



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

(21) **PI 0712138-5 A2**

(22) Data de Depósito: 07/06/2007
(43) Data da Publicação: 10/01/2012
(RPI 2140)



(51) *Int.Cl.:*
C02F 1/00

(54) Título: MÉTODO PARA DESTILAÇÃO COM COLUNA MUTIESTÁGIO (MSCD) PARA RECUPERAÇÃO DE SOLUTO OSMÓTICO

(30) Prioridade Unionista: 08/06/2006 US 60/812,383

(73) Titular(es): Yale University

(72) Inventor(es): Menachem Elimelech, Robert L. MC Ginnis

(74) Procurador(es): Nellie Anne Daniel-Shores

(86) Pedido Internacional: PCT US2007013463 de 07/06/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/146094de 21/12/2007

(57) Resumo: MÉTODO PARA DESTILAÇÃO COM COLUNA MUTIESTÁGIOS (MSCD) PARA RECUPERAÇÃO DE SOLUTO OSMÓTICO São descritos método e aparelho para separar solutos e solvente produzidos de uma solução de extração usando uma pluralidade de colunas de destilação. Em uma modalidade, a solução de extração é usada em um processo de dessalinização de água por Osmose Direta (FO). Nesta modalidade, a solução de extração é direcionada para a pluralidade de colunas de destilação em paralelo, enquanto que a corrente de energia (calor) é direcionada para a pluralidade de colunas de destilação em série de maneira tal que a eficiência do uso do calor seja melhorada e, por sua vez, o custo do aquecimento seja reduzido.



PI0712138-5

“METODO PARA DESTILAÇÃO COM COLUNA MUTIESTÁGIOS (MSCD) PARA RECUPERAÇÃO DE SOLUTO OSMÓTICO”

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

5 Este pedido reivindica o benefício do pedido provisório 60/812.383, depositado em 8 de junho de 2006, cujo assunto em questão é incorporado pela referência em sua íntegra.

Declaração Considerando Desenvolvimento de Pesquisa com Patrocínio Federal

Esta invenção foi parcialmente feita com o suporte do governo dos EUA a partir do Office of Naval Research, Título N000140510801. Dessa maneira, o governo dos EUA pode ter certos direitos nesta invenção.

10 Campo Técnico

A invenção diz respeito, no geral, ao campo da separação de solutos e solventes usando uma pluralidade de colunas de destilação. Mais particularmente, a invenção diz respeito à dessalinização de água do mar, dessalinização de água salobra, purificação de água residuária, recuperação de água contaminada, Motores Térmico Osmótico (OHE), ou qual-
15 quer outra aplicação em que é desejável separar solutos e água em uma solução aquosa.

Antecedentes da Invenção

Tecnologias de dessalinização de água do mar e de água salobra oferecem grandes esperanças em aliviar a escassez de água em regiões áridas e densamente povoadas do mundo. O crescente aumento populacional e o aquecimento global do clima criaram dis-
20 paridades sempre crescentes entre os suprimentos e as demandas por fontes de água doce confiável. Em diversos casos, conflitos sobre recursos de água compartilhados exacerbaram tensões já significativas entre estados vizinhos.

Mesmo em áreas com suprimentos de água suficientes, a inconsistente e freqüentemente fraca qualidade da água contribui com doenças e sofrimento que seriam muito me-
25 nos prevalentes se tratamento adequado da água estivesse mais amplamente disponível. A necessidade de aliviar a escassez de água e garantir a boa qualidade da água será um desafio principal para cientistas e engenheiros no próximo século. Muito trabalho foi feito para melhorar as tecnologias de tratamento de água existentes, particularmente, em relação ao aumento da efetividade e à redução do custo dos métodos de tratamento com membrana.
30 Em um método de tratamento com membrana, é usada uma membrana semipermeável, como a parede celular de uma bexiga, que é seletiva em relação ao que ela permite passar através, no geral, permitindo que pequenas moléculas (tal como água) passem facilmente, mas impedindo a passagem de muitos outros compostos. Com a presença de duas solu-
35 ções, cada qual contendo uma diferente concentração de compostos dissolvidos em cada lado da barreira, tipicamente, água se moverá do lado da solução mais diluída para a solução mais concentrada. Eventualmente, a pressão osmótica vai se opor ao processo de difusão exatamente, e o equilíbrio se formará.

Um método de tratamento com membrana é conhecido como Osmose Reversa (RO), que é bem entendido pelos versados na técnica da dessalinização. O processo de RO força um fluxo líquido de moléculas de água de uma solução aquosa com uma maior concentração de compostos nela presentes através de uma membrana semipermeável e para o interior de uma solução com uma menor concentração de compostos dissolvidos. Alta pressão da água no lado da fonte é usada para “reverter” o processo osmótico natural ou direto.

Embora progresso tenha sido feito na diminuição das exigências de energia e, assim, no custo do RO, permanecem desafios a ser superados. Os custos de energia do RO da água do mar e da água salobra ainda são muito altos para uso econômico difundido, grandes correntes de descarga de salmoura continuam a provocar preocupação em relação aos impactos ambientais que elas podem causar, e custos de substituição de equipamentos no longo prazo permanecem significativos.

Em um esforço para abordar alguns dos desafios que ainda são encarados pelas tecnologias de dessalinização da água do mar e da água salobra, métodos de dessalinização por osmose direta com amônia - dióxido de carbono (FO) foram desenvolvidos. Processos FO são descritos, por exemplo, na patente US 6.391.205 e na publicação do pedido de patente 2005/0145568, cujos conteúdos são aqui incorporados pela referência em suas íntegras. Vantagens-chaves do processo FO, se comparado com o RO, incluem menores custos de energia, alta recuperação de água de alimentação, e minimização de descarga de salmoura.

No processo FO com amônia – dióxido de carbono, uma membrana semipermeável de um tipo similar àquele usado no RO é usada para separar água doce de uma fonte de água de alimentação salina. No RO, esta separação é acionada por um gradiente de pressão hidráulica através da membrana, gerada em uma magnitude significativamente em excesso em relação ao gradiente de pressão osmótica que resiste ao fluxo de água doce (fluxo de permeado) da fonte de água de alimentação salina. O processo FO usa a tendência natural de a água fluir na direção da maior pressão osmótica (na direção de uma solução mais concentrada) para extrair água da corrente de alimentação salina para o interior de uma “solução de extração” altamente concentrada, separando efetivamente a água doce permeável da corrente de água de alimentação salina. Um diagrama esquemático de um processo FO com amônia – dióxido de carbono da tecnologia anterior é mostrado na figura 1.

As membranas usadas no processo FO com amônia – dióxido de carbono são similares àsquelas usadas no processo RO. Uma diferença significativa fica nas altas pressões hidráulicas que as membranas RO devem sustentar. Esta exigência leva ao uso de uma camada de tecido de suporte (freqüentemente, até 100 microns de espessura) na membrana para aumentar sua resistência, uma adição que diminui significativamente o desempenho do fluxo quando membranas deste tipo são usadas em um processo FO. Testes FO condu-

zidos usando uma membrana especificamente fabricada para FO, de maneira tal que nenhuma camada de reforço de tecido fosse incluída no seu projeto, demonstraram um desempenho de fluxo acima de dez vezes maior do que membranas do RO reforçadas com tecido de composição química similar.

5 O impacto negativo no desempenho do FO associado com as membranas RO é em função da polarização da concentração interna (ICP) da solução de extração no suporte de tecido da membrana. Neste fenômeno, o permeado que penetra na densa membrana (camada de rejeição) dilui a solução de extração na camada de suporte, de maneira tal que a pressão osmótica efetiva seja enormemente diminuída na densa superfície da membrana.
10 Na maioria dos casos, a taxa da difusão do soluto na direção da densa camada é insuficiente para neutralizar completamente a diluição ocasionada pelo fluxo de água para longe dela. Este fenômeno pode não ser neutralizado pelo aumento da vazão ou turbulência tangencial da solução de extração, etapas normalmente efetivas na redução da polarização da concentração externa, já que o fenômeno ICP ocorre nos limites do suporte poroso.

15 Embora a eliminação da camada de tecido da construção da membrana melhore o fluxo FO significativamente, os efeitos da ICP não são completamente resolvidos por esta modificação. Alguns efeitos permanecem no suporte de polímero poroso não tecido integral com as estruturas de membrana compósitas assimétricas ou de fino filme. Esta camada porosa, com aproximadamente 50 microns de espessura, sustenta a densa camada de membrana onde ocorre a rejeição de soluto. A densa camada, freqüentemente, com somente
20 diversos microns de espessura, deve ser reforçada por esta estrutura de suporte a fim de sustentar o tratamento e as forças de cisalhamento do fluido que, em outras circunstâncias, rasgariam a superfície de membrana. Isto resulta na contínua redução na pressão osmótica efetiva em relação àquela que seria realizada se uma densa membrana de separação fosse
25 usada sozinha.

A redução na efetiva pressão osmótica em função da ICP pode ser expressa em termos de uma "razão de desempenho de membrana" (P_m), definida como a razão de experiência ou fluxo medido (J_{exp}) pelo fluxo teórico calculado a partir da diferença de pressão osmótica entre as soluções alimentada e de extração (J_{thr}):

30
$$P_m = \frac{J_{exp}}{J_{thr}}$$

A razão de desempenho de membrana no FO pode ser bastante baixa, em alguns casos, tão baixa quanto 2 - 3 %, mesmo durante o uso de uma membrana especificamente projetada para FO. As ineficiências das baixas razões de desempenho de membrana não
35 são limitantes da operação do processo FO, entretanto, contanto que concentrações da solução de extração suficientemente altas sejam empregadas. Demonstrou-se que o fluxo da membrana pode ser estabelecido igual ou superior àquele típico do RO, e que recuperações

de água do mar de até 75 % foram alcançadas com base na efetiva separação da água de uma corrente de alimentação de NaCl 2 molar.

Para a efetiva dessalinização FO, a solução de extração deve ter uma alta pressão osmótica e conter solutos que sejam simples e econômicos para remover e reusar. No processo FO com amônia – dióxido de carbono, a solução de extração é composta por sais de amônio formados a partir da mistura de gases de amônia e de dióxido de carbono na solução aquosa. As espécies de sais formadas incluem bicarbonato de amônio, carbonato de amônio e carbamato de amônio. Destes, carbamato de amônio é, de longe, o mais solúvel. Outras soluções de extração podem utilizar etanol e outros solutos de extração termicamente removíveis.

Uma característica importante das soluções de extração com amônia – dióxido de carbono é a proporção de amônia por dióxido de carbono nos sais de amônio. Quanto maior for a proporção de amônia por dióxido de carbono na solução de extração, maior é a concentração de carbamato de amônio em relação às outras espécies dissolvidas. Isto permite uma maior concentração total de sais de amônio, levando a uma maior pressão osmótica na solução. Por exemplo, a solubilidade máxima de bicarbonato de amônio em temperatura ambiente é de cerca de 2 molar, mas a adição de amônia em uma solução como esta favorece a formação de carbamato de amônio (e, em uma quantidade muito menor, de carbonato de amônio), o que permite que dióxido de carbono adicional seja adicionado, e assim por diante, permitindo que altas concentrações totais de sais de amônio sejam dissolvidas. A elevação na temperatura da solução também leva a alguma elevação na solubilidade do soluto, mas o mecanismo primário responsável por altas concentrações da solução de extração é a proporção dos gases que formam os sais. Por sua vez, a geração das altas pressões osmóticas permite a geração tanto de grandes fluxos de água quanto de grandes recuperações de água de alimentação no processo de dessalinização FO.

Uma vez que o gradiente de pressão osmótica criado pelo processo FO faz com que água doce flua através da membrana da alimentação de água salina para a solução de extração, a solução de extração diluída deve ser tratada para a separação dos sais de amônio. Este processo de separação (também referido como o processo de recuperação) é baseado na decomposição térmica dos sais bicarbonato, carbonato e carbamato de amônio em gases amônia e dióxido de carbono que ocorre quando uma solução que contém estes solutos é aquecida em uma temperatura e pressão apropriadas. Na pressão atmosférica, esta decomposição ocorre em cerca de 60 °C. Em pressões mais baixas, a temperatura de decomposição diminui proporcionalmente. Este aquecimento, decomposição e a extração e reciclagem dos gases amônia e dióxido de carbono podem ser realizados em uma única ou em múltiplas colunas de destilação, produzindo, como seus produtos, água doce e solução de extração reconcentrada para reuso no sistema com membrana FO. A água produzida por

este processo pode ser especificada para conter significativamente menos do que 1 ppm de amônia e dióxido de carbono, como é apropriado para uso potável.

Uma abordagem simples e comprovada para a remoção e reciclagem dos solutos de extração da solução de extração FO diluída é o uso de uma coluna de destilação, que também é conhecida como uma coluna de absorção refulvedora ou extratora. Por exemplo, agora, esta abordagem é empregada na extração de vários solutos voláteis de correntes de águas residuárias e de processo, e para a reciclagem de carbamato de amônio como gases amônia e dióxido de carbono na produção de uréia. Dependendo da temperatura do aquecimento a ser usada no sistema de recuperação, uma ou diversas colunas de destilação podem ser usadas.

Uma abordagem simples e com baixo custo de energia para recuperação de solutos no processo FO é o uso de uma única coluna de destilação a vácuo. Uma representação esquemática de uma única coluna de destilação a vácuo típica da tecnologia anterior é mostrada na figura 2. Esta configuração é especialmente usada quando a fonte de energia térmica estiver em baixas temperaturas, de cerca de 40 até cerca de 44 °C. Da forma mostrada na figura 2, o aquecimento em temperaturas tão baixas quanto 40 °C é introduzido em um dispositivo de transferência de calor, aqui, o exterior da superfície de troca de calor do refulvedor (1) para induzir o vapor d'água a subir em uma coluna de destilação (a) à medida que a solução de extração diluída (introduzida no topo da coluna) (2) cai em cascata para baixo em um fluxo contra a corrente. A transferência de energia do vapor ascendente para o líquido cadente ocasiona a separação fracionária da amônia e dióxido de carbono mais voláteis da água menos volátil, de maneira tal que haja uma maior fração de amônia e dióxido de carbono mais alto na coluna do que em pontos mais baixos da coluna. Em operação em estado estacionário, a água produzida (3) que sai da base da coluna pode ser especificada contendo menos de 1 ppm de amônia e dióxido de carbono. Os solutos recuperados / separados são reintroduzidos na solução de extração concentrada através de uma saída (4) da coluna de destilação (a). A energia exigida para esta abordagem é quase inteiramente térmica, com uma pequena quantidade de energia elétrica adicional usada para bombeamento do fluido na coluna.

Como exposto, vantagens-chaves do processo FO incluem menores custos de energia, maior recuperação de água de alimentação, e minimização de descarga de salmoura. Os inventores da presente invenção determinaram que o custo da energia térmica exigida em um processo de dessalinização FO pode ser diminuído ainda mais se a eficiência do uso do aquecimento for aumentada. Os inventores determinaram adicionalmente que isto pode ser realizado pelo uso de fontes de calor com temperatura mais alta em conjunto com uma pluralidade de colunas de destilação. Esta abordagem aumenta a eficiência do uso do aquecimento e corta o uso de energia do processo de recuperação (separação dos solutos

da solução de extração e da água produzida da solução de extração) em mais de 70 % em relação ao uso de uma única coluna de destilação.

Sumário da Invenção

5 É um objetivo da presente invenção separar solutos e solventes da solução de extração usando uma pluralidade de colunas de destilação. Por exemplo, é um objetivo da presente invenção fornecer melhores arranjos e processos para dessalinização da água do mar, dessalinização da água salobra, purificação de água residuária e recuperação de água contaminada.

10 É um outro objetivo da presente invenção melhorar a eficiência de aquecimento de um processo de dessalinização FO usando uma pluralidade de colunas de destilação.

É um objetivo adicional da presente invenção produzir máxima saída de solvente produzido para uma quantidade fixa de aquecimento.

15 Dessa maneira, a invenção compreende os recursos da construção, combinação dos elementos, arranjo de partes e seqüência de etapas que serão exemplificados na construção, ilustração e descrição apresentadas a seguir, e o escopo da invenção será indicado pelas reivindicações.

Para este fim, a presente invenção, de modo geral e de acordo com uma primeira modalidade, é direcionada a um aparelho que compreende:

uma primeira coluna de destilação que compreende:

20 uma primeira entrada acoplada em uma fonte de solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da primeira coluna de destilação;

um primeiro dispositivo de transferência de calor acoplado na primeira coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito primeiro dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada em uma fonte de energia térmica e uma saída acoplada na primeira coluna de destilação para introduzir energia térmica na primeira coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação vaporize;

uma primeira saída para remover a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação; e

30 pelo menos uma segunda coluna de destilação que compreende:

uma primeira entrada acoplada na fonte da solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da segunda coluna de destilação;

um segundo dispositivo de transferência de calor acoplado na segunda coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito segundo dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada na primeira saída da primeira coluna de destilação para fornecer uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação e uma saída acoplada na segunda coluna de destilação para introduzir energia térmica na segunda colu-

na de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na segunda câmara de destilação vaporize.

É um outro objetivo desta invenção fornecer um método para separar solutos e solventes produzidos da solução de extração em um processo de dessalinização FO de maneira tal que a eficiência do uso do aquecimento aumente.

Para este fim e, novamente, de modo geral, a presente invenção, em uma outra modalidade preferida, também é direcionada para um método que compreende as etapas de:

introduzir solução de extração em cada uma de pelo menos uma primeira coluna de destilação e de pelo menos uma segunda coluna de destilação;

aplicar energia térmica de uma fonte de energia térmica em um primeiro dispositivo de transferência de calor da primeira coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação;

direcionar a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação para um segundo dispositivo de transferência de calor da segunda coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na segunda coluna de destilação;

de acordo com o que os solutos e solventes produzidos contidos na solução de extração nas pelo menos primeira e segunda colunas de destilação sejam separados.

Recursos, vantagens e modalidades adicionais da invenção podem ser apresentados ou ficar aparentes a partir da consideração da seguinte descrição detalhada, desenhos e reivindicações. Além do mais, entende-se que tanto o Sumário da Invenção quanto a Descrição Detalhada seguinte são exemplares, e pretende-se que forneçam explicação adicional sem limitar o escopo da invenção reivindicada.

Descrição Resumida dos Desenhos

Para um entendimento mais completo da invenção, é feita referência à descrição seguinte considerada em conjunto com os desenhos anexos, nos quais:

a figura 1 é um diagrama esquemático de um processo de dessalinização FO com amônia – dióxido de carbono de acordo com a tecnologia anterior;

a figura 2 é uma representação esquemática de uma única coluna de destilação a vácuo também de acordo com a tecnologia anterior;

a figura 3 é uma representação esquemática de uma modalidade da presente invenção;

a figura 4 é uma representação esquemática de uma outra modalidade da presente invenção;

a figura 5 é uma representação gráfica do relacionamento entre a temperatura do

aquecimento suprido ao processo de recuperação / separação FO e a quantidade daquela energia exigida para separar solutos e solventes produzidos da solução de extração – GOR. GOR é uma medida freqüentemente usada da eficiência dos sistemas de dessalinização térmicos, com maiores valores GOR indicando maiores eficiências térmicas;

5 a figura 6 é uma representação gráfica do trabalho equivalente de um processo de dessalinização FO;

a figura 7 é uma representação gráfica do relacionamento entre a solução de extração diluída e carga calorífica como GOR;

10 a figura 8 é uma representação gráfica do relacionamento entre a concentração da solução de extração diluída e o trabalho equivalente.

Também, embora nem todos os elementos estejam rotulados em todas as figuras, todos os elementos com o mesmo número de referência indicam partes similares ou idênticas.

Descrição das Modalidades Preferidas

15 Os inventores descobriram que há benefícios no uso de múltiplas colunas de destilação para a separação / recuperação dos solutos e solventes produzidos da solução de extração, especialmente quando fontes de calor com temperaturas mais altas estiverem disponíveis em custos que favorecem seu uso, ou quando um critério primário do projeto for produção máxima de água para uma quantidade fixa de calor.

20 A configuração das colunas de destilação na presente invenção segue um princípio similar ao que é usado em processos de dessalinização térmica flash multiestágios (MSF) e destilação multiefeitos (MED), processos estes que são bem entendidos pelos versados na técnica. Nos processos MSF e MED, correntes tanto de energia quanto de material se movem em série através de estágios de pressão decrescente, estes estágios sendo câmaras
25 “flash” ou de evaporação de vários desenhos. Nos processos MSF / MED, calor é introduzido em um estágio de “topo” de uma única coluna de destilação para evaporar uma parte da água de alimentação, e o vapor assim produzido é condensado em uma superfície de transferência de calor em contato com um segundo estágio (em temperatura e pressão mais baixas), ocasionando a vaporização da água de alimentação, e assim por diante. Este processo
30 é realizado continuamente, com o número de estágios ditado pela amplitude da temperatura entre os estágios de topo e de base, e pela diferença de temperatura entre cada estágio. Quanto maior o número de estágios, maior a eficiência de energia realizada pelo desenho. Nos processos MSF e MED, correntes tanto de energia quanto de material se movem em série através dos estágios de pressão decrescente, estes estágios sendo câmaras “flash” ou
35 de evaporação de vários desenhos.

A presente invenção substitui o dispositivo de única coluna de destilação de remoção de soluto em FO por uma pluralidade de colunas de destilação, realizando ganhos de

eficiência similares àqueles de MSF / MED em relação a uma única câmara flash. Em uma modalidade, a presente invenção é direcionada a um aparelho para separar solutos e solventes produzidos de uma solução de extração, em que o aparelho compreende:

uma primeira coluna de destilação que compreende:

5 uma primeira entrada acoplada em uma fonte da solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da primeira coluna de destilação;

 um primeiro dispositivo de transferência de calor acoplado na primeira coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito primeiro dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada em uma fonte de energia térmica e uma saída acoplada na
10 primeira coluna de destilação para introduzir energia térmica na primeira coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação vaporize;

 uma primeira saída para remover a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação; e

15 pelo menos uma segunda coluna de destilação que compreende:

 uma primeira entrada acoplada na fonte da solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da segunda câmara de destilação;

 um segundo dispositivo de transferência de calor acoplado na segunda coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito segundo dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada na primeira saída da primeira coluna de destilação para
20 fornecer uma fonte de energia térmica à segunda coluna de destilação e uma saída acoplada na segunda coluna de destilação para introduzir energia térmica na segunda coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na segunda câmara de destilação vaporize.

25 Os vários elementos do aparelho são apresentados na figura 3 que representa uma primeira coluna de destilação (a) e uma segunda coluna de destilação (b). Cada coluna de destilação é acoplada em uma corrente de solução de extração diluída (2), (3) que é acoplada em uma fonte de solução de extração diluída (27) do sistema com membrana ou da extremidade frontal do processo FO. A corrente da solução de extração é distribuída a partir da
30 fonte de solução de extração diluída e é introduzida em paralelo em cada uma das duas colunas de destilação (a) e (b). Energia térmica ou calorífica proveniente de uma fonte externa (5) é aplicada na coluna de destilação (a) em um dispositivo de transferência de calor, aqui, a superfície de troca de calor exterior do refulvedor (1), desse modo, transferindo calor latente para uso como a fonte de energia térmica para a coluna de destilação (a). A energia
35 calorífica vaporiza uma parte da solução de extração na coluna de destilação (a), permitindo a separação de solutos e água produzida da solução de extração na coluna de destilação (a). A parte evaporada da solução de extração (6) da coluna de destilação (a) é acoplada na

coluna de destilação (b) em um dispositivo de transferência de calor, aqui, o refeedor (7). Este arranjo permite que a parte evaporada da solução de extração proveniente da coluna de destilação (a) condense na superfície de troca de calor exterior do refeedor (7) da coluna de destilação (b), desse modo, transferindo calor latente para uso como a fonte térmica de energia para a coluna de destilação (b). A energia térmica / calorífica vaporiza uma parte da solução de extração na coluna de destilação (b), permitindo a separação de solutos e água produzida da solução de extração na coluna de destilação (b). Assim, a energia é direcionada às colunas de destilação em série. Percebe-se que a solução de extração evaporada (6) usada como a fonte térmica de energia para a coluna de destilação (b) e a solução de extração introduzida na coluna de destilação (b) através da entrada (3) estão completamente separadas. A parte evaporada condensada da solução de extração (8) proveniente do refeedor da coluna de destilação (b) é reacoplada no sistema com membrana ou na extremidade frontal do processo FO, onde ela é adicionada na solução de extração concentrada. Os solutos recuperados / separados da solução de extração na coluna de destilação (b) são reintroduzidos na solução de extração concentrada através de uma saída (9) da coluna de destilação (b). Água produzida é coletada de cada uma das colunas de destilação (a) e (b) através das saídas (4) e (10), respectivamente. As colunas são projetadas de forma que elas difiram na pressão e na temperatura de suas operações, com a coluna de destilação (a) tendo temperatura e pressão mais altas, e a coluna de destilação (b) tendo temperatura e pressão mais baixas do que a coluna de destilação (a).

O aparelho mostrado na figura 3 tem natureza exemplar, e não pretende-se que seja limitante. Quanto mais alta a temperatura da fonte de calor disponível pela fonte de calor externa (também conhecida, tipicamente, como qualidade do calor), a presente invenção pode utilizar mais de 2 colunas de destilação para separar solutos e água produzida da solução de extração de um processo FO. O número específico de colunas de destilação também dependerá da concentração da solução de extração e da temperatura ambiente. A figura 4 é um diagrama de uma modalidade como esta da presente invenção que compreende seis colunas de destilação (a) até (f). Cada coluna recebe e separa os solutos e água produzida de uma corrente de solução de extração diluída paralela independente (2), (3), (11), (12), (13), (14), distribuída a partir da fonte de solução de extração diluída (27). As colunas são projetadas de forma que elas difiram na temperatura e pressão nas quais elas operam, com a câmara de destilação (a) tendo as temperatura e pressão mais altas, e cada uma das colunas restantes operando em temperatura e pressão mais baixas do que do que em uma antes dela. Percebe-se que a pressão na qual qualquer dada coluna de destilação opera depende da temperatura na qual a coluna de destilação opera. Também percebe-se que a temperatura na qual qualquer dada câmara de destilação opera depende da temperatura da energia calorífica suprida pela fonte de calor externa e da diferença entre a temperatura da

fonte de calor externa e da temperatura ambiente. Neste arranjo, a parte evaporada da solução de extração (5), (6), (15), (16), (17), (18) proveniente das colunas de destilação (a) até (f), respectivamente, é acoplada em um dispositivo de transferência de calor da próxima coluna de destilação subsequente. A parte evaporada da solução de extração condensa na superfície de troca de calor exterior do refeedor da próxima coluna de destilação subsequente, desse modo, transferindo calor latente a ser usado para a separação dos solutos da solução de extração (8), (19), (20), (21), (22) e da água produzida (4), (10), (23), (24), (25), (26) da solução de extração na coluna de destilação. As partes evaporadas condensadas da solução de extração (8), (19), (20), (21), (22) provenientes do refeedor das colunas de destilação (b) até (f), respectivamente, são reacopladas no sistema com membrana ou na extremidade frontal do processo FO, onde elas são adicionadas na solução de extração concentrada. Desta maneira - direcionando as correntes de material em paralelo e as correntes de energia em série - ganhos significativos na eficiência podem ser realizados em relação ao uso de uma única coluna sozinha. A figura 4 também tem natureza exemplar e não pretende-se que seja limitante.

Uma outra modalidade da presente invenção fornece um método para separar solutos e solventes produzidos de uma solução de extração que compreende as etapas de:

introduzir solução de extração em cada uma de pelo menos uma primeira coluna de destilação e de pelo menos uma segunda coluna de destilação;

aplicar energia térmica proveniente de uma fonte de energia térmica em um primeiro dispositivo de transferência de calor da primeira coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação;

direcionar a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação para um segundo dispositivo de transferência de calor da segunda coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na segunda coluna de destilação;

de acordo com o que, os solutos e solvente produzidos contidos na solução de extração nas pelo menos primeira e segunda colunas de destilação são separados.

Uma outra modalidade da presente invenção fornece um método para separar solutos e solvente produzidos de uma solução de extração que compreende as etapas de:

introduzir solução de extração em cada uma de pelo menos uma primeira coluna de destilação, pelo menos uma segunda coluna de destilação, e pelo menos uma terceira coluna de destilação;

aplicar energia térmica proveniente de uma fonte de energia térmica em um primeiro dispositivo de transferência de calor da primeira coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação;

direcionar a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação para um segundo dispositivo de transferência de calor da segunda coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na segunda coluna de destilação;

direcionar a parte evaporada da solução de extração da segunda coluna de destilação para um terceiro dispositivo de transferência de calor da terceira coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da segunda câmara de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a terceira câmara de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na terceira coluna de destilação;

de acordo com o que, os solutos e solvente produzidos contidos na solução de extração nas pelo menos primeira, segunda e terceira colunas de destilação sejam separados.

Em uma modalidade preferida, a solução de extração é introduzida em paralelo em cada uma das colunas de destilação, como aqui descrito. Em outras palavras, a solução de extração é introduzida em cada uma das colunas de destilação a partir de uma única fonte, que, tipicamente, como exposto, é uma fonte de solução de extração diluída proveniente do sistema com membrana ou da extremidade frontal do processo FO. Dito de outra maneira, a solução de extração proveniente da fonte de solução de extração não é introduzida em série em cada uma das colunas de destilação supradiscutidas. Adicionalmente, a solução de extração evaporada usada como uma fonte de energia térmica para cada coluna de destilação subsequente é separada da solução de extração introduzida em cada coluna de destilação a partir da fonte de solução de extração diluída, e permanece assim por todo o processo.

O número de colunas de destilação usadas para separar solutos e água produzida da solução de extração no processo FO da invenção é determinado pela amplitude de temperatura entre a primeira (isto é, fonte de energia térmica externa) e a última coluna de destilação (isto é, temperatura ambiente), e pela diferença de temperatura entre cada uma das colunas de destilação. Isto pode ser determinado pela modelagem das exigências de energia do sistema de recuperação / separação do processo FO usando software de modelagem de processo químico comercial (Hysys, Cambridge, MA) operado em conjunto com um pacote com propriedade eletrolítica projetado para simular soluções eletrolíticas de altas concentrações e complexidade de espécie (OLI, Morris Plains, NJ). Percebe-se que versados na técnica entendem o uso deste software comercialmente disponível neste contexto.

Nos exemplos de modelagem examinados, a base operacional era a produção de água doce potável recupera da água do mar 0,5 molar, em uma taxa de recuperação de 75 %. A solução de extração concentrada continha 5 moles / litro de sais de amônio (em uma base de CO_2), com uma proporção de amônia por dióxido de carbono de 1,4. A quantidade de solução de extração concentrada usada foi variada para produzir diferentes concentra-

ções de solução de extração diluída entre 0,5 e 1,5 molar, como resultaria da diluição da água produzida da solução de extração na extremidade frontal da membrana FO. Estas correntes de solução de extração diluída eram direcionadas como alimentações para as múltiplas colunas de destilação. Considera-se que a temperatura da água do mar (ou ambiente) era de 20 °C. A temperatura operacional do processo com membrana FO foi especificada em 25 °C. Exigências de bombeamento do processo (isto é, energia elétrica) foram calculadas com base nas quedas de pressão típicas esperadas para trocadores de calor, tubos, válvulas, estágios de coluna de destilação, e outros equipamentos do processo.

As colunas de destilação foram especificadas para conter uma embalagem estruturada Goodloe® (disponível de Koch-Otto York) com uma fração de vazio de 0,945, uma área específica de 1.902 m²/m³ (580 pés² / pés³), uma retenção estática de 5 %, e uma queda de pressão de 0,066 kPa/cm (15 mm Hg/ft). A altura da embalagem era de cerca de 2,35 metros (7,7 pés).

Exigências de energia térmica e elétrica foram calculadas pelo software de modelagem com base em uma qualidade de água produzida especificada para conter menos de 1 ppm de amônia. Considerou-se que o vapor era a fonte de calor para o refeedor da coluna, e que o condensado retornaria para a fonte de vapor. A aproximação da temperatura mínima em todos os trocadores de calor foi ajustada em 2,5 - 3,0 °C, ligeiramente mais alta do que aquelas típicas dos métodos de dessalinização térmica.

A tabela 1 fornece exemplos que indicam, para uma dada temperatura e mínima pressão do vapor da fonte de energia térmica / calorífica externa, a concentração da solução de extração e, em uma temperatura ambiente de 20 °C, o número ideal de colunas de destilação para uso na separação dos solutos e solventes produzidos da solução de extração de acordo com a presente invenção.

Temperatura da Fonte Externa de Energia Térmica	Mínima Pressão do Vapor (psia)	Concentração da Solução de extração (M)	Número de Colunas de Destilação
40	1,07	1,0	1
40	1,07	1,5	1
44	1,32	0,5	1
70	4,53	1,0	2
100	14,70	1,0	3
130	39,20	1,0	4
160	89,67	0,5	5
160	89,67	1,0	5
160	89,67	1,5	5
190	182,05	1,0	6

250	576,70	1,0	8
-----	--------	-----	---

Pretende-se que a tabela 1 seja exemplar e não limitante. Por exemplo, percebe-se que em baixa temperatura ambiente, duas colunas de destilação podem ser usadas com uma fonte de energia térmica / calorífica externa em uma temperatura de 50 °C. Percebe-se adicionalmente que concentrações da solução de extração de até 6,0 molar podem ser usadas com a presente invenção. Além do mais, dada uma temperatura alta o suficiente da fonte de energia térmica / calorífica externa e um alvo de eficiência suficientemente alto, até pelo menos cerca de 15 colunas de destilação podem ser usadas na prática da presente invenção.

Na modelagem das exigências de energia da presente invenção, os inventores também consideraram o relacionamento entre a temperatura (também tipicamente descrito como “qualidade”) do calor suprido ao sistema de recuperação / separação FO e a quantidade daquela energia exigida para separar solutos e água produzida da solução de extração. A unidade deste relacionamento é em termos de razão de saída com ganho (GOR), ou do número de quilogramas de água produzida para cada quilograma de vapor condensado no refeedor. Esta é uma medida frequentemente usada da eficiência dos sistemas de dessalinização térmica, com números maiores indicando maior eficiência. A figura 5 é uma representação gráfica deste relacionamento. Valores típicos aproximados para MSF e MED são uma GOR entre 8 e 15 em temperaturas de 70 a 120 °C. A tabela 2 fornece uma faixa de valores GOR para um processo FO usando uma única coluna de destilação e a faixa de valores GOR para a presente invenção utilizando uma pluralidade de colunas de destilação. Fica prontamente aparente que a presente invenção, com valores GOR entre 14,2 e 29,7 para temperaturas entre 70 e 250 °C tem maior eficiência do uso do calor, se comparado com processos de dessalinização atuais. A GOR é impactada pela temperatura do vapor condensado retornado à fonte de calor externa. Os exemplos aqui fornecidos são baseados em uma corrente de retorno de condensado na mesma temperatura do vapor fornecido como a fonte de energia calorífica (isto é, considera-se que tanto a fonte de energia (vapor) quanto a corrente de retorno de água estejam em uma temperatura de 200 °C). Se a corrente de retorno de condensado for retornada em uma temperatura mais baixa do que a do vapor, a GOR aumenta, particularmente, em temperaturas mais altas.

Temperatura da Fonte Externa de Energia Térmica	Mínima Pressão do Vapor (psia)	Concentração da Solução de extração (M)	Número de Colunas de Destilação	GOR
40	1,07	1,0	1	6,3
40	1,07	1,5	1	4,4
44	1,32	0,5	1	8,9
70	4,53	1,0	2	12,6
100	14,70	1,0	3	16,0

130	39,20	1,0	4	19,1
160	89,67	0,5	5	26,5
160	89,67	1,0	5	20,2
160	89,67	1,5	5	14,8
190	182,05	1,0	6	20,3
250	576,70	1,0	8	18,2

A temperatura do aquecimento usado pelo processo FO afeta não somente a quantidade exigida, mas também o valor e, portanto, o custo do calor usado. Um método efetivo para estimar o valor do calor do processo em sistemas de dessalinização térmica envolve o cálculo do “trabalho equivalente”. Usando este método, é atribuído à energia térmica um valor de energia elétrica com base na capacidade daquela energia térmica para gerar eletricidade em uma turbina a vapor. Se for considerado que o vapor usado para suprir energia térmica a um processo de dessalinização é extraído de uma turbina a vapor, pode-se calcular o trabalho que o vapor pode ter feito para gerar eletricidade. Este valor do trabalho pode ser usado para comparação teórica das eficiências do processo térmico, bem como para o custo do mundo real do vapor do processo suprido a um processo de dessalinização.

A seguinte fórmula é usada para calcular o trabalho equivalente:

$$W_{\text{equiv}} = \frac{\text{kg}_{\text{waterproduct}}(H_{\text{steamused}} - H_{\text{steamatcondenser}})}{\text{GOR}} \times \eta_{\text{turbine}} \times 0,00277 \frac{\text{kWh}}{\text{kJ}} + W_{\text{elec}}$$

A entalpia do vapor no ponto em que ele, normalmente, entraria no condensador da turbina é subtraída da entalpia do vapor no ponto em que ele é extraído e direcionado ao processo de dessalinização. Esta diferença na entalpia é multiplicada pela eficiência da turbina (neste exemplo, considera-se ser 95 %) para atribuir ao calor um valor de trabalho equivalente em kWh/kg de vapor. A quantidade de vapor exigida para gerar um metro cúbico de água é dada pela GOR do processo térmico naquela temperatura do vapor. O resultado é multiplicado por 1.000 kg de água para dar uma carga calorífica específica em termos de m³ de água. Considera-se que a temperatura do condensador é de 35 °C com base em dados tabulares que relacionam a temperatura do condensador com as temperaturas de resfriamento da água do mar. Uma vez que o valor de trabalho equivalente do vapor usado pelo processo é calculado, ele é adicionado a todas as exigências elétricas do processo. Isto dá um valor unificado para o valor total da energia consumida.

Os cálculos do trabalho equivalente, incluindo os componentes da carga calorífica e da energia elétrica, são resumidos na tabela 3. A figura 6 mostra o trabalho equivalente do processo de dessalinização FO com base em uma concentração de alimentação de coluna de 1 M (solução de extração diluída) em relação à qualidade do calor suprido. À medida que a temperatura do aquecimento usado aumenta, seu valor de trabalho compensa a maior eficiência tornada possível pelo uso das múltiplas colunas de destilação. A tendência líquida

é maior trabalho equivalente. Similarmente à GOR, o trabalho equivalente também é impactado pela temperatura do vapor condensado retornado à fonte de calor externa. Os exemplos aqui fornecidos são baseados em uma corrente de retorno de condensado na mesma temperatura do vapor fornecido como a fonte de energia calorífica (isto é, considera-se que tanto a fonte de energia (vapor) quanto a corrente de retorno de água estão em uma temperatura de 200 °C). Se a corrente de retorno de condensado retornar em uma temperatura mais baixa do que o vapor, o trabalho equivalente aumenta, particularmente, em temperaturas mais altas.

Temperatura da Fonte Externa de Energia Térmica	Mínima Pressão do Vapor (psia)	Concentração da Solução de extração (M)	Número de Colunas de Destilação	GOR	Trabalho Equivalente (kWh/m ³)	Carga Calorífica (MJ/m ³)	Carga Elétrica (kWh/m ³)
40	1,07	1,0	1	6,3	0,66	382,27	0,22
40	1,07	1,5	1	4,4	0,84	541,55	0,24
44	1,32	0,5	1	8,9	0,73	269,13	0,20
70	4,53	1,0	2	12,6	1,50	185,38	0,21
100	14,70	1,0	3	16,0	2,03	140,91	0,20
130	39,20	1,0	4	19,1	2,36	113,53	0,22
160	89,67	0,5	5	26,5	2,14	78,62	0,22
160	89,67	1,0	5	20,2	2,77	103,04	0,25
160	89,67	1,5	5	14,8	3,69	140,37	0,26
190	182,05	1,0	6	20,3	3,18	97,58	0,30
250	576,70	1,0	8	18,2	3,93	94,29	0,50

Há um relacionamento direto entre a concentração da solução de extração diluída que entra no sistema de recuperação / separação de soluto e água produzida e a quantidade de energia usada pelo processo de dessalinização FO. Como discutido anteriormente, a concentração da solução de extração exigida está diretamente relacionada com a razão de desempenho do FO com membrana e, portanto, é diretamente impactada pelo desenho da membrana. A figura 7 mostra o relacionamento entre a concentração da solução de extração diluída e a carga calorífica como GOR. A figura 8 mostra o relacionamento entre a concentração da solução de extração diluída e o trabalho equivalente. Os valores mostrados são tanto para um Sistema de Destilação com Coluna Multiestágios da presente invenção operando em 160 °C quanto para uma única coluna de destilação a vácuo operando entre 40 - 44 °C (temperatura da coluna a vácuo mais baixa varia com a concentração de alimentação).

O uso de fontes de calor com temperatura mais alta na presente invenção resulta

em significativo aumento da eficiência para FO em relação às tecnologias atuais. Isto é em função, primariamente, do fato de que, no FO, energia é usada para evaporar solutos da solução de extração, em vez de solvente da água de alimentação, como é feito na MSF e MED. Um benefício adicional encontrado no uso do processo FO da presente invenção está

5 no baixo consumo de energia elétrica do processo. Processos atuais usam entre 1,6 - 3,02 kWh/m³ de energia elétrica, enquanto que, como mostrado na tabela 2, processos FO que utilizam a presente invenção exigem energia elétrica de somente 0,24 kWh/m³.

Embora a invenção tenha sido particularmente mostrada e descrita em relação às suas modalidades preferidas, versados na técnica entendem que mudanças nas formas e

10 detalhes podem ser feitas sem fugir do escopo e do espírito da invenção. Por exemplo, a presente invenção é aplicável a Motores de Calor Osmótico (OHE) como é aos processos de dessalinização FO e de tratamento de água aqui discutidos.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para separar solutos e solvente produzidos de uma solução de extração, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o aparelho compreende:

uma primeira coluna de destilação que compreende:

5 uma primeira entrada acoplada em uma fonte de solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da primeira coluna de destilação;

 um primeiro dispositivo de transferência de calor acoplado na primeira coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito primeiro dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada em uma fonte de energia térmica e uma saída acoplada na

10 primeira coluna de destilação para introduzir energia térmica na primeira coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação vaporize;

 uma primeira saída para remover a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação; e

15 pelo menos uma segunda coluna de destilação que compreende:

 uma primeira entrada acoplada na fonte de solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da segunda coluna de destilação;

 um segundo dispositivo de transferência de calor acoplado na segunda coluna de destilação em uma segunda extremidade, o dito segundo dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada na primeira saída da primeira coluna de destilação para fornecer uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação e uma saída acoplada na segunda coluna de destilação para introduzir energia térmica na segunda coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na segunda câmara de destilação vaporize.

25 2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda coluna de destilação compreende:

 uma primeira saída para remover a parte evaporada da solução de extração da solução da segunda coluna de destilação.

30 3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda coluna de destilação compreende:

 uma saída para remover solvente produzido da segunda câmara de destilação.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

 pelo menos uma terceira coluna de destilação que compreende:

35 uma primeira entrada acoplada na fonte da solução de extração para introduzir a solução de extração em uma primeira extremidade da terceira coluna de destilação;

 um terceiro dispositivo de transferência de calor com uma entrada acoplada na pri-

meira saída da segunda coluna de destilação para fornecer uma fonte de energia térmica para a terceira coluna de destilação e uma saída acoplada na terceira coluna de destilação para introduzir energia térmica na terceira coluna de destilação para fazer com que pelo menos uma parte da solução de extração na terceira câmara de destilação vaporize.

5 5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a fonte de energia térmica supre calor em uma temperatura de pelo menos cerca de 50 °C.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 5, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a fonte de energia térmica supre calor em uma temperatura de cerca de 90 °C até cerca de 250 °C.

10 7. Método para separar solutos e solvente produzidos de uma solução de extração usando uma pluralidade de colunas de destilação, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o método compreende as etapas de:

introduzir solução de extração em cada uma de pelo menos uma primeira coluna de destilação e pelo menos uma segunda coluna de destilação;

15 aplicar energia térmica proveniente de uma fonte de energia térmica em um primeiro dispositivo de transferência de calor da primeira coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na primeira coluna de destilação;

20 direcionar a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação para um segundo dispositivo de transferência de calor da segunda coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da primeira coluna de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a segunda coluna de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na segunda coluna de destilação;

de acordo com o que, os solutos e o solvente produzidos contidos na solução de extração nas pelo menos primeira e segunda colunas de destilação são separados.

25 8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração é usada em um processo de dessalinização osmótica direta.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a fonte de energia térmica para a pelo menos primeira coluna de destilação é vapor.

30 10. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração é introduzida nas pelo menos primeira e segunda colunas de destilação em uma concentração de pelo menos cerca de 0,5 molar.

11. Método, de acordo com a reivindicação 8, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração é introduzida nas pelo menos primeira e segunda colunas de destilação em uma concentração de cerca de 0,5 molar até cerca de 6,0 molar.

35 12. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração compreende uma solução aquosa de sais de amônio formada por uma mistura de amônia e dióxido de carbono.

13. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração compreende etanol.

14. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o solvente produzido é água.

5 15. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o solvente produzido contém menos de 1 ppm de amônia e dióxido de carbono.

16. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o método compreende:

10 introduzir solução de extração em pelo menos uma terceira coluna de destilação;
direcionar a parte evaporada da solução de extração da segunda coluna de destilação para um terceiro dispositivo de transferência de calor da terceira coluna de destilação de maneira tal que a parte evaporada da solução de extração da segunda câmara de destilação aja como uma fonte de energia térmica para a terceira câmara de destilação para evaporar pelo menos uma parte da solução de extração na terceira coluna de destilação;

15 de acordo com o que, os solutos e o solvente produzidos contidos na solução de extração na terceira coluna de destilação são separados.

17. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração é introduzida em paralelo em cada uma da pelo menos primeira coluna de destilação e da pelo menos segunda câmara de destilação.

20 18. Método, de acordo com a reivindicação 15, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a solução de extração é introduzida em paralelo em cada uma da pelo menos primeira coluna de destilação, da pelo menos segunda coluna de destilação e da pelo menos terceira coluna de destilação.

25 19. Água dessalinizada, **CHARACTERIZADA** pelo fato de que é produzida de acordo com o processo da reivindicação 7.

20. Água purificada, **CHARACTERIZADA** pelo fato de que é produzida de acordo com o processo da reivindicação 7.

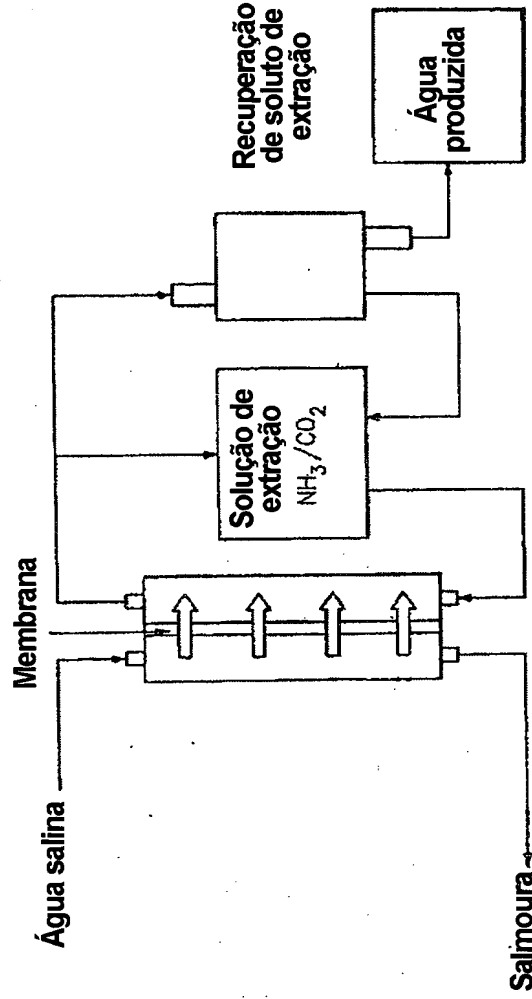


FIG. 1
(Técnica Anterior)

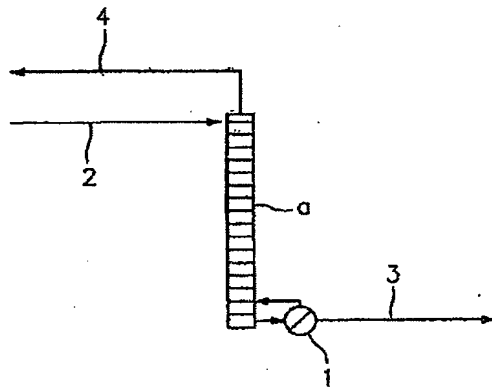


FIG. 2
(Técnica Anterior)

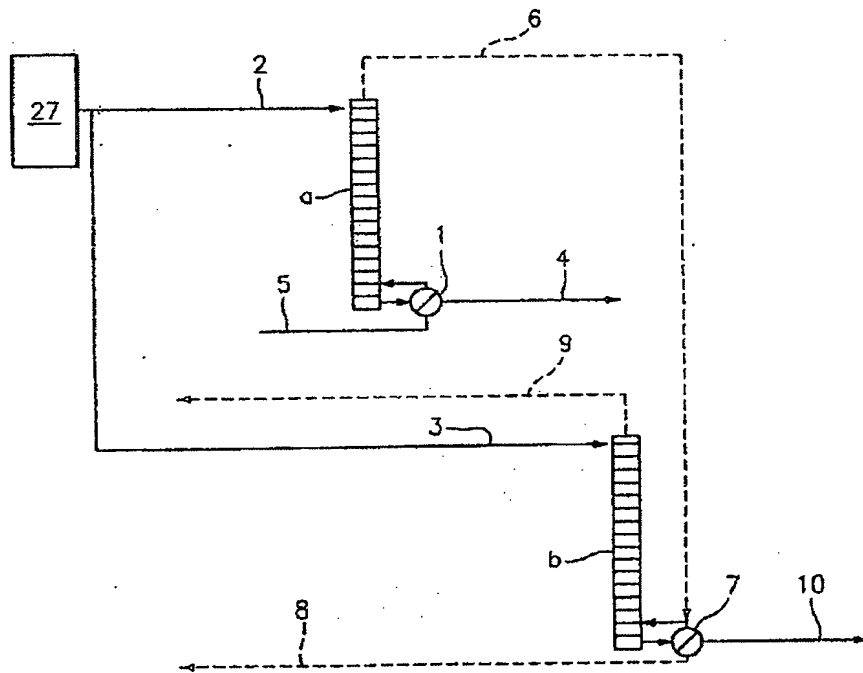


FIG. 3

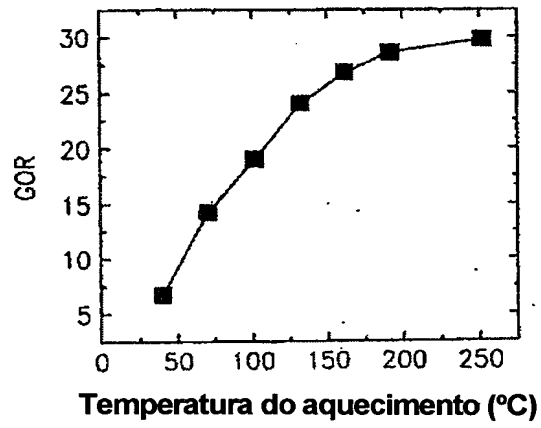


FIG. 5

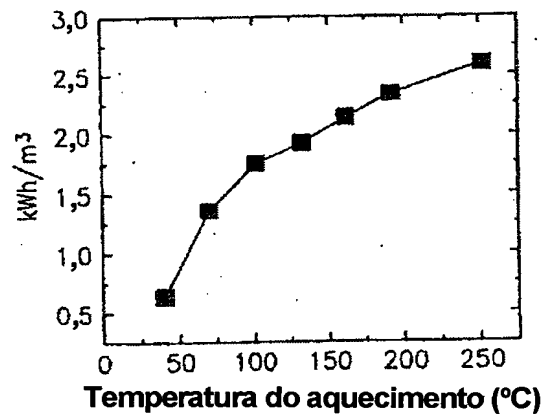


FIG. 6

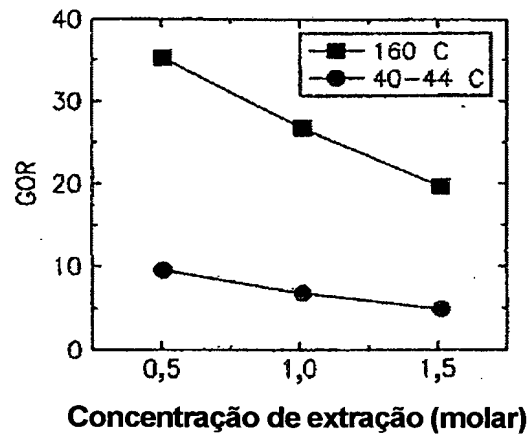


FIG. 7

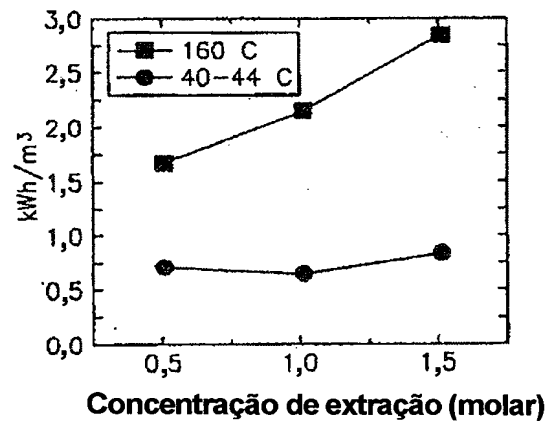


FIG. 8

RESUMO**"MÉTODO PARA DESTILAÇÃO COM COLUNA MUTIESTÁGIOS (MSCD) PARA RECUPERAÇÃO DE SOLUTO OSMÓTICO"**

São descritos método e aparelho para separar solutos e solvente produzidos de uma solução de extração usando uma pluralidade de colunas de destilação. Em uma modalidade, a solução de extração é usada em um processo de dessalinização de água por Osmose Direta (FO). Nesta modalidade, a solução de extração é direcionada para a pluralidade de colunas de destilação em paralelo, enquanto que a corrente de energia (calor) é direcionada para a pluralidade de colunas de destilação em série de maneira tal que a eficiência do uso do calor seja melhorada e, por sua vez, o custo do aquecimento seja reduzido.