacente em pelo menos cerca de 2 mm.

**7 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 4, **caracterizado** por que compreende uma pluralidade de elementos de membrana, em que cada elemento de membrana é espaçado ao lado de um elemento de membrana adjacente em pelo menos cerca de 2 mm até cerca de 8 mm.

**8 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 4, **caracterizado** por que compreende uma pluralidade de elementos de membrana, em que cada elemento de membrana é espaçado ao lado de um elemento de membrana adjacente em pelo menos cerca de 6 mm.

**9 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 4, **caracteri-**

zado por que o elemento de membrana compreende duas membranas de lâmina plana numa configuração paralela, compreendendo o elemento de membrana ainda pelo menos um espaçador coletor situado entre duas membranas de lâmina plana, em que o espaçador coletor é configurado para separar as duas membranas de lâmina plana uma da outra.

- 10 **10 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o módulo de membrana compreende uma pluralidade de cartuchos de membrana.
- 10 **11 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de nanofiltração.
- 15 **12 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.
- 15 **13 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.
- 20 **14 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.
- 20 **15 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 2 metros até cerca de 18 metros.

25 **16 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 30 metros.

**17 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado**

**rizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 60 metros.

**18 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 60 metros.

**19 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 60 metros até cerca de 244 metros.

**20 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 122 metros até cerca de 152 metros.

**21 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 152 metros até cerca de 183 metros.

**22 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de osmose reversa.

**23 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 22, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 190 metros.

**24 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 22, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 244 metros.

**25 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 22, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 259 metros até cerca de 274 metros.

**26 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 274 metros.

**rizado** por que o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de ultrafiltração.

**27 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.

**28 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.

**29 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.

**30 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.

**31 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 22 metros.

**32 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 26, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 22 metros até cerca de 60 metros.

**33 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o elemento de membrana compreende pelo menos uma membrana de microfiltração.

**34 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 33, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.

**35 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 33, **caracterizado**

**rizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.

**36 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 33, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.

**37 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 33, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.

**38 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o módulo de membrana é configurado para ser submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 7 metros e é ainda configurado para evitar substancialmente os arrastamentos de vida aquática, à medida que o permeado passa a partir do primeiro lado do elemento de membrana para o segundo lado do elemento de membrana.

**39 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o diferencial entre a pressão característica da profundidade submersa e a pressão característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água proporciona substancialmente toda a força que conduz o processo de filtração, na ausência de um dispositivo mecânico para aumentar a pressão à qual o primeiro lado da membrana é exposto e na ausência de um dispositivo mecânico para reduzir a pressão à qual o segundo lado da membrana é exposto.

**40 - Sistema de Tratamento de Água**, **caracterizado** por que comprehende:

pelo menos uma membrana configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água a ser tratado, a água tendo uma primeira pressão na profundidade submersa, a membrana tendo um lado do concentrado e um lado do permeado;

um coletor em comunicação fluida com o lado do permeado da membrana; e

uma passagem configurada para expor um interior do coletor a uma segunda pressão que é inferior à primeira pressão, em que a exposição do lado do concentrado da membrana à primeira pressão impulsiona um processo de filtração em que o permeado se move através da membrana do lado do concentrado para o lado do permeado.

41 - **Sistema de Filtração de Água**, de acordo com a Reivindicação 40, **caracterizado** por que a segunda pressão é característica da pressão atmosférica na superfície do corpo de água.

42 - **Sistema de Filtração de Água**, de acordo com a Reivindicação 40, **caracterizado** por que a passagem se estende desde o coletor até pelo menos a superfície do corpo de água.

43 - **Sistema de Filtração de Água**, de acordo com a Reivindicação 40, **caracterizado** por que o coletor é a passagem.

44 - **Sistema de Tratamento de Água**, **caracterizado** por que comprehende:

meios para filtrar pelo menos um constituinte de uma água da fonte para produzir uma água tratada, tendo os meios de filtração um lado da água da fonte e um lado da água tratada, em que o lado da água da fonte é configurado para ser exposto a uma pressão hidrostática da água da fonte; e

meios para a coleta da água tratada, em que o meio de coleta é configurado para ser exposto a uma pressão inferior à pressão hidrostática.

45 - **Sistema de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 44, **caracterizado** por que a menor pressão é característica da pressão atmosférica na superfície da água da fonte.

**46 - Sistema de Tratamento de Água, caracterizado** por que compreende:

meios para filtrar uma água da fonte para produzir uma água tratada, tendo o meio de filtração um lado da água da fonte e um 5 lado da água tratada; e

meios para tirar vantagem das condições de pressão ambiental na água da fonte e acima da água da fonte para criar um diferencial de pressão entre o lado da água da fonte e o lado da água tratada suficiente para induzir o permeado a atravessar a partir do lado da 10 água da fonte para o lado da água tratada.

**47 - Sistema de Filtração**, para a produção de água tratada a partir de água de alimentação, **caracterizado** por que o sistema compreende:

pelo menos uma membrana de osmose reversa, em que a membrana é configurada para permitir a passagem da água através da 15 mesma ao mesmo tempo em que restringe a passagem através da mesma de um ou mais íons dissolvidos na água de alimentação, em que a membrana é configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água de alimentação que contém os íons dissolvidos nele, em que a profundidade é de pelo menos cerca de 141 metros, em que 20 um primeiro lado de cada uma das membranas é configurado para ser exposto à água de alimentação numa pressão característica da profundidade submersa e em que um coletor num segundo lado de cada uma das membranas é configurado para ser exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar, por onde, em uso, um diferencial de pressão através de cada uma das membranas impulsiona 25 um processo de filtração por osmose reversa tal que um permeado de uma concentração reduzida de íons dissolvidos é obtido no segundo lado de cada uma das membranas, em que a membrana está situada de tal modo que, em uso, pelo menos uma entre a gravidade e a corrente 30 efetivamente remove um concentrado de maior densidade para fora da

membrana.

48 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que o sistema é configurado para ser submerso num corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 113 metros até cerca 5 de 307 metros, onde a água do mar tem uma salinidade de cerca de 20.000 até cerca de 42.000 ppm.

49 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que o sistema é configurado para ser submerso num corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 247 metros até cerca 10 de 274 metros, onde a água do mar tem uma salinidade de cerca de 33.000 até cerca de 38.000 ppm.

50 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que comprehende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por pelo 15 menos cerca de 1 mm.

51 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que comprehende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por pelo menos cerca de 2 mm.

52 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que comprehende uma pluralidade de membranas, onde cada membrana é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por cerca 20 de 2 mm até cerca de 8 mm.

53 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que comprehende uma pluralidade de membranas, em que 25 cada membrana é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por cerca de 6 mm.

54 - **Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado**

**rizado** por que o coletor é exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar através de uma passagem.

**55 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 54, **caracte-**  
**rizado** por que a passagem é um tubo de respiração.

5 **56 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 55, **caracte-**  
**rizado** por que o tubo de respiração se estende a partir de cerca da profundidade submersa até pelo menos uma superfície do corpo da água de alimentação.

10 **57 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 54, **caracte-**  
**rizado** por que a passagem compreende pelo menos um espaço entre duas membranas.

**58 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracte-**  
**rizado** por que o coletor é um tanque de retenção em comunicação fluida com o ar numa superfície do corpo da água de alimentação.

15 **59 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracte-**  
**rizado** por que ainda compreende uma bomba configurada para transferir o permeado de um primeiro local para um segundo local.

20 **60 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracte-**  
**rizado** por que ainda compreende um tanque de armazenamento de permeado pelo menos parcialmente submerso no corpo da água de alimentação.

25 **61 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 60, **caracte-**  
**rizado** por que o tanque de armazenamento de permeado é pelo menos parcialmente submerso e compreende um material flexível que pode acomodar o enchimento e a descarga de permeado.

**62 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracte-**  
**rizado** por que compreende pelo menos um módulo de membrana, em que o módulo de membrana compreende uma ou mais membranas de

lâmina plana unidas seladas nas bordas para evitar a infiltração da água de alimentação, em que as superfícies externas das membranas de lâmina plana unidas são configuradas para serem expostas à água de alimentação e em que, em uso, o permeado pode ser retirado de entre 5 as lâminas de membrana unidas através de um módulo de coleta de permeado.

**63 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que compreende ainda uma plataforma *offshore* a partir da qual é suspenso o módulo de membrana.

10 **64 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 47, **caracterizado** por que compreende ainda um canal configurado para o transporte de água potável para terra.

**65 - Sistema de Filtração**, para a produção de água tratada a partir de água de alimentação, **caracterizado** por que o sistema compreende:

15 pelo menos uma membrana de nanofiltração, em que as membranas são configuradas para permitir a passagem da água através das mesmas ao mesmo tempo em que restringem a passagem através da mesma de pelo menos um constituinte, em que a membrana é configurada para ser submersa a uma profundidade num corpo de água 20 de alimentação que contém os constituintes, em que a profundidade é de pelo menos cerca de 6 metros, em que um primeiro lado da membrana é configurado para ser exposto à água de alimentação a uma pressão característica da profundidade submersa e em que um coletor num segundo lado de cada uma das membranas é configurado para ser 25 exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica numa superfície do corpo da água de alimentação, por onde, em uso, um diferencial de pressão através da membrana impulsiona um processo de filtração tal que um permeado que tem uma concentração reduzida do constituinte é obtido no segundo lado da membrana, em que a membrana 30 está situada de modo a evitar a tensão superficial de inibir

substancialmente o livre fluxo de água de alimentação através do primeiro lado da membrana.

**66 – Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 65, **caracterizado** por que a profundidade é de pelo menos cerca de 8 metros.

5    **67 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 65, **caracterizado** por que a profundidade é de pelo menos cerca de 10 metros.

10    **68 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 65, **caracterizado** por que o diferencial de pressão entre a pressão característica da profundidade submersa e a pressão característica da pressão atmosférica proporciona substancialmente a força que conduz o processo de filtração.

**69 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 65, **caracterizado** por que o processo de filtração ocorre sem a influência de uma bomba de vácuo.

15    **70 - Sistema de Filtração**, de acordo com a Reivindicação 65, **caracterizado** por que ainda compreende uma bomba de cabeçote positivo configurada para mover o permeado a partir do coletor para a superfície do corpo da água de alimentação.

20    **71 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, **caracterizado** por que o sistema compreende:

25       um primeiro sistema de filtração de passagem, compreendendo o primeiro sistema de filtração de passagem pelo menos uma primeira membrana de nanofiltração configurada para permitir a passagem de água através da mesma enquanto restringe a passagem através da mesma de um ou mais íons dissolvidos, em que a primeira membrana é configurada para ser submersa num corpo de água do mar a uma profundidade de pelo menos cerca de 113 metros, em que um primeiro lado da primeira membrana é configurado para ser exposto à

água do mar a uma pressão característica da profundidade submersa e onde um segundo lado da primeira membrana é configurado para ser exposto a uma pressão característica da pressão atmosférica ao nível do mar ou numa elevação mais alta do que o nível do mar, por onde, em 5 uso, um diferencial de pressão através da primeira membrana conduz um processo de filtração tal que um permeado de salinidade reduzida é obtido no segundo lado da primeira membrana, em que a primeira membrana é configurada de tal modo que, em uso, pelo menos uma entre a gravidade e a corrente efetivamente remove um concentrado de 10 maior densidade para fora da primeira membrana; e

um segundo sistema de filtração de passagem, compreendendo o segundo sistema de filtração de passagem pelo menos uma segunda membrana, em que a segunda membrana é uma membrana de nanofiltração ou uma membrana de osmose reversa.

15 **72 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, de acordo com a Reivindicação 71, **caracterizado** por que um primeiro lado da segunda membrana é configurado para ser exposto ao permeado de salinidade reduzida e é configurado de tal modo que, em uso, um diferencial de pressão é aplicado em toda a segunda membrana para 20 conduzir um processo de filtração tal que um permeado de salinidade ainda mais reduzida é obtido no segundo lado da segunda membrana.

**73 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, de acordo com a Reivindicação 71, **caracterizado** por que o sistema de filtração de primeira passagem é configurado para ser submerso num 25 corpo de água do mar a uma profundidade de cerca de 152 metros até cerca de 213 metros, tendo a água do mar uma salinidade de cerca de 33.000 até 38.000 ppm.

**74 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, de acordo com a Reivindicação 71, **caracterizado** por que compreende 30 uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que

cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por cerca de 1 mm ou mais.

**75 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, de acordo com a Reivindicação 71, **caracterizado** por que compreende 5 uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por cerca de 2 mm ou mais.

**76 - Sistema de Passagem Dupla para a Dessalinização da Água**, de acordo com a Reivindicação 71, **caracterizado** por que compreende 10 uma pluralidade de primeiras membranas de nanofiltração, em que cada uma das primeiras membranas de nanofiltração é espaçada ao lado de uma membrana adjacente por cerca de 2 mm até cerca de 8 mm.

**77 - Método de Tratamento de Água**, **caracterizado** por que o método 15 compreende:

submergir um módulo de membrana numa água da fonte até uma profundidade submersa, compreendendo o módulo de membrana pelo menos uma unidade de membrana, tendo a unidade de membrana um primeiro lado e um segundo lado, em que menos uma 20 parte do segundo lado está em comunicação fluida com um canal coletor e em que o primeiro lado está exposto à água da fonte numa primeira pressão, em que a primeira pressão é característica da profundidade submersa;

25 expor o canal coletor a uma segunda pressão, em que a segunda pressão é suficiente para induzir o permeado a atravessar a partir do primeiro lado para o segundo lado; e

coletar o permeado no sistema coletor.

**78 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

77, **caracterizado** por que a segunda pressão é característica da pressão atmosférica numa superfície da água da fonte ou numa elevação mais alta do que na superfície da água da fonte.

**79 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

5 77, **caracterizado** por que o permeado é induzido a atravessar a partir do primeiro lado para o outro lado sem a utilização de uma bomba de vácuo.

**80 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

10 77, **caracterizado** por que a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de nanofiltração.

**81 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.

**82 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

15 80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.

**83 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.

20 **84 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.

**85 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 30 metros.

**86 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 60 metros.

**87 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 60 metros.

**88 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 5 80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 60 metros até cerca de 244 metros.

**89 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 122 metros até cerca de 152 metros.

10 **90 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 80, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 152 metros até cerca de 183 metros.

15 **91 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 77, **caracterizado** por que a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de osmose reversa.

**92 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 91, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 190 metros.

20 **93 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 91, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 244 metros.

**94 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 91, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 259 metros até cerca de 274 metros.

25 **95 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 77, **caracterizado** por que a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de ultrafiltração.

- 96 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.
- 5      **97 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.
- 10     **98 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.
- 15     **99 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 12 metros até cerca de 18 metros.
- 15     **100 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 22 metros.
- 15     **101 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 95, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 22 metros até cerca de 60 metros.
- 20     **102 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 77, **caracterizado** por que a unidade de membrana compreende pelo menos uma membrana de microfiltração.
- 20     **103 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 102, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 6 metros.
- 25     **104 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 102, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 8 metros.

**105 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 102, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 10 metros.

**106 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 5 102, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de cerca de 12 até cerca de 18 metros.

**107 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 102, **caracterizado** por que o módulo de membrana é submerso a uma profundidade de pelo menos cerca de 7 metros e é ainda configurado 10 para evitar substancialmente arrastamentos de vida aquática, à medida que o permeado passa do primeiro lado do elemento de membrana para o segundo lado do elemento de membrana.

**108 - Método de Tratamento de Água**, **caracterizado** por que, **caracterizado** por que o método compreende:

15                   expor pelo menos uma membrana situada num corpo de água a uma pressão hidrostática característica de uma profundidade de imersão da membrana, tendo a membrana um lado do concentrado e um lado do permeado, onde o lado do permeado está em comunicação fluida com um coletor;

20                   expor pelo menos uma parte de um interior do coletor a uma pressão inferior à pressão hidrostática, por onde o permeado passa do lado do concentrado para o lado do permeado da membrana; e  
                         coletar o permeado do coletor.

**109 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação 25 108, **caracterizado** por que a segunda pressão é característica da pressão atmosférica numa superfície do corpo de água ou numa elevação mais alta do que a da superfície da água.

**110 - Método de Tratamento de Água**, de acordo com a Reivindicação

108, **caracterizado** por que a membrana funciona como o coletor.

**111 - Método de Tratamento de Água, caracterizado** por que o método compreende:

submergir meios para filtrar pelo menos um constituinte indesejado de uma água da fonte, definindo os meios de filtração um lado da água da fonte e um lado da água tratada, em que o lado da água da fonte é exposto a uma pressão hidrostática da água da fonte;

10 expor o lado da água tratada a um sistema de baixa pressão, tendo o sistema de baixa pressão uma pressão inferior à pressão hidrostática, por onde a água tratada passa do lado da água da fonte para o lado da água tratada; e

coletar a água tratada.

**112 - Método de Fabrico de Módulo de Tratamento de Água, caracterizado** por que o método compreende:

15 conectar pelo menos um espaçador da água da fonte a uma primeira unidade de membrana, compreendendo a unidade de membrana duas camadas de membrana espaçadas ao lado por uma camada espaçadora de permeado, tendo a primeira unidade de membrana uma parte de borda selada e uma parte de borda não selada;

20 conectar uma segunda unidade de membrana a um espaçador de água da fonte; e

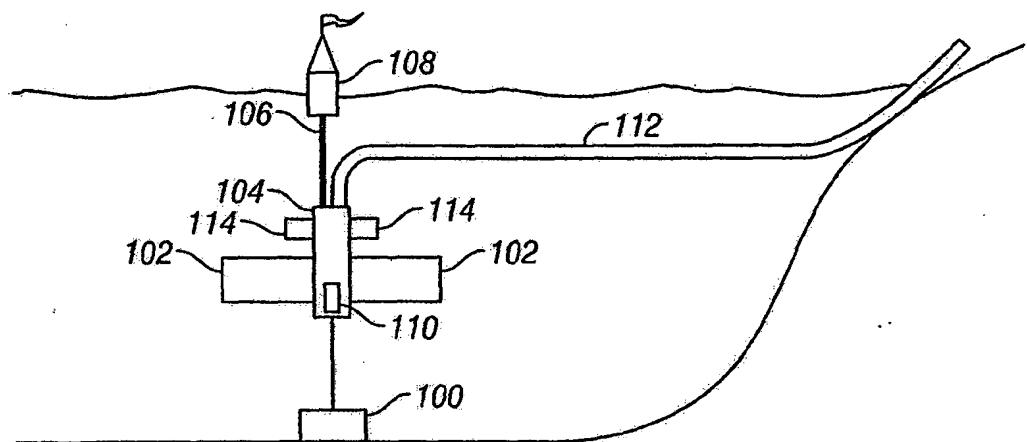
25 acoplar um espaçador coletor às partes de borda não selada da primeira unidade de membrana e da segunda unidade de membrana, em que o espaçador coletor é configurado de modo a formar um selo estanque que separa um lado da água da fonte da primeira unidade de membrana e da segunda unidade de membrana de um lado da água tratada da primeira unidade de membrana e da segunda unidade de membrana.

**113 - Método de Transporte de Água**, a partir de uma instalação de coleta *offshore* para terra, **caracterizado** por que o método compreende:

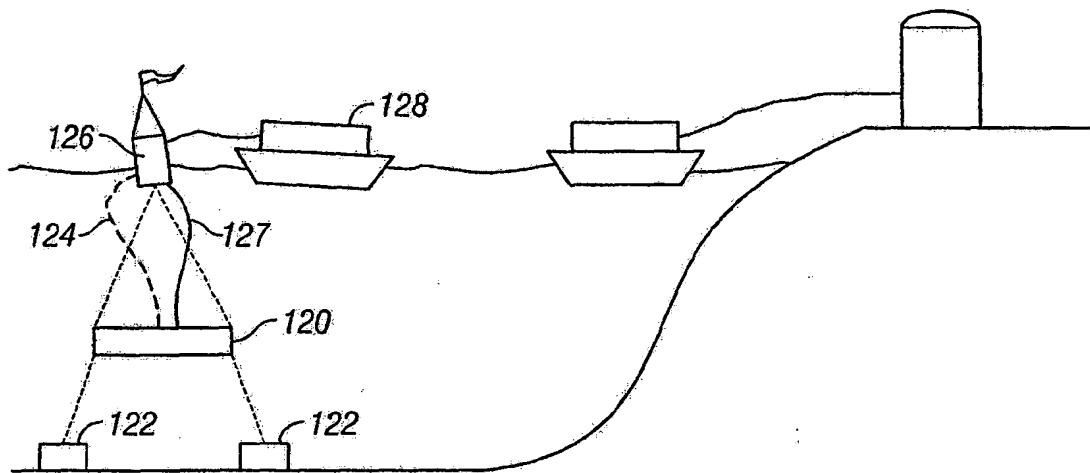
submergir uma unidade de coleta numa primeira profundidade num corpo de água, em que pelo menos uma parte da unidade de coleta é exposta a uma pressão atmosférica; e

proporcionar uma passagem em comunicação fluida com a unidade de coleta, estendendo-se a passagem a partir da unidade de coleta para um local em terra, onde o local em terra está numa elevação inferior à primeira profundidade.

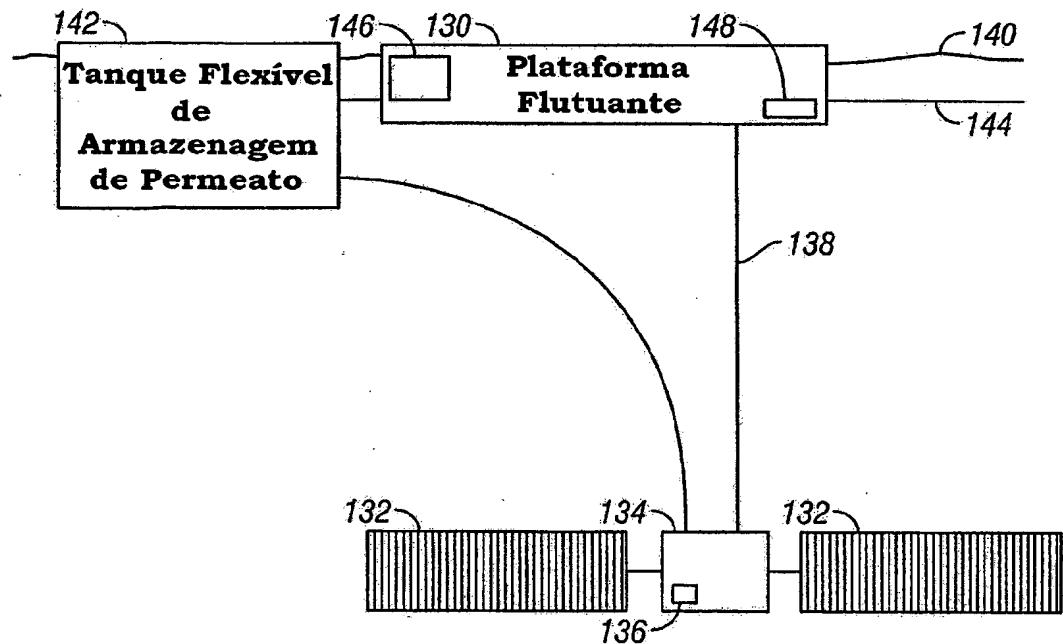
10    **114 - Método de Transporte de Água**, de acordo com a Reivindicação 113, **caracterizado** por que a unidade de coleta compreende pelo menos um elemento de membrana, tendo cada elemento de membrana um primeiro lado e um segundo lado, em que o primeiro lado é exposto a uma pressão característica do corpo de água na primeira profundidade e em que o segundo lado está em comunicação fluida com uma parte da unidade de coleta exposta à pressão atmosférica.



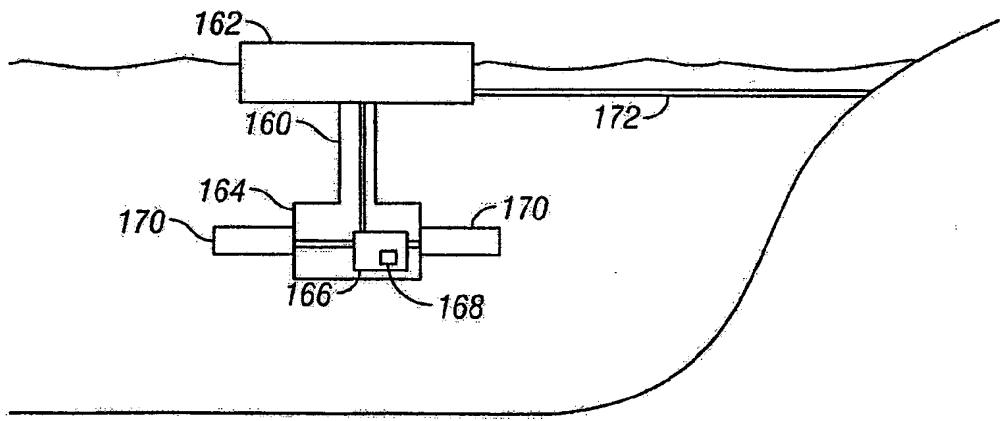
**Figura 1**



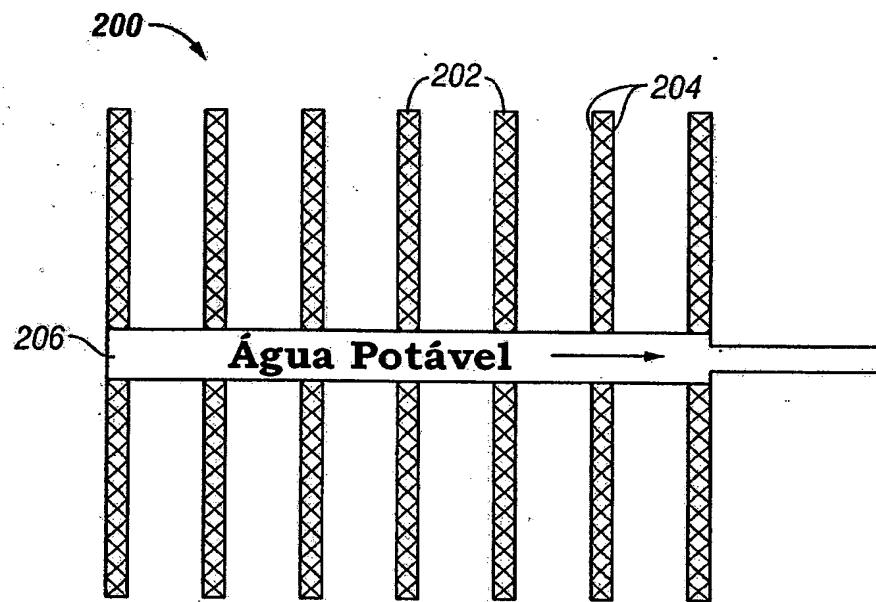
**Figura 2**



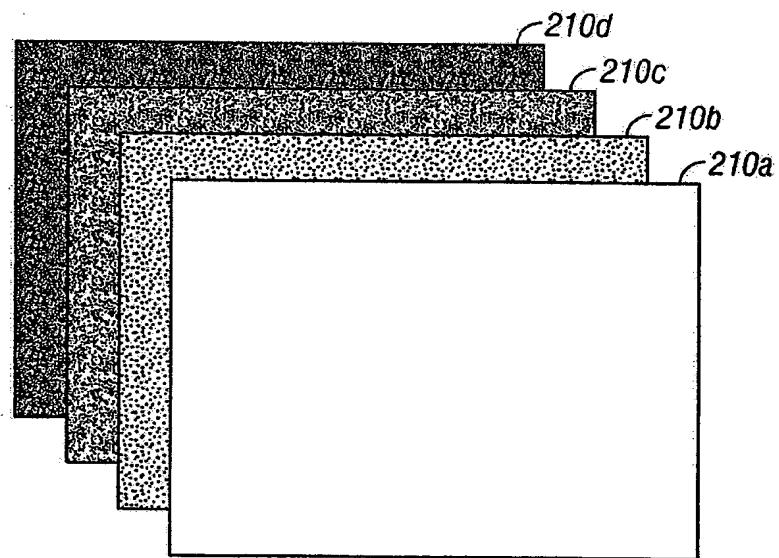
**Figura 3**



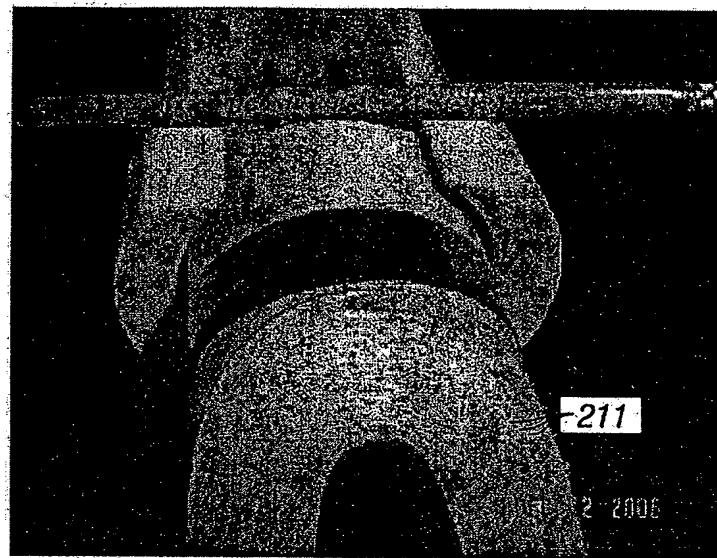
**Figura 4**



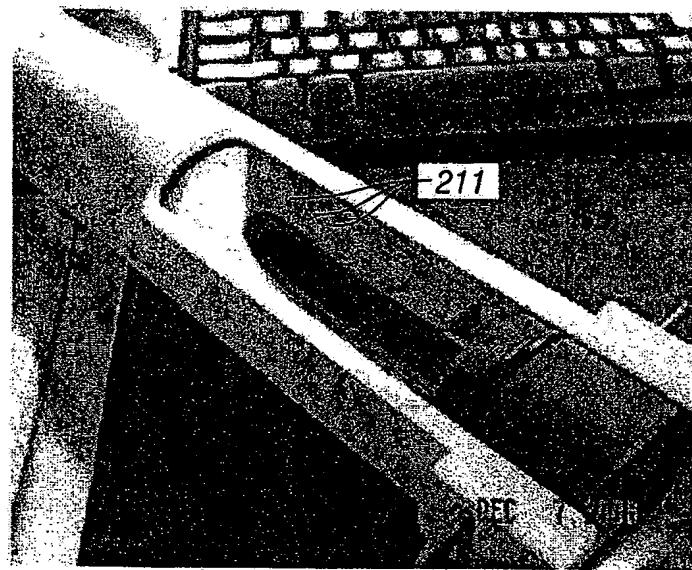
**Figura 5**



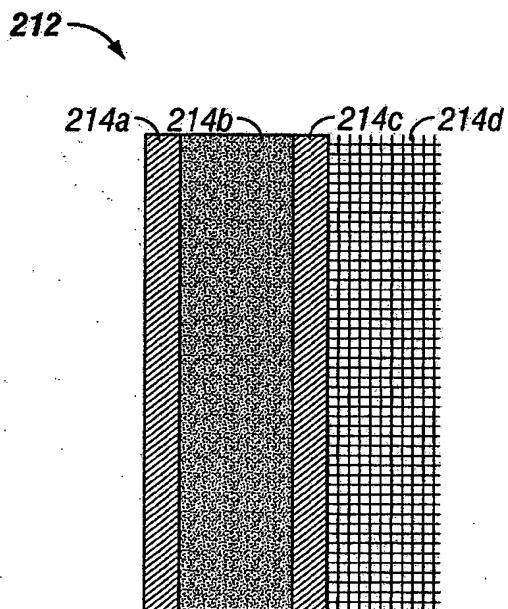
**Figura 6**



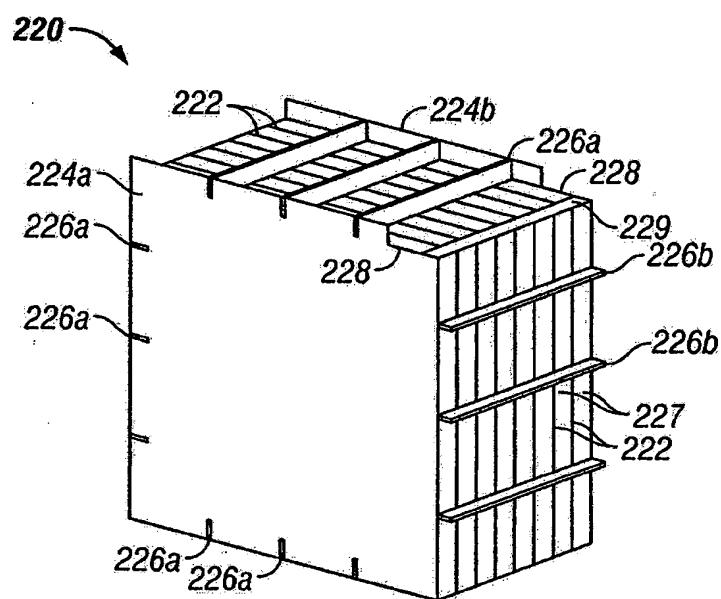
**Figura 7A**



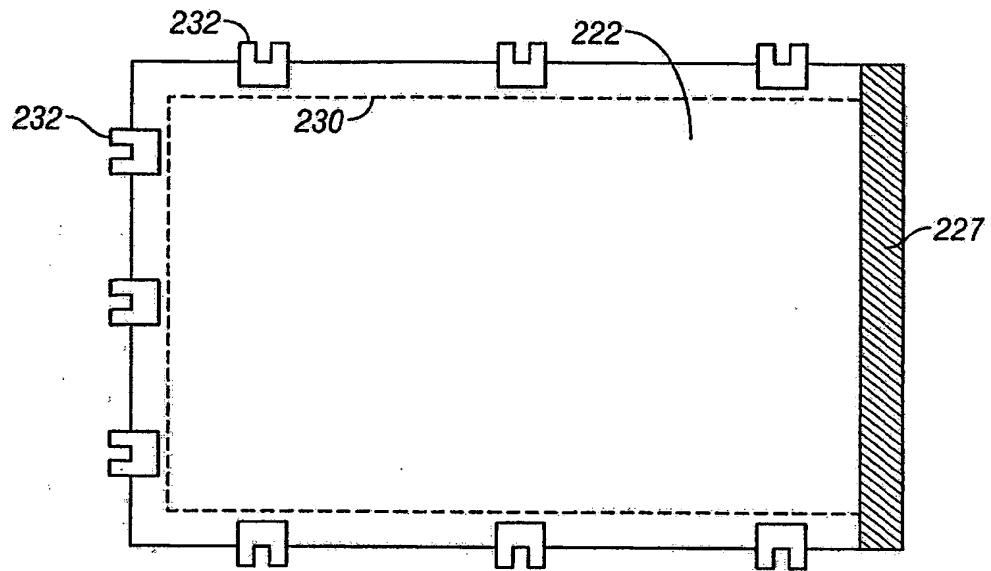
**Figura 7B**



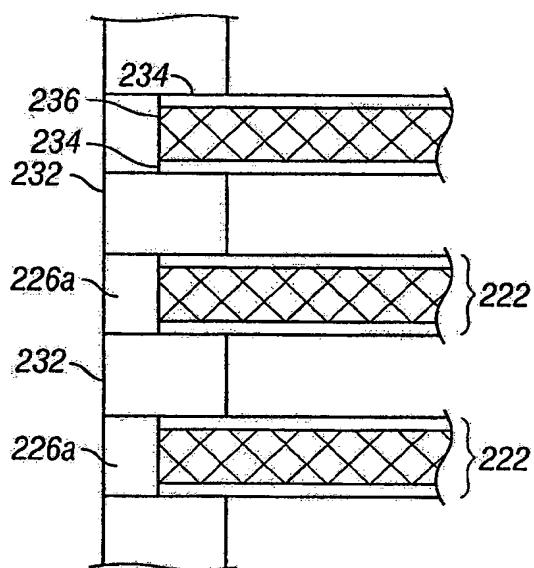
**Figura 8**



**Figura 9A**



**Figura 9B**



**Figura 9C**

7/22

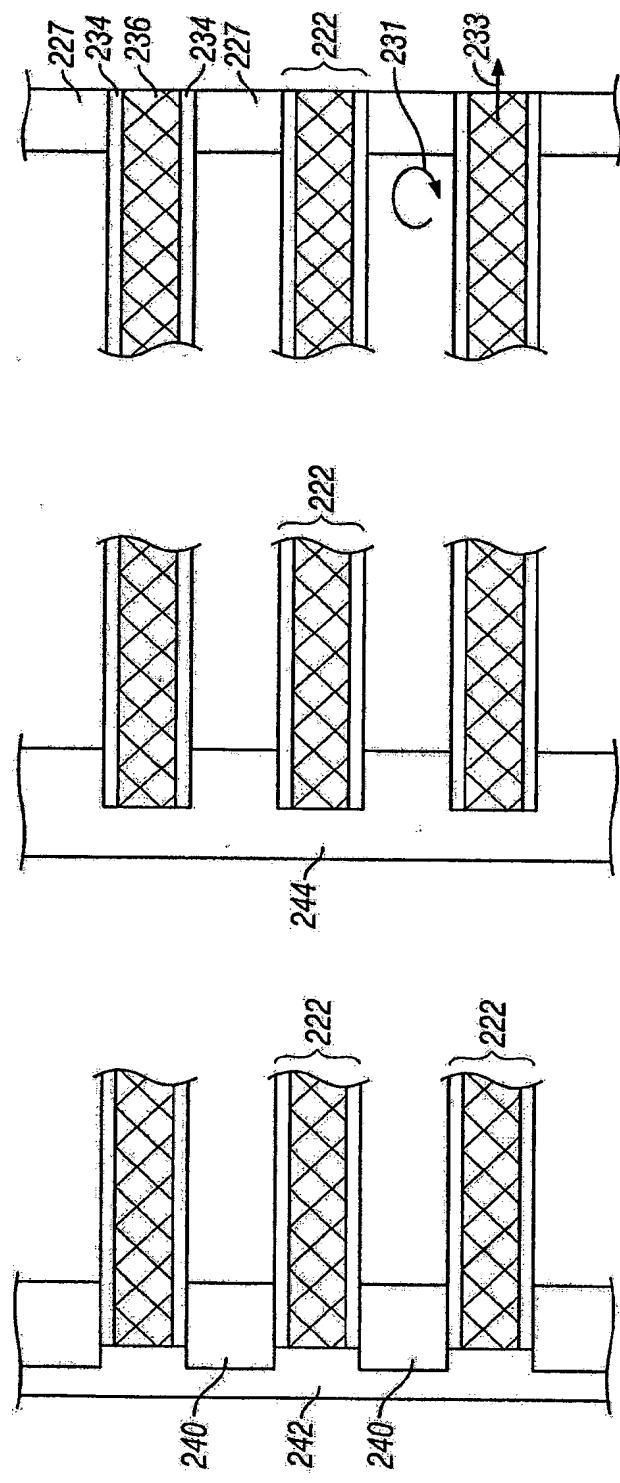
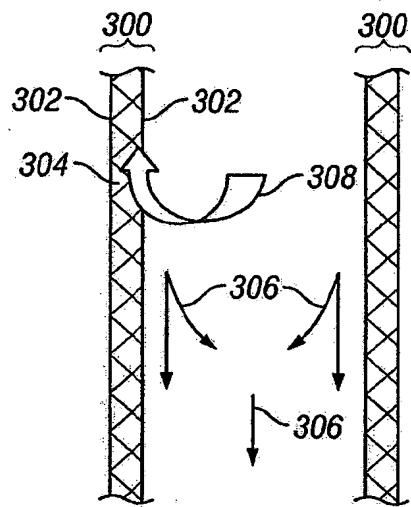


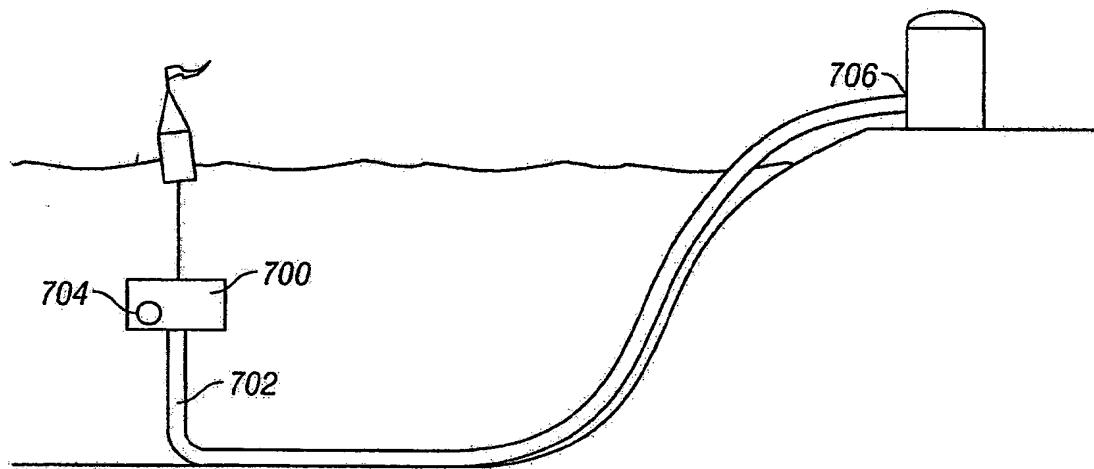
Figura 9D

Figura 9E

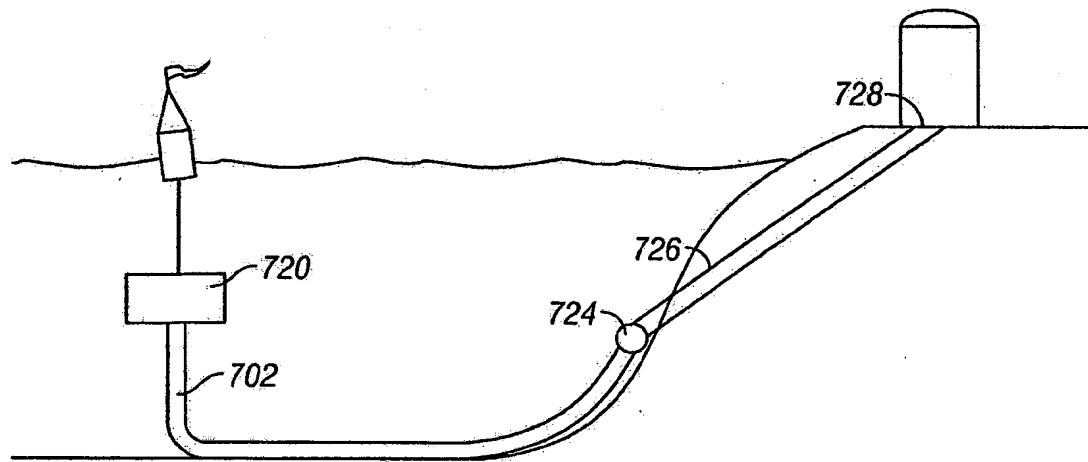
Figura 9F



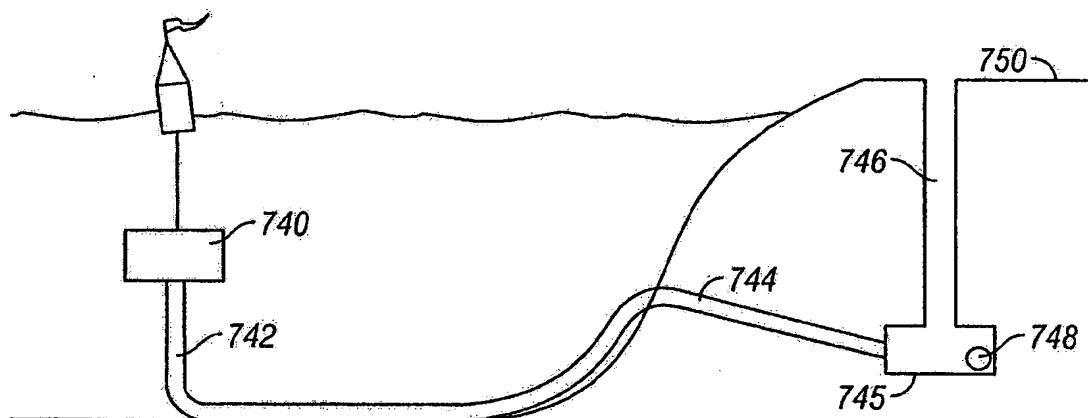
**Figura 10**



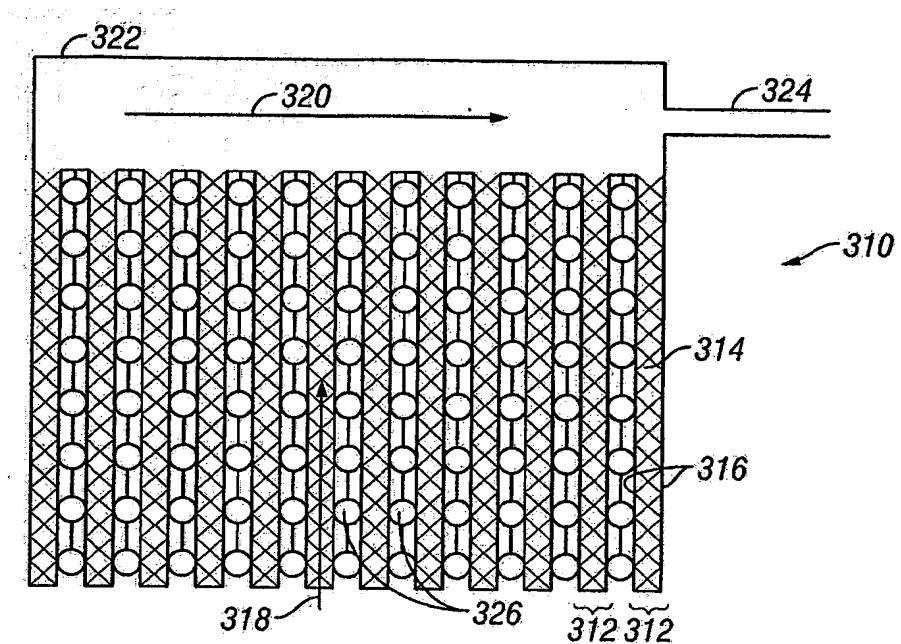
**Figura 11A**



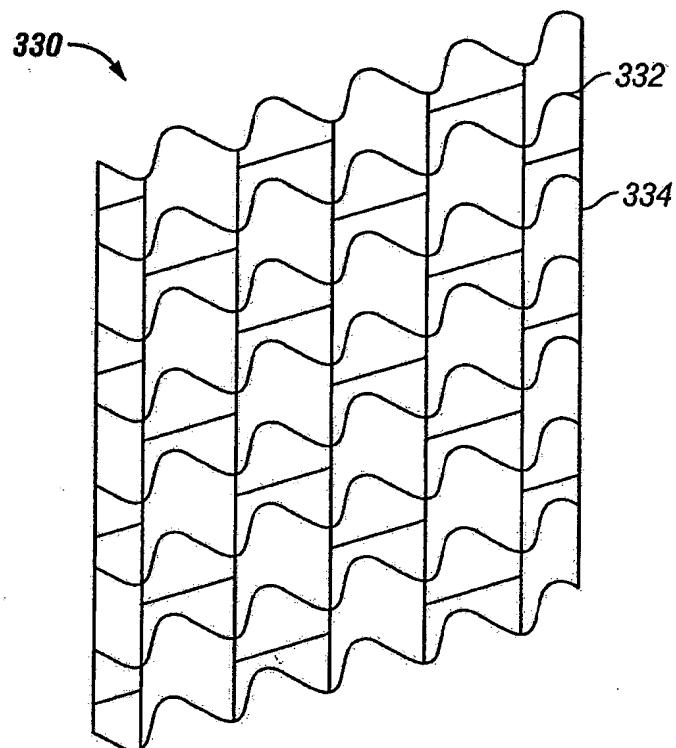
**Figura 11B**



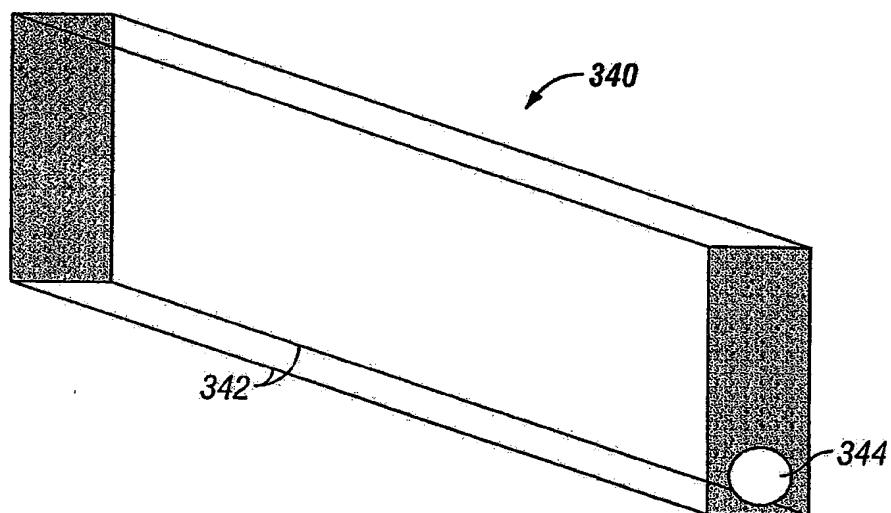
**Figura 11C**



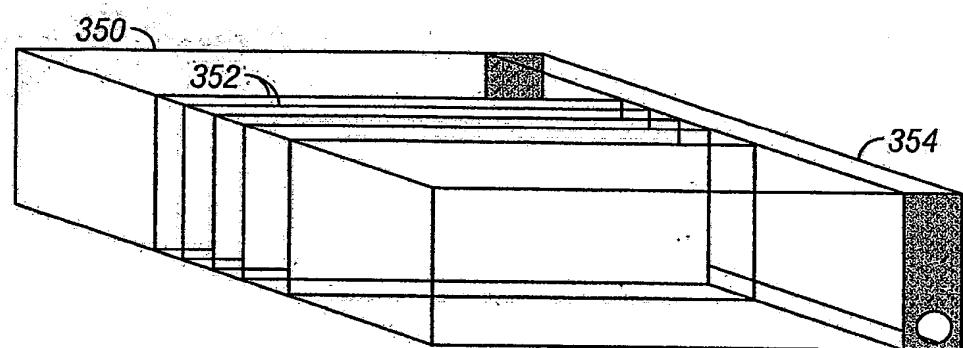
**Figura 12**



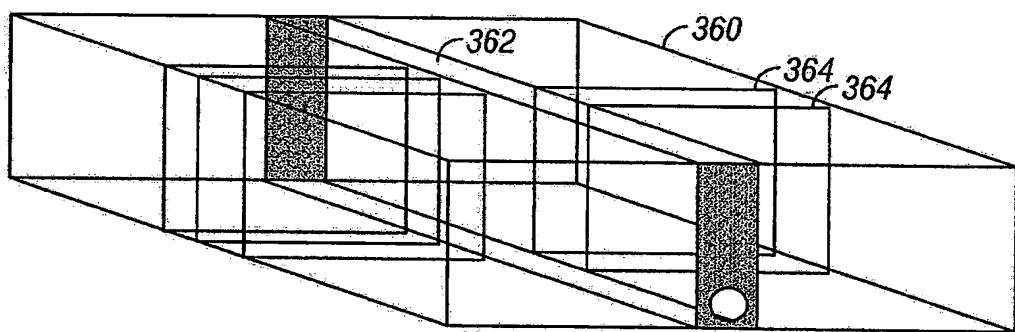
**Figura 13**



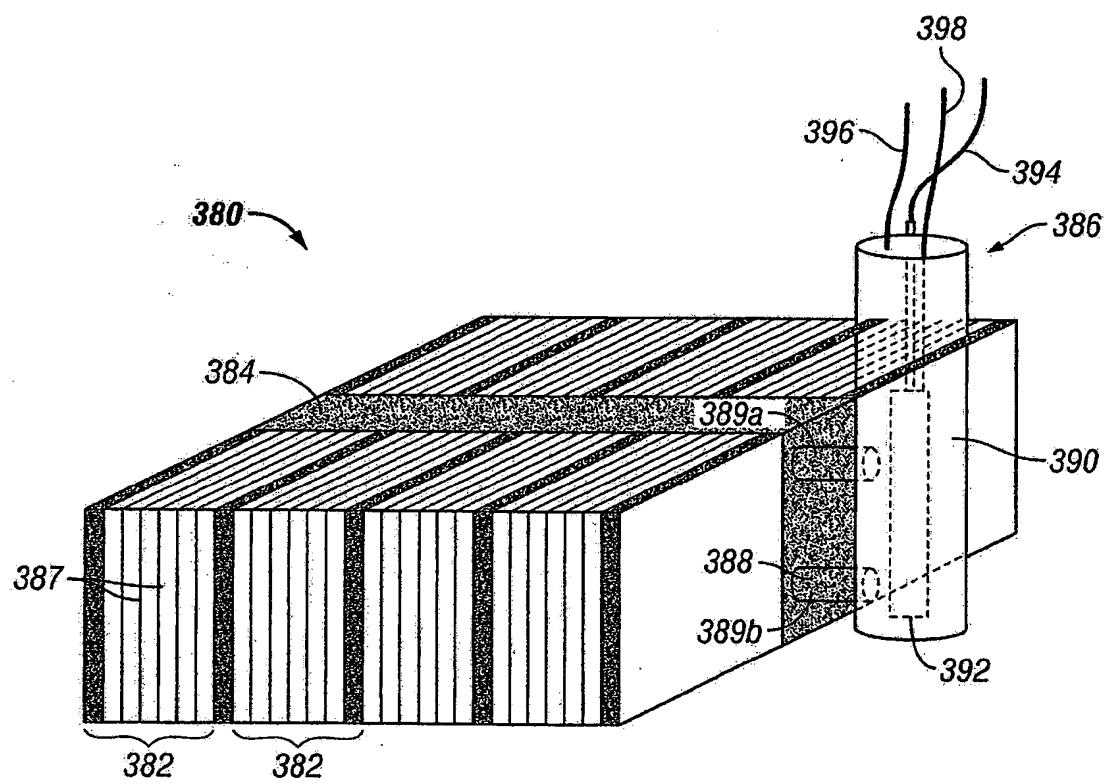
**Figura 14**



**Figura 15A**



**Figura 15B**



**Figura 15C**

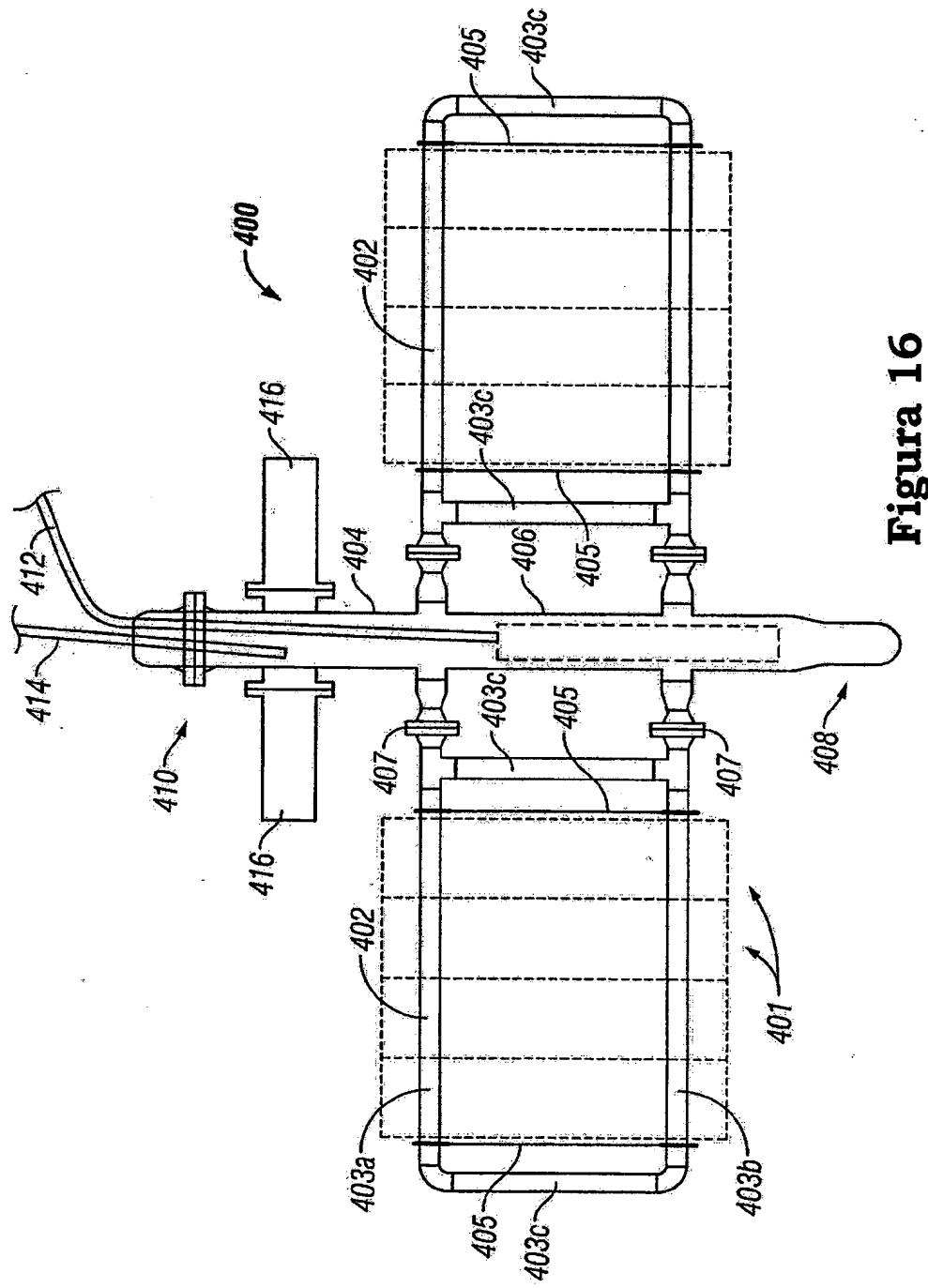
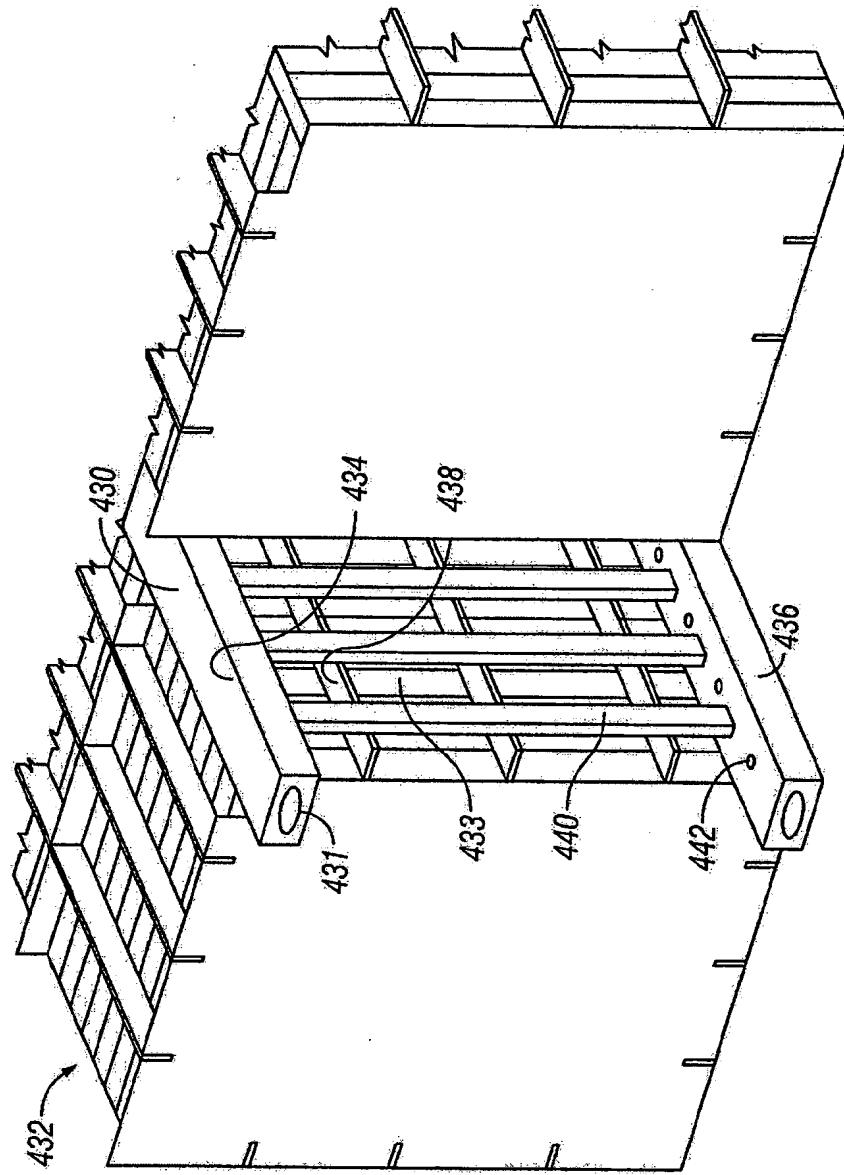


Figura 16



**Figura 17A**

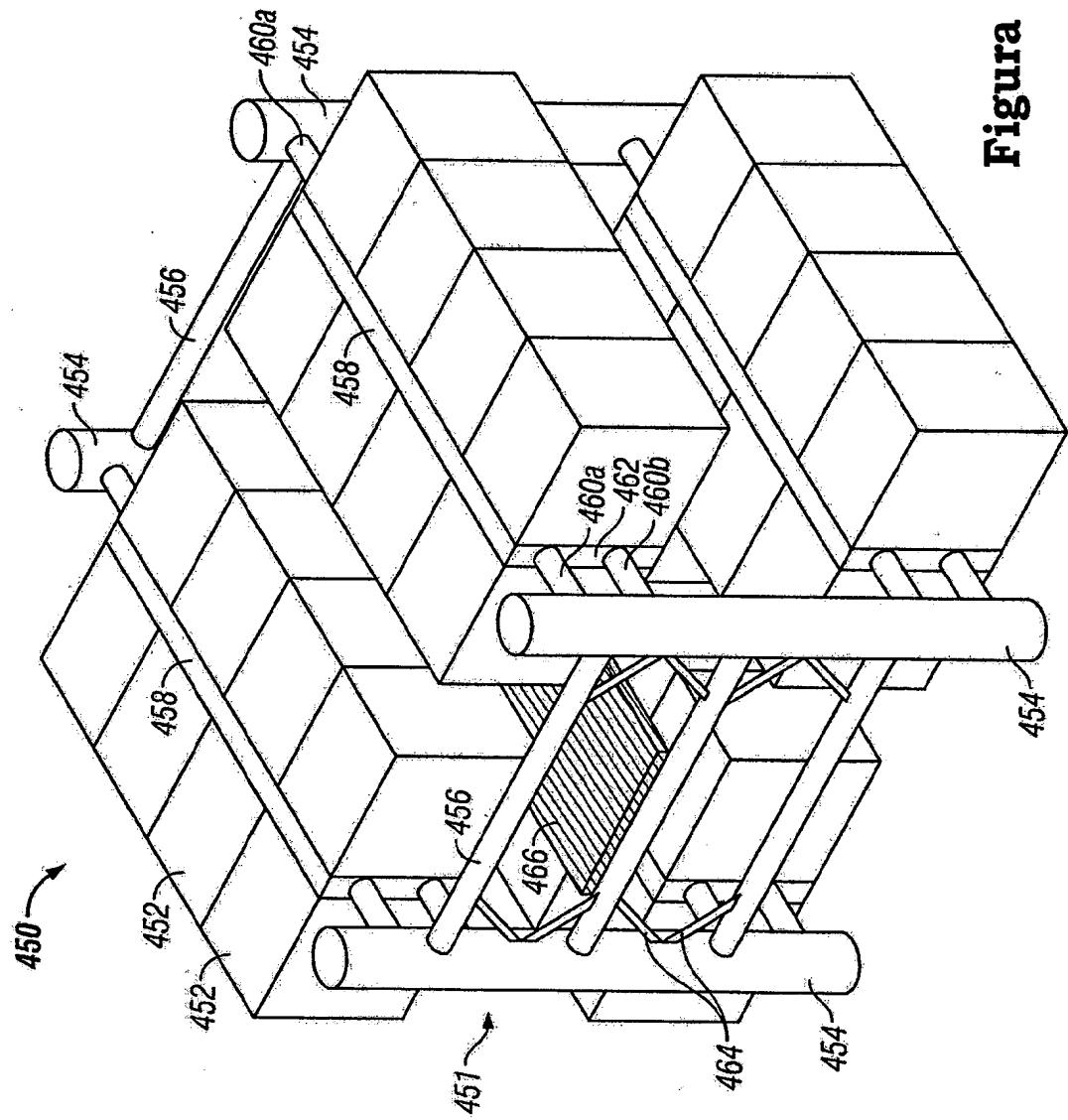
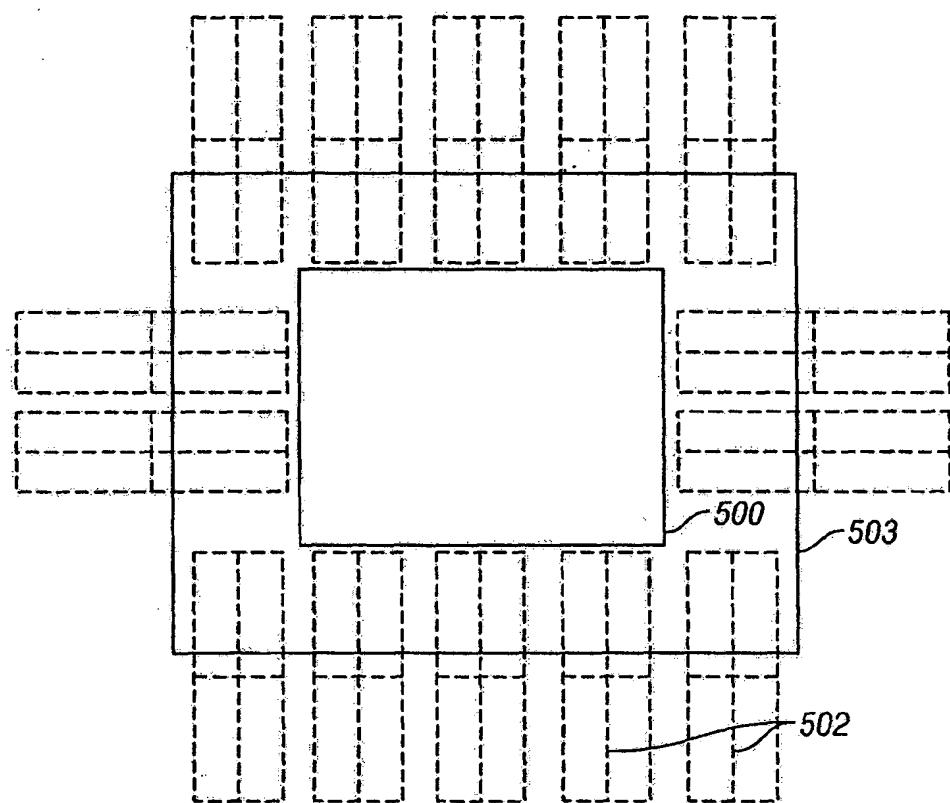
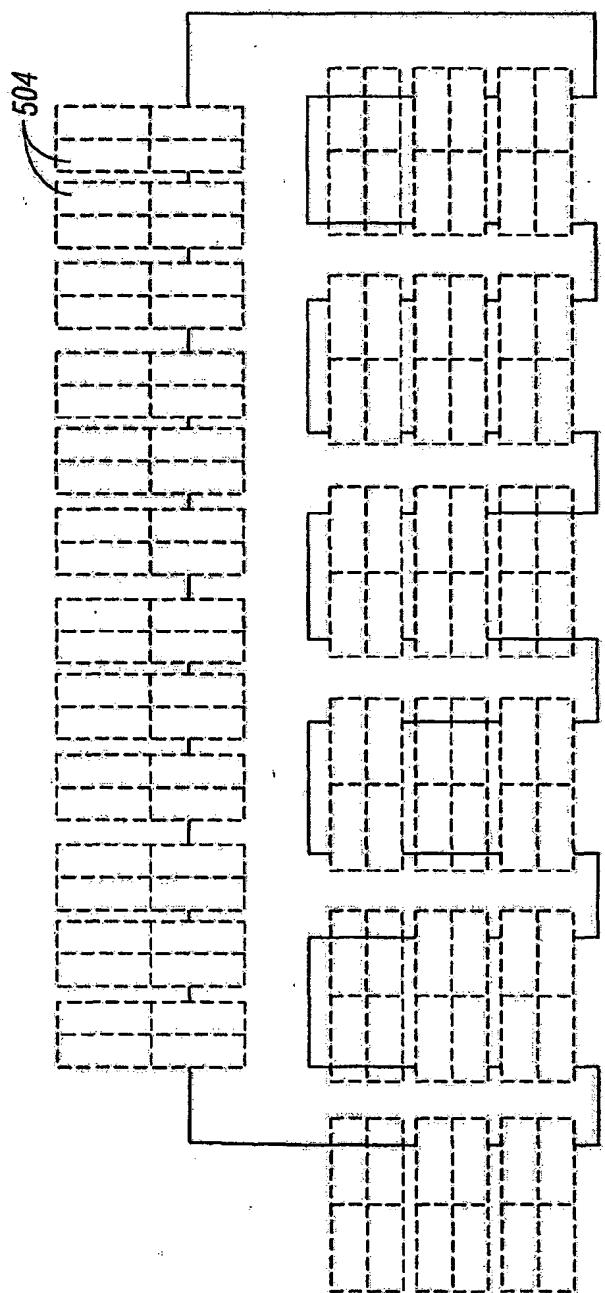


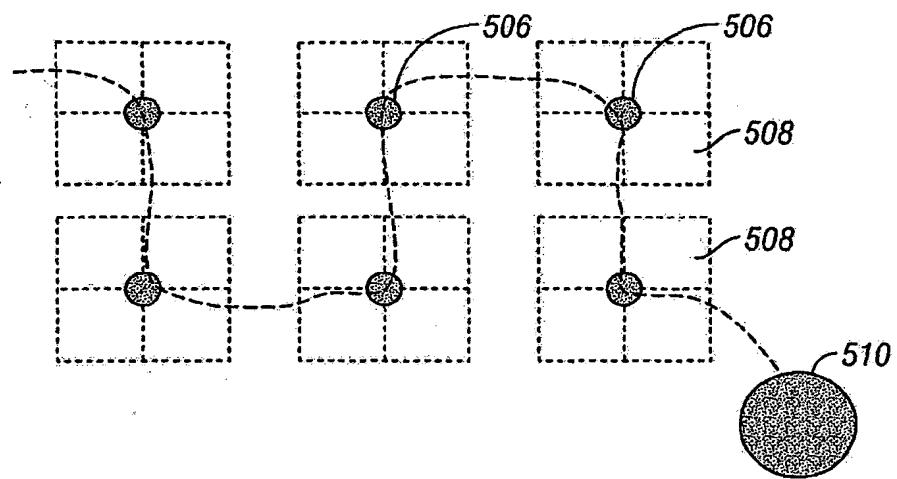
Figura 17B



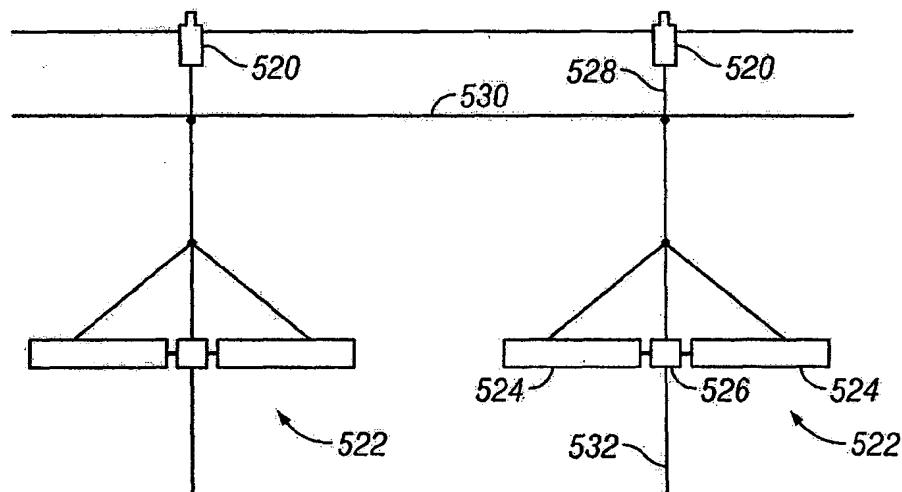
**Figura 18**

Figura 19

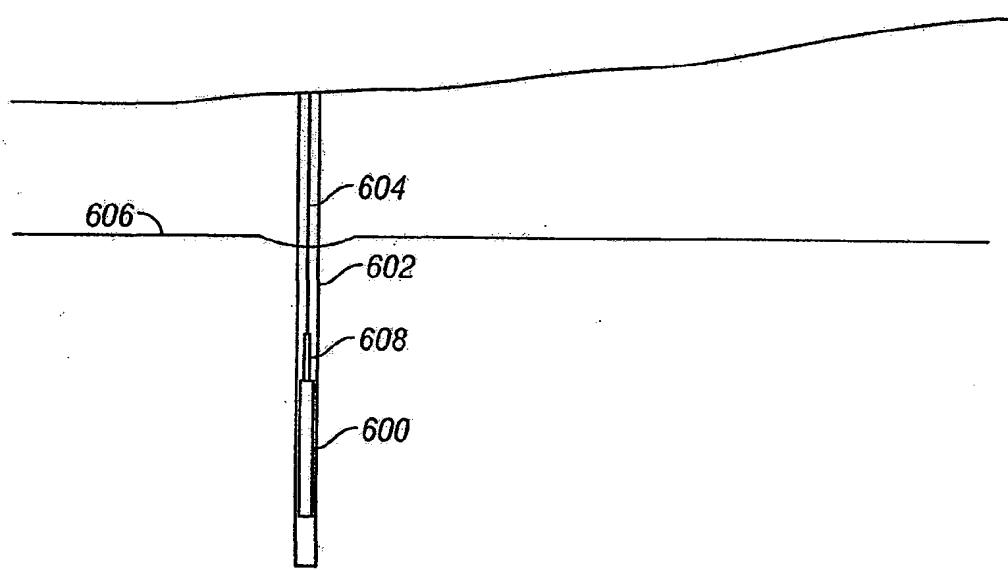




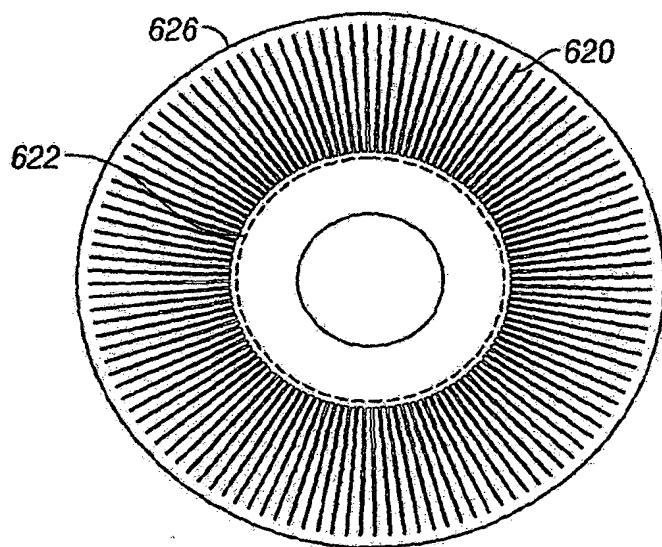
**Figura 20**



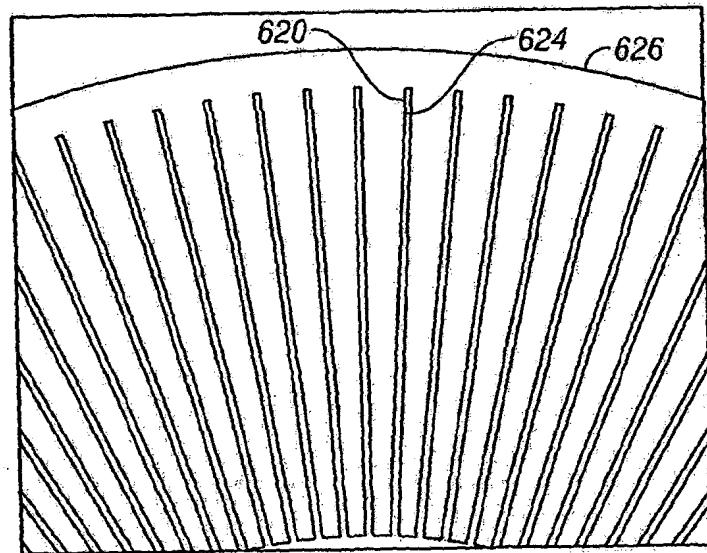
**Figura 21**



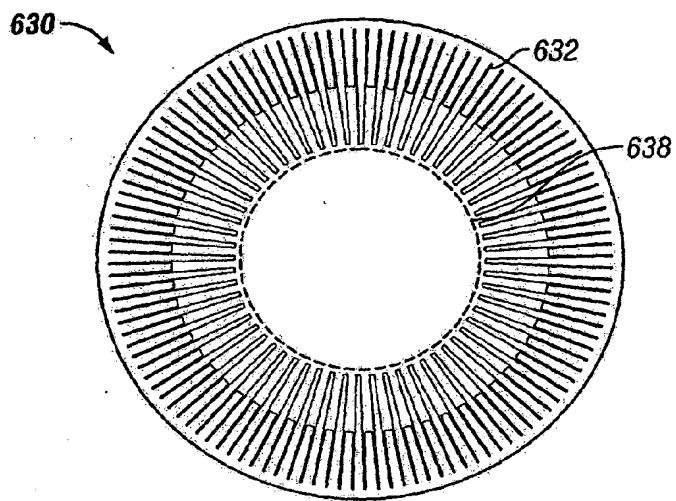
**Figura 22**



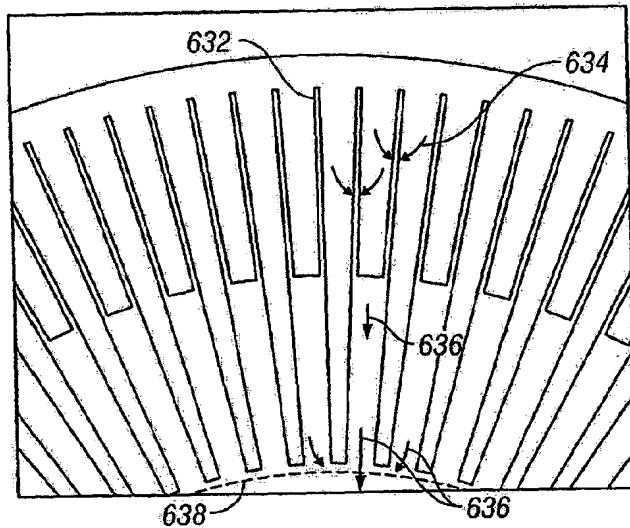
**Figura 23A**



**Figura 23B**



**Figura 24A**



**Figura 24B**

**“Sistemas de Filtração, de Tratamento de Água, de Passagem Dupla  
para a Dessalinização da Água e Métodos de Tratamento de Água,  
de Fabrico de Módulo de Tratamento de Água  
e de Transporte de Água”**

5

**Resumo**

Um sistema de tratamento de água DEMWAX™ inclui módulos de membrana (102) e um canal de coleta (104). Os módulos de membrana (102) estão submersos em profundidade e amarrados a uma ou mais âncoras (100) sobre o fundo do oceano. Um tubo de respiração 10 (106) estende-se entre o canal de coleta (104) e uma bóia (108) que flutua sobre a superfície do oceano para expor o canal de coleta à pressão atmosférica. Uma bomba (110) bombeia o permeado a partir do canal de coleta (104) para a terra através de um cano de permeado (112). Um ou mais tanques de armazenamento de permeado (114) 15 podem opcionalmente ser colocados no sistema, por exemplo, como parte do ou estendendo-se a partir do canal de coleta (104), para proporcionar armazenamento extra.