



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

(21) **PI0613055-0 A2**

(22) Data de Depósito: 11/07/2006
(43) Data da Publicação: 14/12/2010
(RPI 2084)



(51) *Int.Cl.:*
B01D 61/02
B01D 61/12

(54) Título: **SISTEMA, APARELHO E MÉTODO DE AMACIAMENTO DE ÁGUA DE VIDA PROLONGADA**

(30) Prioridade Unionista: 12/07/2005 US 60/698,652

(73) Titular(es): CARGILL INCORPORATED

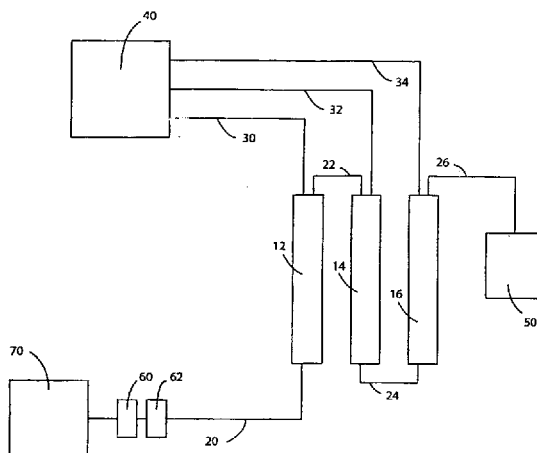
(72) Inventor(es): Harapanahalli S. Muralidhara, Krishna N.S. Kumar

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2006026812 de 11/07/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/008850 de 18/01/2007

(57) Resumo: SISTEMA, APARELHO E MÉTODO DE AMACIAMENTO DE ÁGUA DE VIDA PROLONGADA. A presente invenção refere-se a um aparelho e a um método para amaciar água. Particularmente, são descritas um aparelho e um método para amaciar água, sem a adição de íons à corrente de águas servidas. O aparelho inclui, em geral, pelo menos um elemento de filtro de nanofiltração, configurado e disposto para receber uma corrente de introdução de água dura, descarregar uma corrente de saída de água de permeação, que compreende uma parte da corrente de introdução, e descarregar uma corrente de saída de água não permeada, que compreende uma parte da corrente de introdução. O elemento de filtro de nanofiltração tem, tipicamente, um tamanho de poro médio que permite a passagem de água e íons monovalentes, mas impede, substancialmente, a passagem de íons divalentes.





PI0613055-0

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "SISTEMA, APARELHO E MÉTODO DE AMACIAMENTO DE ÁGUA DE VIDA PROLONGADA".

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

- 5 O presente pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório U.S. nº. de Série 60/698,652, depositado em 12 de julho de 2005, que está incorporado ao presente em sua totalidade por referência.

CAMPO DA INVENÇÃO

- 10 A presente invenção refere-se a métodos e sistema para tratar água. Particularmente, a invenção está voltada para métodos e sistemas para amaciar água potável e a métodos e sistemas para prolongar a operação de sistemas de amaciamento de água, particularmente, para métodos e sistemas que removem íons de água potável, com perda de água mais baixa do que sistemas de amaciamento convencionais.

15 **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

- Água que contém altos níveis de íons de cálcio e magnésio é chamada de "água dura", porque esses dois íons podem combinar-se com outros íons e compostos para formar uma película dura, pouco atraente. Milhões de residências têm abastecimentos de água dura, particularmente, 20 residências que usam água subterrânea como sua fonte de água, quer através de um poço residencial, quer como parte do abastecimento de água municipal. Água dura pode resultar na formação de um filme pouco atraente em torno de pias e pratos, e depósitos de água dura podem formar-se sobre roupas, resultando em descoloração e maciez reduzida do tecido. Também, 25 alguns sabões e detergentes não funcionam tão bem com água dura como com água macia. Nessas situações, filmes de sabão desconfortáveis ou de má aparência podem ser deixados sobre a pessoa ou sobre o objeto que está sendo lavado.

- Aproximadamente 7 a 12 por cento de todas as residências particulares têm amaciadores de água. O índice do uso de amaciadores de água 30 é mais alto em áreas rurais do que em cidades, sendo que se estima que 3 por cento de moradores urbanos usam um amaciador de água. Esti-

ma-se que um milhão de amaciadores de água por troca de íons são vendidos a cada ano apenas nos Estados Unidos, e centenas de milhões de dólares são gastos em sal. A maioria desses amaciadores é instalada em residências e pequenos negócios que adquirem abastecimentos de água a partir de água subterrânea.

Embora amaciadores de troca de íons sejam apropriados para muitas aplicações, os mesmos têm limitações significativas. Particularmente, o amaciamento de água por troca de íons resulta em um aumento líquido da salinidade de água descarregada, devido à descarga de salmoura. Esse aumento líquido da salinidade de descarga pode ser problemático em águas onde existem normas de descarga anti-salmoura. Essas normas frequentemente existem em localidades que reutilizam água descarregada para fins agrícolas e que desejam evitar a adição de sal em excesso ao solo sobre o qual a água descarregada é aplicada. Além disso, amaciadores de troca de íons necessitam de uma substituição habitual dos sais de sódio para recarregar a resina e custos de manutenção associados à compra do sal.

Em vista dos problemas significativos associados à água dura, bem como as limitações de amaciadores de água de troca de íons, desenvolvimentos recentes foram feitos na criação de amaciadores de água que utilizam elementos de nanofiltração para amaciar água residencial a pressões relativamente baixas e com alta eficiência. O Pedido de Patente U.S. nº. de Série 09/909488, intitulado "Aparelho e Método de Aparelho Amaciador de Água por Nanofiltração para Maralidhara et al", é particularmente digno de nota a esse respeito. Mas, apesar de avanços significativos recentes na tecnologia de amaciamento, continua a haver uma necessidade de métodos e sistemas aperfeiçoados para amaciar água usando elementos de filtro de nanofiltração, particularmente continua a haver necessidade de elementos de membrana de vida mais longa, que requerem uma substituição menos freqüente de membrana.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Algumas modalidades da presente invenção estão voltadas para métodos e sistemas para amaciar água, particularmente, para métodos e

sistemas para amaciar água sem a adição de íons à corrente de águas usadas. Os sistemas usam elementos de filtro de nanofiltração para remover seletivamente íons de dureza, particularmente, íons grandes (tais como os íons divalentes de cálcio e magnésio), a fim de amaciar a água sem a adição de água à corrente de águas usadas.

Além disso, outras modalidades da presente invenção põem à disposição métodos e sistemas para prolongar a vida operacional de elementos de filtro de nanofiltração usados dentro de sistemas de amaciamento, e também métodos e sistemas para aperfeiçoar o desempenho dos sistemas de amaciamento. Esses métodos e sistemas são particularmente úteis para sistemas de nanofiltração de elementos múltiplos, com um, dois e mais, tipicamente, três ou mais, elementos de nanofiltração montados em série. Nesses sistemas de amaciamento de nanofiltração, água potável entra em um primeiro elemento de nanofiltração e é dividida em corrente de água de permeação amaciada e uma corrente de água concentrada, que contém íons de cálcio e magnésio retidos. A corrente de água de permeação amaciada é desviada para uso, enquanto a corrente de água concentrada da primeira membrana é fornecida a um segundo elemento de nanofiltração. No segundo elemento de nanofiltração, a água concentrada do primeiro elemento de nanofiltração é novamente dividida em uma corrente de permeação amaciada e uma corrente de concentrado, que contém íons de cálcio e magnésio retidos. Em um sistema de três elementos, a corrente de concentrado do segundo elemento de nanofiltração é fornecida a um terceiro elemento de nanofiltração, onde ela é novamente separada em uma corrente de água de permeação e uma corrente de concentrado de água, que contém íons de cálcio e magnésio retidos.

O uso de elementos de nanofiltração múltiplos pode ser vantajoso, uma vez que ele permite um uso de água mais eficiente, desse modo resultando em menos água descarregada na corrente de águas servidas. Mas, cada elemento de nanofiltração subsequente recebe concentrações crescentemente mais altas de cálcio e magnésio. Isso pode resultar em diversos problemas, destacadamente, incrustação das membranas com preci-

pitados de cálcio e magnésio. Desse modo, por exemplo, em um sistema de três elementos, o terceiro elemento pode sofrer uma precipitação de cálcio significativa sobre a superfície da membrana no elemento de nanofiltração, desse modo reduzindo significativamente a corrente pela membrana. Em
5 algumas circunstâncias, essa precipitação pode resultar na incrustação das membranas, a um ponto tal que os elementos de nanofiltração precisam ser substituídos prematuramente.

Tal como observado acima, algumas modalidades da presente invenção oferecem métodos e sistemas para prolongar a vida operacional de
10 elementos de filtro de nanofiltração usados dentro de sistemas de amaciamento, e também métodos e sistemas para aperfeiçoar o desempenho dos sistemas de amaciamento. Esses métodos e sistemas são particularmente úteis para sistemas de nanofiltração de elementos múltiplos, com um, dois e mais, tipicamente, três ou mais, elementos de nanofiltração montados em
15 série. Entre esses aperfeiçoamentos estão métodos para inverter periodicamente a corrente de água através do sistema de amaciamento por nanofiltração, desse modo reduzindo a formação de películas e a incrustação de membranas. Além disso, as referidas modalidades põem à disposição um modo de operação de lavagem, no qual cada uma das membranas de nano-
20 filtração é lavada com água potável para remover o excesso de cálcio e magnésio dos elementos de nanofiltração. Em determinadas modalidades, essa lavagem inclui o uso de um ácido moderado para dissolver precipitados de cálcio e magnésio dentro dos elementos de nanofiltração. Esses precipitados são depois removidos do sistema e descarregados na corrente de á-
25 guas servidas.

Algumas modalidades da presente invenção apresentam diversos aperfeiçoamentos em relação a sistemas de amaciamento prévios, inclusive tendo água macia constante, que pode ter níveis reduzidos de bactérias e agentes pirogênicos, em relação ao amaciamento por troca de íons.
30 Além disso, não exigem a necessidade de adicionar sal ao abastecimento de água, desse modo sendo mais compatíveis com o meio ambiente.

Os elementos de filtro de nanofiltração têm, tipicamente, um ta-

manho de poros médio que permite a passagem de água e da maioria de íons monovalentes, mas evita, substancialmente, a passagem da maioria de íons divalentes. Desse modo, o aparelho amaciador não adiciona íons à corrente de água, mas, em vez disso, remove pelo menos alguns dos íons da corrente de entrada e descarrega os mesmos na corrente de saída não permeável, descarregada. Diversos elementos de filtro de nanofiltração são apropriados para uso com a invenção, incluindo elementos de filtro que contêm uma membrana carregada positivamente.

O sumário acima de algumas modalidades da presente invenção não pretende descrever cada modalidade apresentada ou cada execução da presente invenção. As figuras e a descrição detalhada que se segue exemplificam, mais particularmente, essas modalidades.

FIGURAS

Modalidades da presente invenção são apresentadas na descrição abaixo e são mostradas nos desenhos. Números iguais referem-se a partes iguais ao longo dos desenhos.

A figura 1 mostra um modelo esquemático, simplificado, de um sistema amaciador de água por nanofiltração, feito de acordo com uma execução da invenção, sendo que o sistema de nanofiltração contém três elementos de nanofiltração.

A figura 2 mostra um modelo esquemático, simplificado, de um sistema amaciador de água por nanofiltração, feito de acordo com uma execução da invenção, sendo que o sistema de nanofiltração contém três elementos de nanofiltração, sendo que o sistema é operado com uma corrente de avanço padrão de água de alimentação.

A figura 3 mostra um modelo esquemático, simplificado, da operação do sistema amaciador de água por nanofiltração mostrado na figura 2, sendo que o sistema é operado com corrente inversa de água de alimentação.

A figura 4 mostra um modelo esquemático, simplificado, de um sistema amaciador de água por nanofiltração, feito de acordo com uma execução da invenção, sendo que o sistema é operado em modo de lavagem,

com um desvio de corrente de água.

A figura 5 mostra um modelo esquemático, simplificado, de um sistema amaciador de água por nanofiltração, feito de acordo com uma execução da invenção, sendo que o sistema está configurado para e é operado com um modo de lavagem com ácido, para remover precipitados dos elementos de nanofiltração.

A figura 6 é um gráfico que indica o efeito de lavagem com ácido sobre o fluxo do sistema amaciador de água.

A figura 7 é um gráfico que indica o efeito de lavagem dos elementos de nanofiltração sobre o fluxo de água através do sistema amaciador.

A figura 8 é um gráfico que indica o efeito de lavagem e inversão de corrente sobre o fluxo de água através do sistema amaciador.

A figura 9 mostra o efeito de lavagem com ácido sobre o fluxo de água através do sistema amaciador.

A figura 10 mostra o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e rejeição.

A figura 11 mostra o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e dureza.

A figura 12 mostra o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação para uma alimentação de caldeira.

A figura 13 mostra o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e dureza.

A figura 14 mostra o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e rejeição.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES PREFERIDAS

A descrição abaixo da invenção destina-se a ilustrar diversas modalidades da invenção. Como tal, as modificações específicas descritas acima não devem ser interpretadas como limitações do objeto da invenção. Fica evidente para alguém versado na técnica que diversos equivalentes, mudanças e modificações podem ser feitos, sem afastar-se do objeto da invenção, e entende-se que essas modalidades equivalentes devem ser inclu-

idas no presente.

Em uma modalidade da presente invenção, são postos à disposição um aparelho e um método para amaciar água, particularmente, aparelhos e métodos para amaciar água sem a adição de íons à corrente de águas servidas. A presente modalidade põe à disposição métodos e sistemas para prolongar a vida operacional de elementos de filtro de nanofiltração usados dentro dos sistemas amaciadores, e também métodos e sistemas para aperfeiçoar o desempenho dos sistemas amaciadores. Entre esses aperfeiçoamentos estão métodos para inverter periodicamente a corrente de água através do sistema amaciador por nanofiltração, desse modo evitando a formação de películas e incrustação das membranas.

Além disso, a presente modalidade põe à disposição um modo de operação de lavagem, no qual cada uma das membranas de nanofiltração é lavada com água potável, para remover o excesso de cálcio e magnésio dos elementos de nanofiltração. Em determinadas modalidades, essa lavagem inclui o uso de um ácido moderado para dissolver quaisquer precipitados de cálcio e magnésio, que são depois removidos do sistema e descarregados na corrente de águas servidas.

A presente modalidade põe à disposição métodos e sistemas para prolongar a vida operacional de elementos de filtro de nanofiltração, usados dentro dos sistemas amaciadores, e também métodos e sistemas para aperfeiçoar o desempenho dos sistemas amaciadores. Esses métodos e sistemas são particularmente úteis para sistemas de nanofiltração de elementos múltiplos, com pelo menos um, freqüentemente dois, e, mais tipicamente, três ou mais, elementos de nanofiltração montados em série. Nesses sistemas amaciadores por nanofiltração, água potável entra em um primeiro elemento de nanofiltração e é dividida em corrente de água de permeação amaciada e uma corrente de concentrado de água, que contém íons de cálcio e magnésio retidos.

A corrente de água de permeação amaciada é desviada para uso, enquanto a água de concentrado do primeiro elemento de nanofiltração é fornecida a um segundo elemento de nanofiltração. No segundo elemento

de nanofiltração, a água de concentrado do primeiro elemento de nanofiltração é novamente dividida em uma corrente de permeação amaciada e uma corrente de concentrado, que contém íons de cálcio e magnésio retidos. Em um sistema de três elementos, o concentrado do segundo elemento de nanofiltração é fornecido a um terceiro elemento de nanofiltração, onde é novamente separado em uma corrente de água de permeação amaciada e uma corrente de água de concentrado, que contém íons de cálcio e magnésio retidos.

Ter múltiplos elementos de nanofiltração é vantajoso, porque permite uma eficiência mais alta do uso de água, desse modo resultando, tipicamente, em menos água que é descarregada em uma corrente de águas servidas. Cada elemento de nanofiltração subsequente recebe concentrações crescentemente mais altas de cálcio e magnésio. Isso pode resultar em diversos problemas, mais destacadamente, incrustação das membranas com precipitados de cálcio e magnésio. Desse modo, por exemplo, em um sistema de três elementos, o terceiro elemento pode sofrer uma precipitação significativa de cálcio sobre a superfície da membrana no elemento de nanofiltração, desse modo, reduzindo dramaticamente a corrente. Em algumas circunstâncias, essa precipitação pode resultar na incrustação da membrana, a um ponto tal que elas precisam ser substituídas prematuramente.

Um diagrama esquemático generalizado de uma primeira execução da invenção é mostrado na figura 1. O sistema 10, mostrado na figura 1, inclui três elementos de nanofiltração 12, 14, 16, ligados em série. Tal como observado acima, sistemas feitos de acordo com a presente invenção podem incluir mais ou menos do que três elementos de nanofiltração. Desse modo, por exemplo, em algumas execuções, o sistema 10 inclui apenas dois elementos de nanofiltração, enquanto em outras execuções o sistema 10 inclui quatro, cinco ou mais elementos. Também, determinados aspectos da invenção, tal como lavar o elemento de nanofiltração com uma solução de pH baixo, são apropriados para uso com apenas um elemento de nanofiltração.

O sistema 10 da figura 1 inclui um abastecimento 70 de água

de fonte, tal como água de um poço residencial ou de uma fonte municipal. A figura 1 e figuras subsequentes foram simplificadas para fins de clareza, para indicar os principais elementos e disposições desses elementos. Por exemplo, o sistema 10 inclui, em geral, numerosas válvulas que permitem mudanças nas direções da corrente. Tipicamente, essas válvulas não são mostradas nas figuras, mas deduzidas da descrição das correntes de água.

A água do abastecimento 70 tipicamente passa primeiramente através de um ou mais pré-filtros ou passos de tratamento, tal como através de um filtro de partículas 60 e um filtro de carvão ativado 62. Esses filtros 60, 62, embora, em geral, opcionais, podem aperfeiçoar significativamente a vida operacional dos elementos de nanofiltração 12, 14, 16. Depois de passar através dos pré-filtros 60, 62, a água segue ao longo do encanamento 20 (tipicamente, um cano ou tubo de plástico ou metal), para entrar no primeiro elemento de nanofiltração 12. A água que entra no elemento de nanofiltração 12 é separada em duas correntes: uma corrente de permeação de água amaciada e uma corrente de concentrado de água não amaciada, sendo que essa corrente de concentrado tem uma dureza mais alta do que a água que entrou no elemento de nanofiltração 12. A corrente de permeação sai do elemento de nanofiltração 12 e é desviada pelo encanamento 30 para um tanque de retenção 40 ou pode ser fornecida diretamente para uso final, tal como ser instalada diretamente em um abastecimento de água residencial.

A corrente de concentrado sai do elemento de nanofiltração 12 e é desviada pelo encanamento 22 para o segundo elemento de nanofiltração 14. A água que entra no segundo elemento de nanofiltração 14 é novamente separada tanto em uma corrente de permeação como uma corrente de concentrado. A corrente de permeação é desviada pelo encanamento 32 para o tanque de retenção 40 ou pode ser fornecida diretamente para uso final. Tipicamente, as correntes de permeação do encanamento 30 e 32 são tratadas de modo similar, sendo fornecidas a um tanque de retenção comum ou fornecidos diretamente a um abastecimento de água. A corrente de concentrado do elemento de nanofiltração 14 sai do elemento 1 por meio do encanamento 24, que fornece a corrente ao elemento de nanofiltração 16. O ele-

mento de nanofiltração recebe essa corrente de concentrado do elemento 14, que é mais concentrada do que a corrente de concentrado do elemento 12, e fornece a mesma ao elemento de nanofiltração 16. O elemento de nanofiltração 16 novamente separa a corrente de entrada em duas correntes de saída distintas. A primeira é uma corrente de água de permeação amaciada, que sai do elemento 16 por meio do encanamento 34, onde é guiada pra o tanque de retenção 40 ou então usada como água amaciada. A corrente de concentrado do elemento de nanofiltração 16 é descarregada através do encanamento 26 ao destino de descarga 50, que é, tipicamente, uma linha de esgoto sanitário ou outro destino de águas servidas.

A figura 2 mostra um sistema de nanofiltração similar ao mostrado na figura 1, exceto que o sistema de nanofiltração 10 inclui a capacidade de inverter a corrente através dos elementos de nanofiltração 12, 14, 16, a fim de evitar ou reduzir o desenvolvimento de sais que se precipitam sobre os elementos de nanofiltração, especialmente, sais de cálcio e magnésio. A seta mostra a direção da corrente de água dentro do sistema 10 da figura 2. O sistema amaciador de água por nanofiltração 10 inclui um encanamento adicional 25, que possibilita que a corrente de água da fonte 70 suba para o encanamento 26, após o que ela entra no elemento de nanofiltração 16, depois, no elemento de nanofiltração 14, e, finalmente, no elemento de nanofiltração 12, sai do elemento de nanofiltração 12 e é desviada pelo encanamento 27 de volta para um encanamento de descarga 31, que leva ao destino de descarga 50. Os encanamentos 34, 32 e 30 continuam a remover água de permeação amaciada dos elementos de nanofiltração, enquanto os encanamentos 24 e 22 ligam os elementos de nanofiltração.

A vantagem da operação do sistema tal como mostrada na figura 2 é que permite a circulação das correntes de água, de modo que a corrente é periodicamente invertida em sua ordem através das membranas. Por um primeiro período de tempo, a água em uma primeira direção, enquanto no segundo período de tempo a água corre na direção oposta. Isso evita a formação de concentrações excessivas de íons de cálcio e magnésio na membrana de nanofiltração final, que resulta na precipitação de íons sobre a

membrana. Dependendo das características da água de alimentação, alguns precipitados podem até mesmo ser removidos da membrana de nanofiltração na inversão de corrente.

5 A figura 3 mostra o mesmo sistema amaciador por nanofiltração, tal como mostrado na figura 2, mas a ordem de corrente através dos elementos de nanofiltração 12, 14, 16 foi invertida, tal como mostrado pelas setas de corrente.

Diversos elementos de filtro de nanofiltração podem ser usados com a presente invenção. Os elementos de filtro devem ser apropriados para
10 uso para amaciar água dura a pressões relativamente baixas, enquanto possibilitam índices de corrente e índices de recuperação apropriadamente altos. Portanto, nem todos os elementos de nanofiltração oferecem índices de rejeição adequados de íons de dureza, corrente de água e índices de recuperação de água. Elementos de nanofiltração apropriados são descritos
15 mais detalhadamente abaixo.

As dimensões do elemento de nanofiltração são escolhidas, em geral, com base na aplicação para a qual deve ser usado. Desse modo, o comprimento, largura e área de superfície do elemento de nanofiltração podem todos ser escolhidos para aperfeiçoar a aptidão do aparelho amaciador
20 para usos específicos. Elementos de nanofiltração apresentam-se em diversas configurações, incluindo membranas enroladas em espiral, fibras ocas e tubular. Em geral, o elemento de nanofiltração é uma membrana enrolada em espiral.

O elemento de nanofiltração tem, em geral, uma área de superfície de maior do que 2,0 metros quadrados, mas menos de 40 metros quadrados, e, mais tipicamente, de 7 a 40 metros quadrados. Os elementos de nanofiltração não devem ser tão compridos que necessitem da produção de uma carcaça grande, que não cabe em uma residência. Em geral, os elementos de nanofiltração são escolhidos de tal modo que o aparelho amaciador caiba na área de serviço de uma residência. Elementos apropriados podem ter, por exemplo, um comprimento de filtro total de 40 a 125 centímetros. Elementos de nanofiltração apropriados para uso com a invenção têm,
30

tipicamente, um diâmetro de 5 a 25 cm.

Membranas de nanofiltração apropriadas para uso com o aparelho amaciador de água incluem, por exemplo, a Dow Film Tec NF90, que é uma membrana composta de filme de poliamida fino, a Dow Film Tec NF270, que é uma membrana composta de filme de poliamida fino, a Dow Film Tec NF200, que é uma composição de filme de poliamida fino, Trisep TS 83, que é uma membrana de filme fino de poliamida aromática, a Trisep TS 80, que é uma poliamida aromática, e a PTI-AFM NP, que é uma composição de filme fino de poliamida, e as Membranas Koch TFC-SR1, uma membrana de poliamida composta de filme fin^o. A NF 90 demonstrou ser uma membrana particularmente útil, com passagem de soluto de cerca de 5 a 15 por cento, e um fluxo de 21,4 LMH, com uma dureza total de 15 ppm, íons de cálcio, 3 ppm e magnésio, de 2 ppm.

A tabela 1, abaixo, mostra resultados do uso de seis membranas diferentes e a análise de água de permeação e de alimentação quanto à dureza, com água municipal. Todos os testes foram realizados a 482 kpa (70 psi), usando uma membrana de folha plana e a temperaturas ambiente.

TABELA 1

Amostra	Fluxo (LMH)	Dureza total (ppm)	Cálcio (ppm)	Magnésio (ppm)
Alimentação inicial	N/A	182	45	17
NF 90	21.4	15	3	2
NF 270	38	117	32	9
NF 200	9.5	101	32	5
TRISEP TS 83	15.8	61	16	5
TRISEP TS 80	18.8	40	16	0
PTI-AFM NP	26.4	117	32	9

Em geral, os elementos de nanofiltração apropriados para uso com a invenção têm um alto índice de rejeição a íons divalentes, junto com uma corrente de água suficiente através dos elementos de nanofiltração a

pressões relativamente baixas a fim de proporcionar um índice de corrente de água e índice de recuperação que sejam suficientemente altos para atender as necessidades da maioria dos clientes residenciais. Esses íons divalentes incluem numerosos íons de dureza, tais como cálcio e magnésio. Índice de corrente significa o índice de corrente de pico, médio, através do filtro. Índice de recuperação significa a porcentagem de água de entrada que é recuperada como água amaciada, com relação à quantidade de água que entra no amaciador de água. Embora esses parâmetros específicos são todos importantes individualmente, sendo que a combinação desses parâmetros é particularmente importante, a fim de obter um amaciador de água que seja apropriado para uso em residências e pequenos negócios.

O elemento de nanofiltração tem, tipicamente, um tamanho de poro médio que permite a passagem de água e íons monovalentes, mas substancialmente rejeita a passagem de íons divalentes, particularmente, íons divalentes associados à dureza da água. Embora diversos íons possam ser usados para medir o índice de rejeição, um íon apropriado para fazer essas determinações é o íon de cálcio. Elementos de filtro de nanofiltração típicos, úteis com a presente invenção, normalmente impedem mais de 80 por cento dos íons de cálcio de passar através do elemento de filtro sob condições operacionais. Elementos de filtro mais apropriados impedem mais de 85 por cento dos íons de cálcio de passar através do filtro sob condições operacionais. Elementos de filtro ainda mais apropriados têm um índice de rejeição de mais de 90 por cento de íons de cálcio. Os elementos de nanofiltração precisam ter um fluxo de permeação suficiente de água. Por exemplo, em determinadas modalidades, o fluxo de água deionizada através dos elementos de nanofiltração é de em torno de 30 litros por metro quadrado de membrana de filtro por hora (lmh) a 206-413 Kpa (30-60 psi).

Elementos de nanofiltração apropriados têm, tipicamente, um diâmetro de eliminação de filtração de peso molecular de 20 a 500, ainda mais usualmente, 100 a 400, e o mais usualmente, 200 a 300. Tal como usado no presente, eliminação de filtração (expressa em peso molecular) segue a convenção usada em medições de filtração, e refere-se a um âmbito

de pesos moleculares de materiais, que são excluídos a índices altos. Mas, em geral, pequenas quantidades de material passam através dessas membranas que têm pesos moleculares dentro do âmbito de eliminação. Além disso, podem ocorrer índices relativamente altos de exclusão de moléculas
5 fora do âmbito de eliminação, mas, em geral, essa exclusão é a um índice mais baixo dentro do âmbito de eliminação. Pelo uso de um filtro com uma eliminação de peso molecular alto, é possível aumentar a corrente de água. Desse modo, ocorre a exclusão suficiente de íons de cálcio e passagem de água adequada, com um elemento de filtração com um âmbito de eliminação
10 de peso molecular de 200 a 300.

O aparelho está vantajosamente construído de tal modo que ele não aumenta, substancialmente, os níveis totais de sal com relação à corrente de introdução de água. Desse modo, o aparelho amaciador não adiciona íons à corrente de água, mas, em vez disso, remove pelo menos al-
15 guns dos íons da corrente de introdução e descarrega os mesmos na corrente de saída de não permeação. Diversos elementos de filtro de nanofiltração diferentes são apropriados para uso com a invenção, incluindo elementos de filtro que contêm uma membrana carregada positivamente, porque essas membranas, em geral, repelem os íons de dureza divalentes, positivos, e
20 limitam a passagem dos mesmos através da membrana.

O amaciador de água da presente invenção está configurado, em geral, para proporcionar um amaciamento de água de alta qualidade na pequena escala necessária para aplicações residenciais (e similares). Normalmente, o amaciador de água proporciona uma corrente de água suficiente, de modo que não é necessário ter um reservatório ou tanque de pressão
25 contendo água amaciada e armazenada. Portanto, o amaciador de água normalmente proporciona amaciamento de água instantâneo, adequado, para atender as necessidades de uma residência típica. Evitar o uso de tanques de armazenamento é vantajoso para os consumidores, porque diminui
30 a probabilidade de contaminação no tanque de armazenamento por microorganismos. Além disso, evitar o uso de um tanque de retenção reduz o tamanho e o custo do dispositivo amaciador de água. Porém, em algumas aplica-

ções, é usado um recipiente para reter pelo menos alguma água amaciada, para atender picos de demanda de água.

Diversos pré-filtros também são apropriados para uso com a invenção, a fim de aperfeiçoar o desempenho e a longevidade do elemento de nanofiltração. Por exemplo, um pré-filtro pode ser usado para remover material suspenso grande, que, de outro modo, iria obstruir o elemento de filtro de nanofiltração. Outros pré-filtros apropriados para uso com a invenção são pré-filtros de ferro, para remover ferro da fonte de água introduzida, pré-filtros de sedimentos, para remover sedimentos da fonte de água introduzida, pré-filtros de cloro, para remover cloro da fonte de água introduzido, e pré-filtros biológicos, para remover bactérias, protozoários e outros microorganismos.

Além de usar pré-filtros, a água pode ser tratada previamente, para aperfeiçoar o desempenho, quer aquecendo a água suficientemente para aperfeiçoar os índices de corrente, sem causar a formação de película, quer por tratamento prévio magnético da água introduzida, para inibir a formação de película. Outros passos de tratamento prévio, tal como tratamento prévio químico, são apropriados para uso com modalidades da invenção.

Em geral, a água amaciada na presente invenção é água potável, tal como a que é fornecida por uma fonte subterrânea. Por exemplo, a água pode ser de um poço residencial particular, de um abastecimento de água municipal (que tipicamente contém água subterrânea), ou outra fonte. Embora a água abastecida normalmente seja potável, é possível usar água não potável em modalidades específicas, prevendo pré-filtros que removem agentes de contaminação (tal como *Cryptosporidium*).

O amaciador de água da invenção normalmente está dimensionado de tal como que pode ser instalado em um espaço igual a ou menor que o espaço exigido para um amaciador de água de troca de íons. Isso permite que o dispositivo amaciador seja usado como substituto para amaciadores existentes. Em determinadas modalidades, o amaciador da invenção está construído de tal como que ele é significativamente menor do que amaciadores de troca de íons de capacidade amaciadora similar. Essas econô-

mias em tamanho são possíveis, uma vez que não é necessário ter um meio de troca de íons ou um tanque de recarga.

Tal como descrito acima, amaciadores de água da presente invenção estão tipicamente construídos e dispostos de modo que possam ser operados a pressões relativamente baixas, em geral, abaixo de 1723 Kpa manométricos (250 psig). Essa pressão baixa evita o uso de equipamento de pressurização dispendioso. Modalidades específicas da invenção prevêem um aparelho configurado e disposto para ter uma corrente de saída de água de permeação de 757 L (200 galões) ou mais por período de 24 horas. Em geral, o aparelho pode ter um índice de corrente de saída de pico de água de permeação, que é de menos de 37,8L/min (10 galões) por minuto mesmo que geralmente a taxa do pico de corrente de saída de água de permeação seja de 19 a 37 L/min (5 a 10 galões min). O aparelho amaciador também é, em geral, altamente eficiente, e capaz de produzir uma corrente de saída de água de permeação que contém mais de 80 por cento da corrente introduzida. Em determinadas modalidades, a corrente de saída de água de permeação contém mais de 90 por cento da corrente introduzida. A corrente de saída de água de permeação pode ter, em geral, por exemplo, uma dureza abaixo de 25,6 mg/L (1,5 grãos por galão).

Em determinadas modalidades, a função do elemento de membrana é aperfeiçoada por inversão da corrente entre os elementos de membrana e lavagem do concentrado pela alimentação, resultando em desempenho aperfeiçoado e ação de incrustação reduzida, desse modo ajudando a manter um fluxo constante.

Modalidades da invenção também estão voltadas para a regeneração dos elementos amaciadores de nanofiltração, por lavagem das membranas com uma solução ácida para dissolver precipitados de cálcio e magnésio. A lavagem com ácido é realizada, tipicamente, enquanto o sistema de nanofiltração não está funcionando para amaciar água para uso final, e, portanto, é desejável programar qualquer função de lavagem com ácido para horas quando o uso de água é baixo, tal como tarde da noite. Também, em geral, os elementos de nanofiltração a ser lavados são facilmente isolados

do restante do sistema de água, de modo que o ácido pode ser guiado através dos elementos de nanofiltração em um circuito fechado, que não fornece água ácida ao usuário final. Em vez disso, depois de passar o ácido através dos elementos de nanofiltração, a água ácida pode ser descarregada através de uma linha de águas servidas, tipicamente, a mesma linha que leva o
5 concentrado do elemento de nanofiltração final.

Os ácidos usados para regenerar o elemento de nanofiltração são, desejavelmente, aprovados pela Food and Drug Administration (FDA) para consumo humano e são da classificação de alimentos. Ácidos apropriados incluem, por exemplo, ácido acético, ácido muriático e ácido láctico, e
10 combinações dos mesmos. Outros ácidos apropriados incluem ácido fosfórico, ácido cítrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico etc. Misturas desejáveis incluem, por exemplo, de 2 a 3 por cento de ácido acético, de 3 a 5 por cento de ácido muriático e de 0,05 a 0,1 por cento de ácido láctico.

Níveis de pH apropriados incluem, por exemplo, um pH de 2 a 2,5. Níveis de pH aceitáveis estão, freqüentemente, abaixo de 5,0, podem estar abaixo de 4,0, e estão abaixo de 3,0 em algumas modalidades. A solução de ácido pode ser mais eficiente a temperaturas elevadas e, portanto, o sistema também pode incluir um aquecedor para aquecer a solução de ácido,
15 do, antes de guiar a mesma através dos elementos de nanofiltração. Temperaturas apropriadas para a lavagem com ácido são, por exemplo, acima de 25°C, acima de 30°C, acima de 40°C e abaixo de 50°C. Similarmente, podem ser usados âmbitos de temperatura de 25 a 45°C, assim como também, temperaturas de 30°C a 40°C, e temperaturas de 40 a 45°C.

A figura 6 mostra o efeito do uso de uma lavagem com ácido através das membranas de nanofiltração, para obter um fluxo aumentado dos elementos de nanofiltração. Os testes mostrados nas figuras 9, 10 e 11 foram realizados usando uma membrana Dow Film Tec NF90-4040, com uma área de membrana de, aproximadamente, 22,3 metros quadrados. Água de alimentação municipal de Savage, Minnesota, foi processada a uma
25 pressão de 324 kpa (47 psi) e a uma temperatura de 18 graus Celsius. A membrana tinha um fluxo de água D.I. de 8,5 L/min (2,25 galões por minuto),

mas, após o uso por um período de 160 horas, no qual 53942 litros(14.250 galões) de água foram amaciados, a membrana tinha incrustações a um ponto tal que seu fluxo diminuiu para aproximadamente 2,83 L/min (0,75 galões) por minuto. Por lavagem da membrana incrustada com 37,8 L (10 galões) de água que continha 3-5 por cento de solução de ácido muriático por um período de 30-45 minutos, o fluxo foi aumentado para 4,73 L/min (1,25 galões) por minuto. Por lavagem da membrana incrustada com 37,8 L (10 galões) de uma solução de ácido muriático de 3-5 por cento, junto com 0,05-0,1% de ácido láctico, por um período de 30-45 minutos, o fluxo de água D.I. foi aumentado para 8,3 L/min (2,2 galões) por minuto. A figura 10 mostra o efeito do tempo sobre fluxo de permeação e rejeição, demonstrando que mesmo com uma diminuição de fluxo ao longo do tempo, a rejeição permanece acima de 95%, e a figura 11 mostra o efeito do tempo sobre fluxo de permeação e dureza, demonstrando que, mesmo com uma diminuição de fluxo ao longo do tempo, a dureza de permeação total permanece abaixo de cerca de 15 ppm. Tanto a figura 10 como a figura 11 demonstram que modalidades da presente invenção são particularmente apropriadas para ampliar aplicações de amaciamento.

Em algumas modalidades, as membranas de nanofiltração são lavadas a cada 100 horas, por um período de 5 minutos, com uma solução ácida com um pH de 4 a 4,5, a uma temperatura de pelo menos 30°C. Em outras implementações as membranas de nanofiltração são lavadas a cada 100 horas, pelo período de 5 minutos com uma solução ácida tendo pH 3 a 3,5 à uma temperatura de pelo menos 25°C. Em ainda outras modalidades, as membranas de nanofiltração são lavadas a cada 100 horas, por um período de 5 minutos, com uma solução ácida com um pH de 2 a 2,5, a uma temperatura de pelo menos 20°C.

Em outra modalidade da presente invenção, são postos à disposição um método e um aparelho para remover dureza de água de alimentação de caldeira, para o uso eficiente de longo prazo da caldeiras. Minimizando a dureza da água de alimentação de caldeira, a vida da caldeira pode ser prolongada e os custos de energia e custos de tratamento químico para ope-

rar a caldeira podem ser reduzidos. A presente modalidade emprega o uso de qualquer uma ou a combinação das modalidades precedentes para o tratamento da água de alimentação de caldeira. Além disso, antes da nanofiltração, tal como descrita acima, a água de alimentação de caldeira pode ser

5 tratada previamente usando filtros de carbono ou outros, ou outros métodos de tratamento conhecidos na técnica, dependendo da constituição da água de alimentação de caldeira introduzida. Com referência à figura 12, é mostrado o efeito do tempo sobre fluxo de permeação. Tal como pode ser visto na figura 12, após uso prolongado, mais de 800 horas de operação sem interrupção, o fluxo diminuiu em 33%. Por tratamento com um ácido mineral

10 ou similar, o fluxo original pode ser restaurado. Com referência à figura 13, é mostrado o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e dureza. Tal como pode ser visto na figura 13, após uso prolongado, mais de 800 horas de operação sem interrupção, a dureza permanece abaixo de 8 ppm, indicando a

15 aplicabilidade do presente método e aparelho para aplicações de água de alimentação de caldeira. Com referência à figura 14, é mostrado o efeito de tempo sobre o fluxo de permeação e rejeição. Tal como pode ser visto na figura 14, após uso prolongado, mais de 800 horas de operação sem interrupção, a rejeição permanece acima de 95 por cento, novamente indicando

20 a aplicabilidade do presente método e aparelho para aplicações de água de alimentação de caldeira.

Outras modalidades da invenção ficam evidentes para os que são versados na técnica, do estudo da descrição e da prática da invenção descrita no presente. Pretende-se que a descrição seja considerada apenas

25 como exemplo, sendo que o alcance completo e o espírito da invenção estão indicados pelas reivindicações abaixo.

Embora na descrição precedente esta invenção tenha sido descrita em relação a determinadas modalidades preferidas da mesma, e muitos detalhes tenham sido apresentados para fins de ilustração, fica evidente para

30 os que são versados na técnica que a invenção é suscetível de modalidades adicionais e que determinados detalhes descritos no presente podem ser variados consideravelmente, sem afastar-se dos princípios básicos da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para amaciar água, sendo que o método compreende:
 - (i) prover pelo menos um primeiro elemento de nanofiltração;
 - (ii) prover pelo menos um segundo elemento de nanofiltração configurado, sendo que o referido segundo elemento de nanofiltração está em série com o primeiro elemento de nanofiltração;
 - (iii) prover uma fonte de água potável;
 - (iv) passar a água potável
 - a) primeiramente, através do primeiro elemento de nanofiltração, por um primeiro período de tempo, para gerar uma primeira corrente de permeação de água amaciada, com uma dureza mais baixa do que a fonte de água potável e uma primeira corrente de concentrado de água, com uma dureza mais alta do que a fonte de água potável; e
 - b) subseqüentemente, passar a primeira corrente de concentrado através do segundo elemento de nanofiltração, para gerar uma segunda corrente de permeação de água amaciada, com uma dureza mais baixa do que a fonte de água potável, e uma segunda corrente de concentrado de água, com uma dureza mais alta do que a fonte de água potável;
 - (v) inverter a corrente da água potável, de modo que a água potável da fonte de água potável passa:
 - a) primeiramente, através do segundo elemento de nanofiltração, por um segundo período de tempo, para gerar uma corrente de permeação de água amaciada, com uma dureza mais baixa do que a fonte de água potável, e uma corrente de concentrado de água, com uma dureza mais alta do que a fonte de água potável; e
 - b) subseqüentemente, passar a corrente de concentrado através do primeiro elemento de nanofiltração, para gerar uma corrente de permeação de água amaciada, com uma dureza mais baixa do que a fonte de água potável; e repetir os passos (iv) e (v).
2. Método para amaciar água de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro elemento de nanofiltração está configurado para rejeitar pelo menos 80 por cento de íons de cálcio.

3. Método para amaciar água de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro elemento de nanofiltração está configurado para rejeitar pelo menos 80 por cento de íons de cálcio.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende,
5 ainda, um terceiro elemento de nanofiltração intermediário entre o primeiro e o segundo elemento de nanofiltração.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro período é de menos de 2 horas de duração.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro
10 período é de menos de 1 hora de duração.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro período é de menos de 30 minutos de duração.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o primeiro período é de pelo menos 10 minutos de duração.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o segundo
15 período é de menos de 2 horas de duração.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o segundo período é de menos de 1 hora de duração.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o segundo
20 período é de menos de 30 minutos de duração.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o segundo período é de pelo menos 10 minutos de duração.

13. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende,
25 ainda, lavar os elementos de filtro de nanofiltração por um período de pelo menos 30 segundos.

14. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende,
ainda, lavar os elementos de filtro de nanofiltração por um período de menos de 5 minutos.

15. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende,
30 ainda, lavar os elementos de filtro de nanofiltração por um período de tempo de menos de 10 por cento do período de amaciamento.

16. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende,

ainda, lavar os elementos de filtro de nanofiltração por um período de tempo de menos de 5 por cento do período de amaciamento.

17. Método de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda, lavar o sistema com uma composição de ácido.

5 18. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o ácido é escolhido do grupo que consiste em ácido muriático, ácido acético, ácido láctico e combinações dos mesmos.

19. Método de acordo com a reivindicação 1, sendo que o ácido é escolhido do grupo que consiste em ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido
10 cítrico e combinações dos mesmos.

20. Método para amaciar água, sendo que o método compreende:

(i) prover pelo menos um primeiro elemento de nanofiltração, configurado para rejeitar pelo menos 80 por cento de íons de cálcio;

15 (ii) prover pelo menos um segundo elemento de nanofiltração, configurado para rejeitar pelo menos 80 por cento de íons de cálcio, sendo que o referido segundo elemento de nanofiltração está em série com o primeiro elemento de nanofiltração;

(iii) prover uma fonte de água potável;

20 (iv) passar a água potável através do primeiro elemento de nanofiltração e, depois, para dentro do segundo elemento de nanofiltração, por um primeiro período de tempo;

(v) inverter a corrente da água potável, de modo que ela passa através do segundo elemento de nanofiltração e, depois, para dentro do primeiro elemento de nanofiltração, por um segundo período de tempo, sendo
25 que o segundo período de tempo é mais curto do que o primeiro período de tempo;

repetir as etapas (iv) e (v) durante a execução do método.

21. Método de acordo com a reivindicação 20, que compreende,
30 ainda, um terceiro elemento de filtração, sendo que o referido terceiro elemento de filtração está posicionado intermediariamente entre o primeiro e o segundo elementos, de modo que a corrente entre o referido primeiro e o

referido segundo elementos passa através do terceiro elemento.

22. Método de acordo com a reivindicação 20, sendo que o primeiro período de tempo é de 20 a 30 minutos e o segundo período de tempo é de 20 a 30 minutos.

5 23. Método de acordo com a reivindicação 20, que compreende, ainda, a adição de ácido.

24. Método para amaciar água de acordo com a reivindicação 20, sendo que a corrente introduzida é fornecida a uma pressão de G9 a 1379 Kpa (10 a 200 libras por polegada quadrada).

10 25. Método para amaciar água de acordo com a reivindicação 20, sendo que a corrente introduzida é fornecida a uma pressão de 172 a 344 Kpa (25 a 50 libras por polegada quadrada).

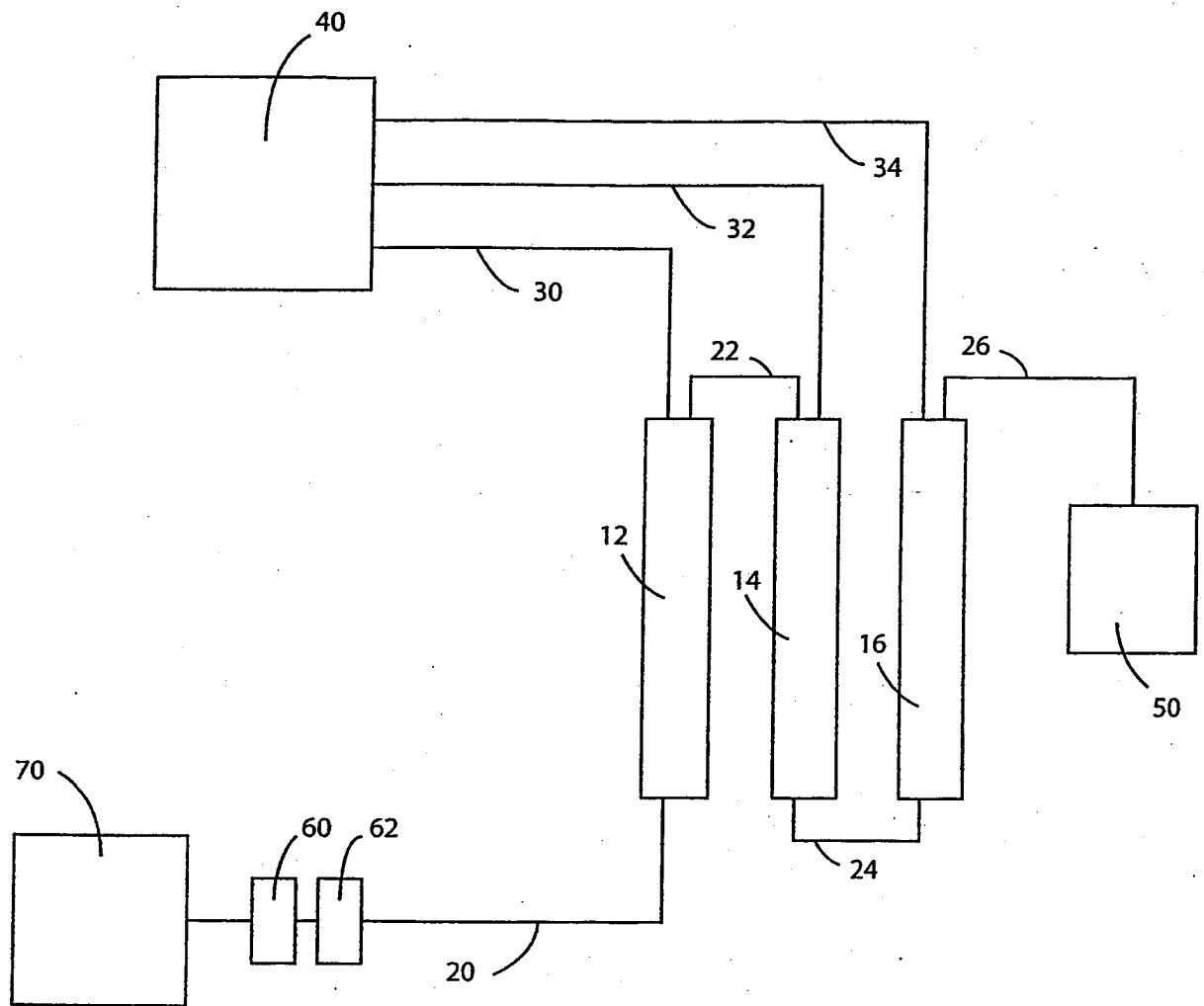


Fig.1

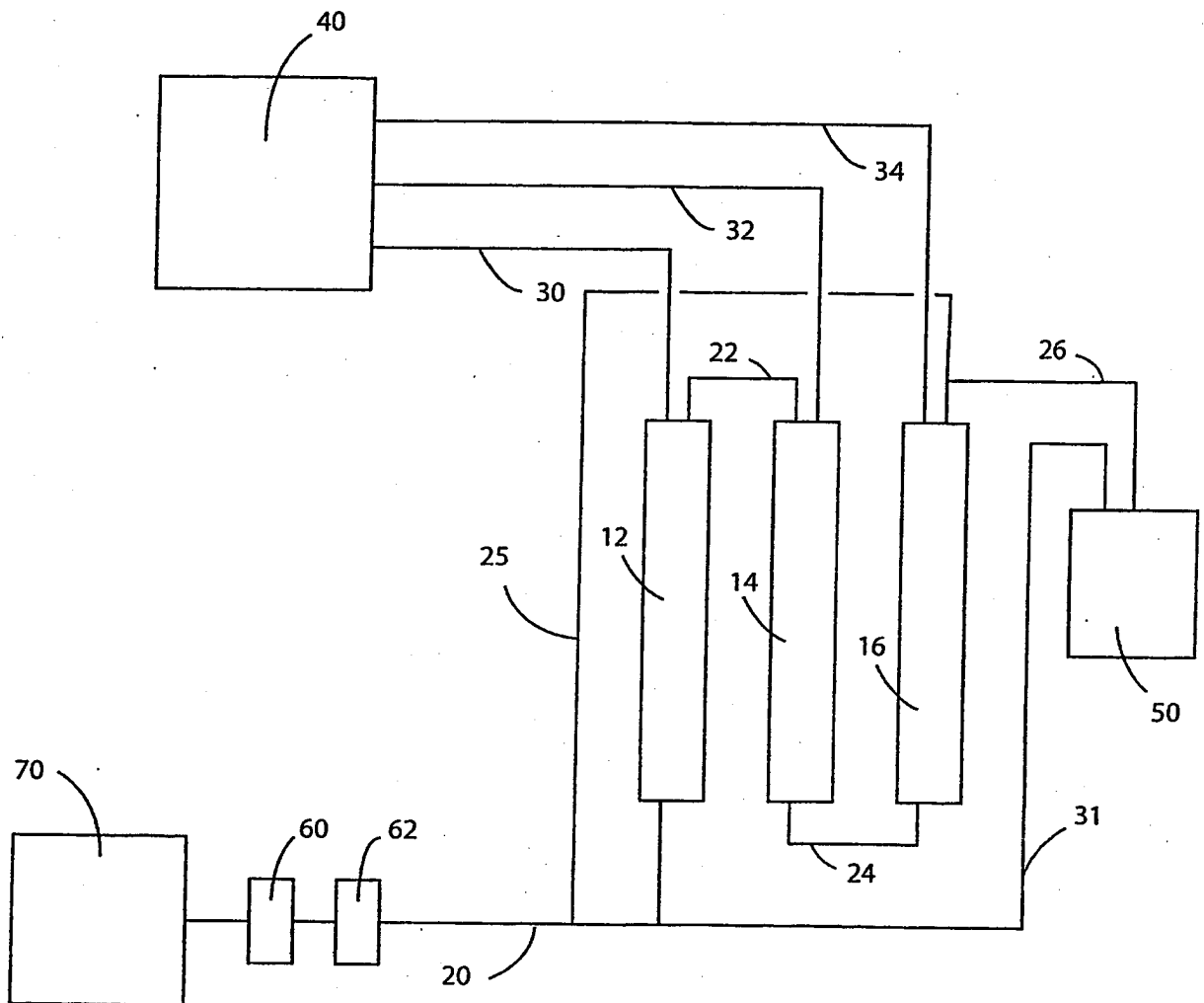
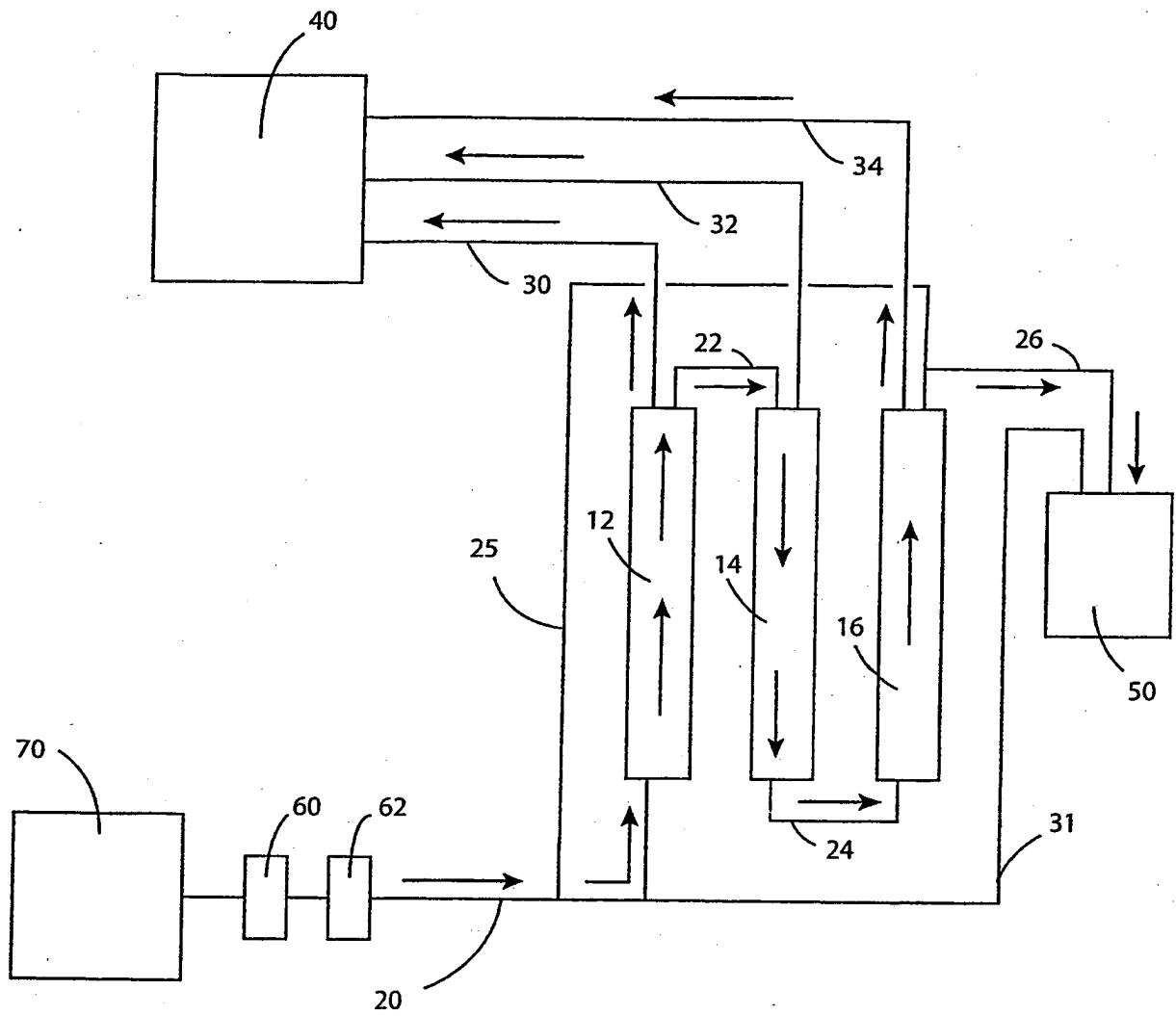
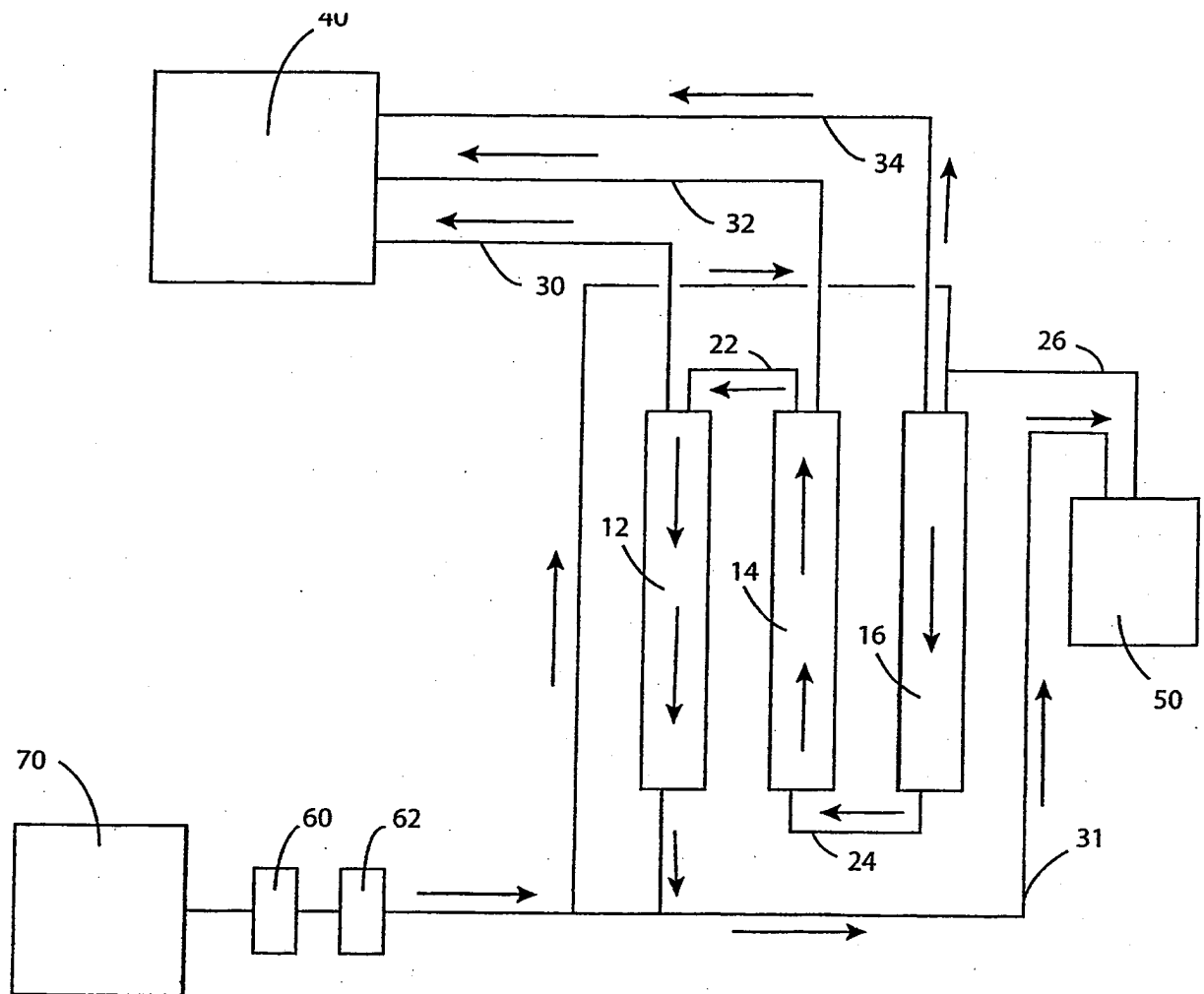


Fig.2

**Fig.3**

**Fig.4**

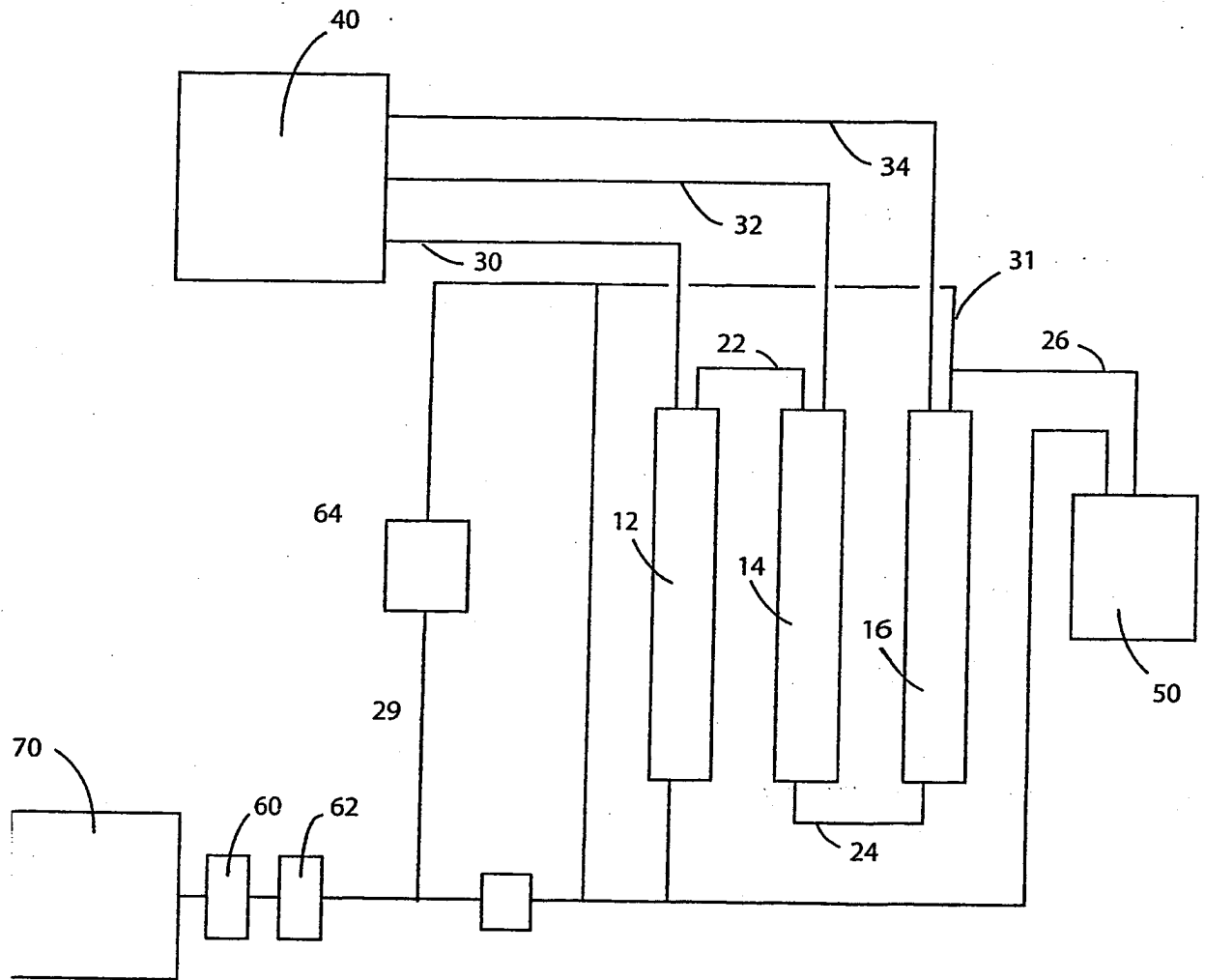
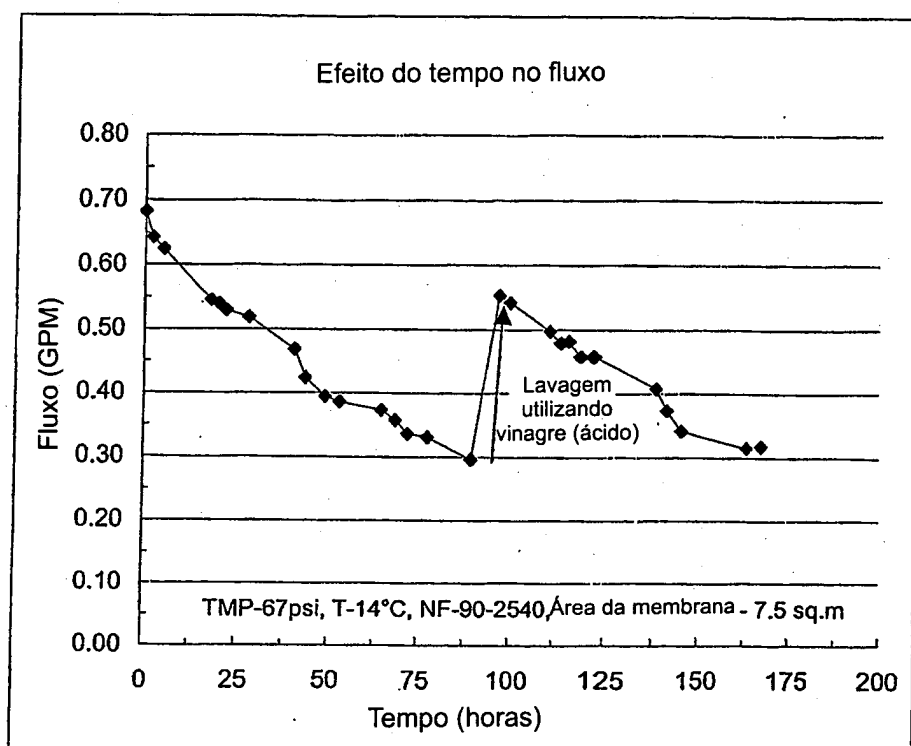
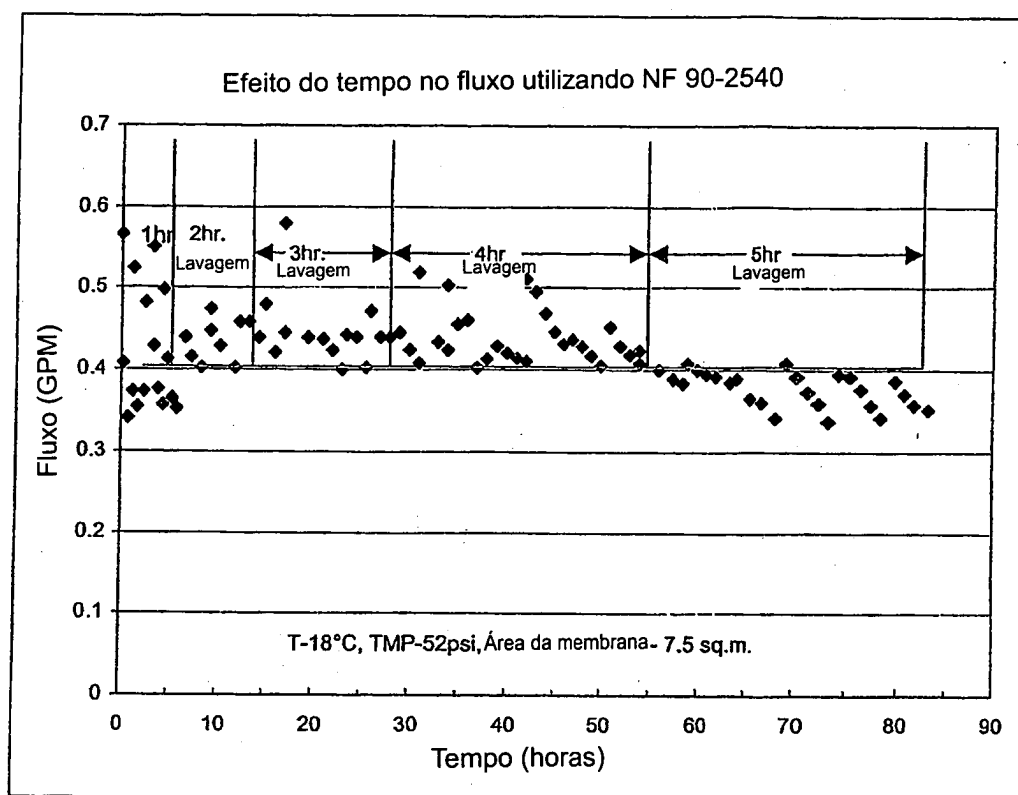
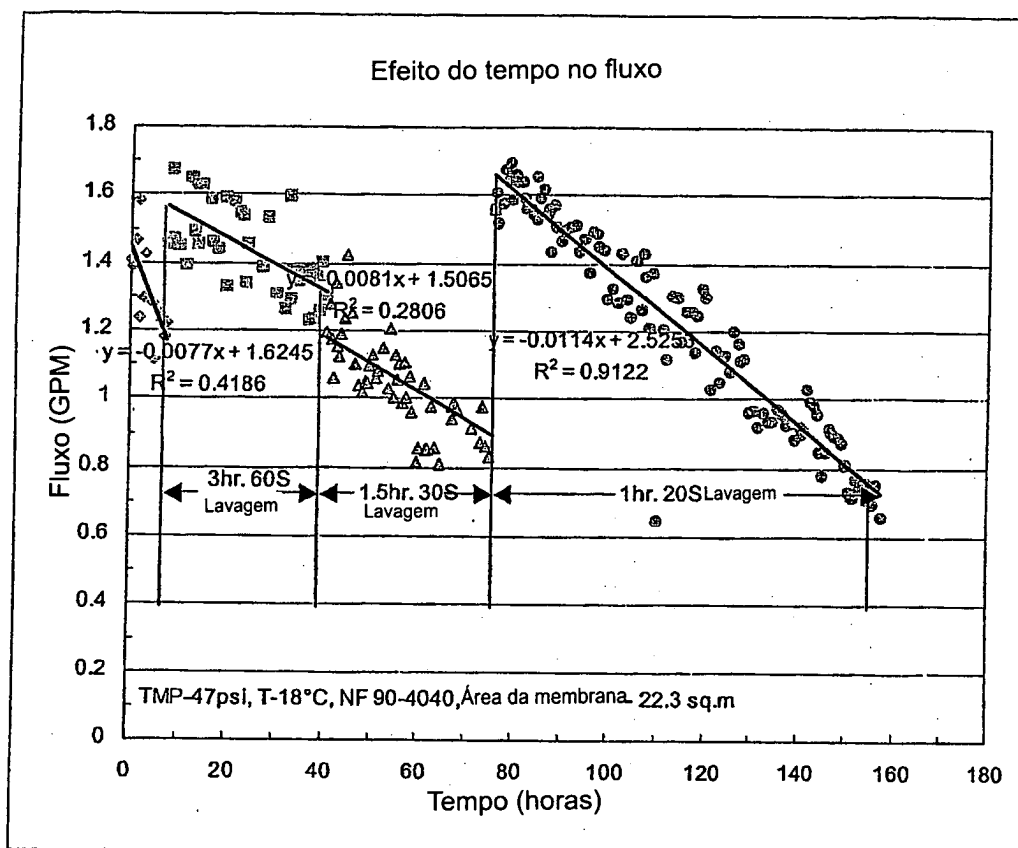
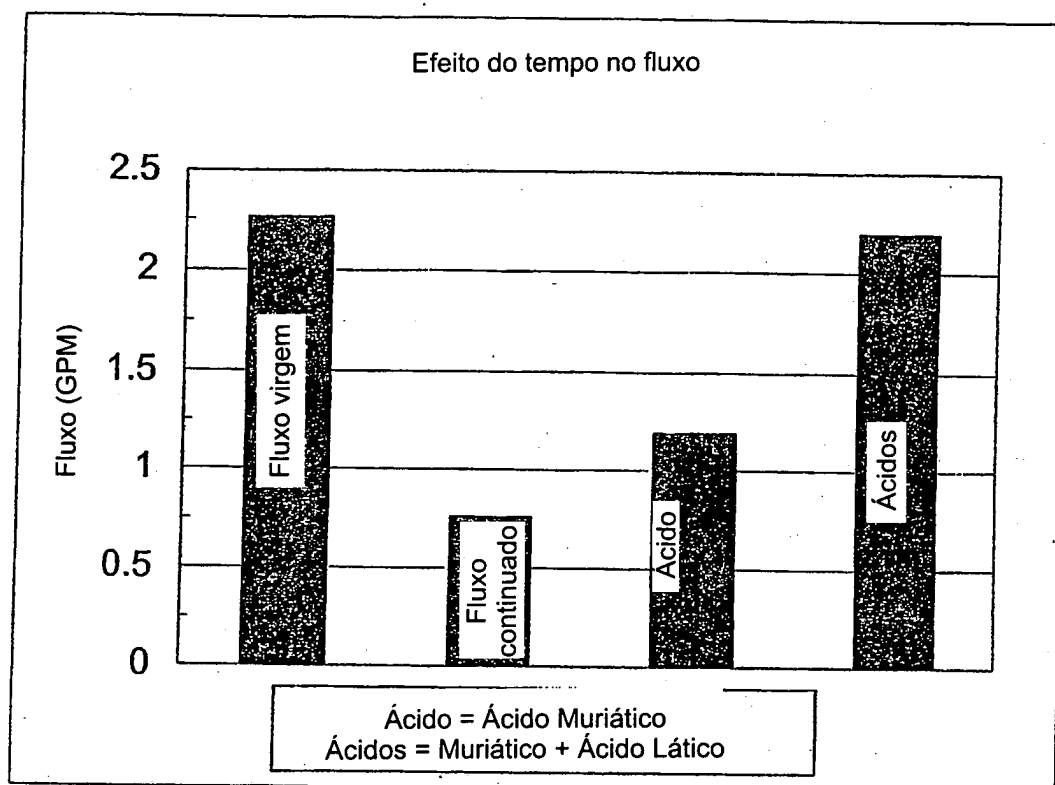


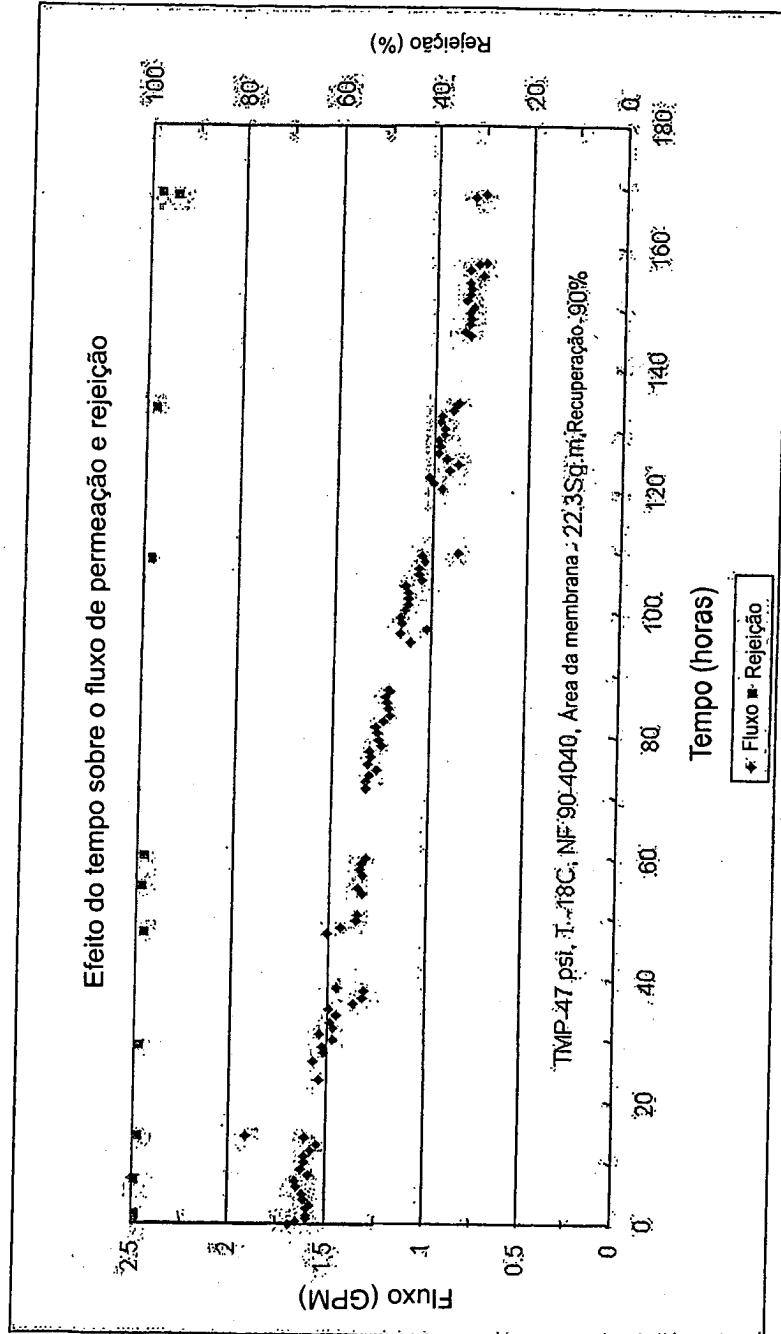
Fig.5

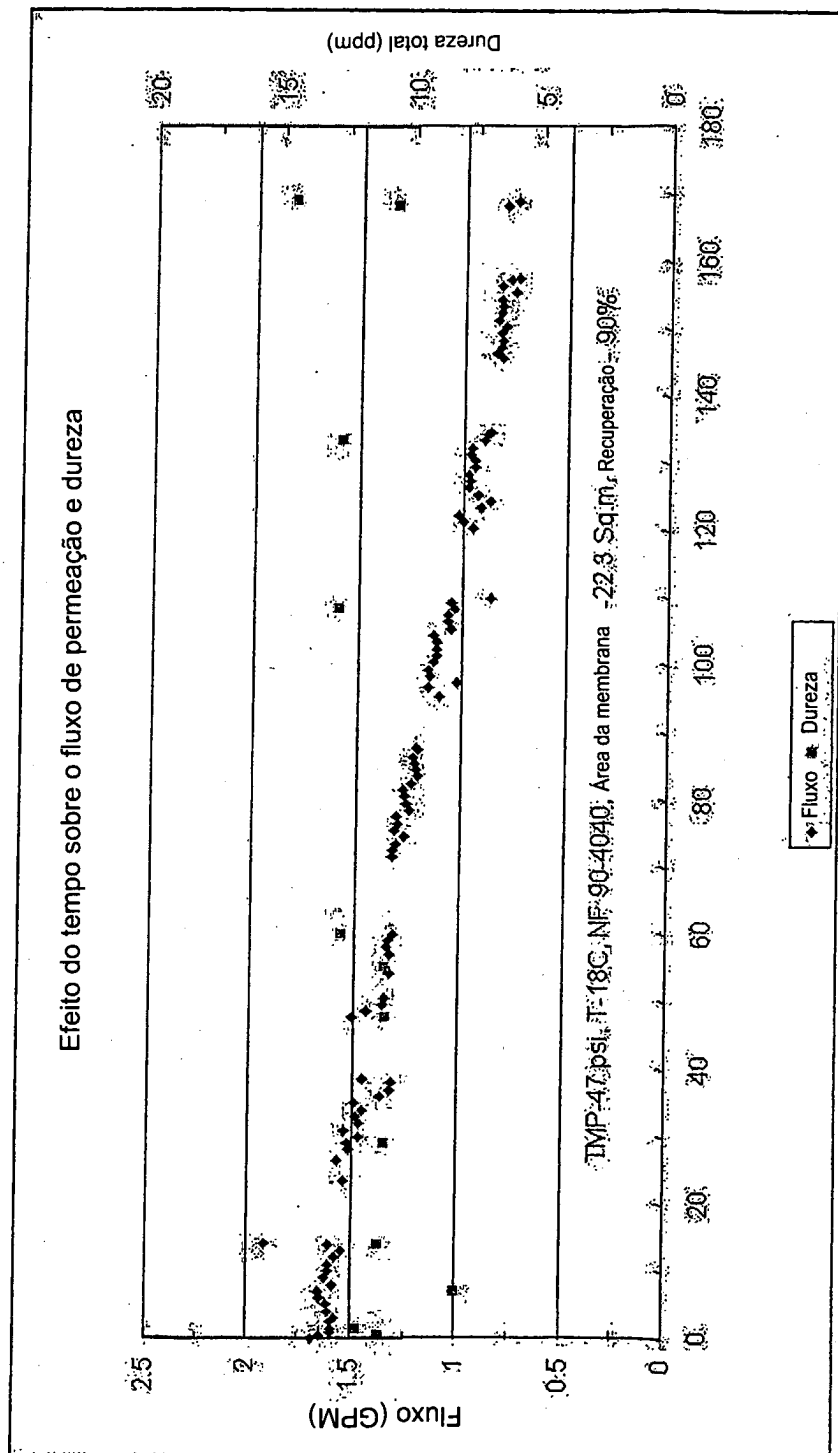
**Fig.6**

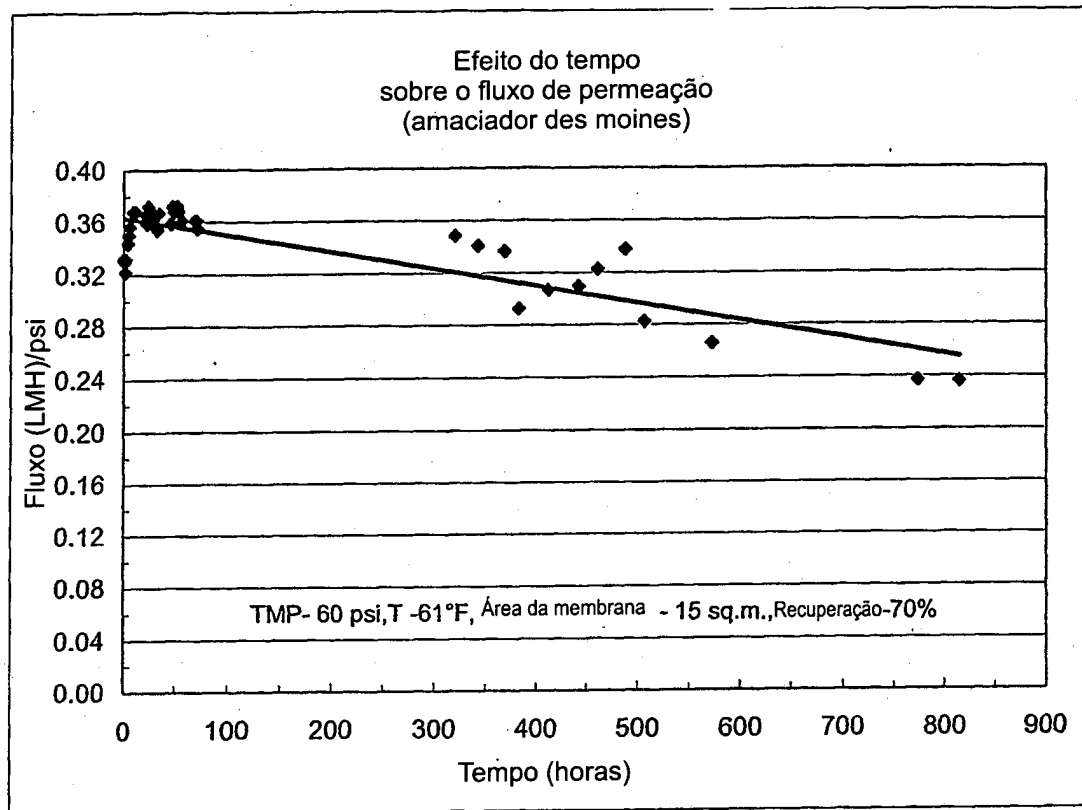
**Fig.7**

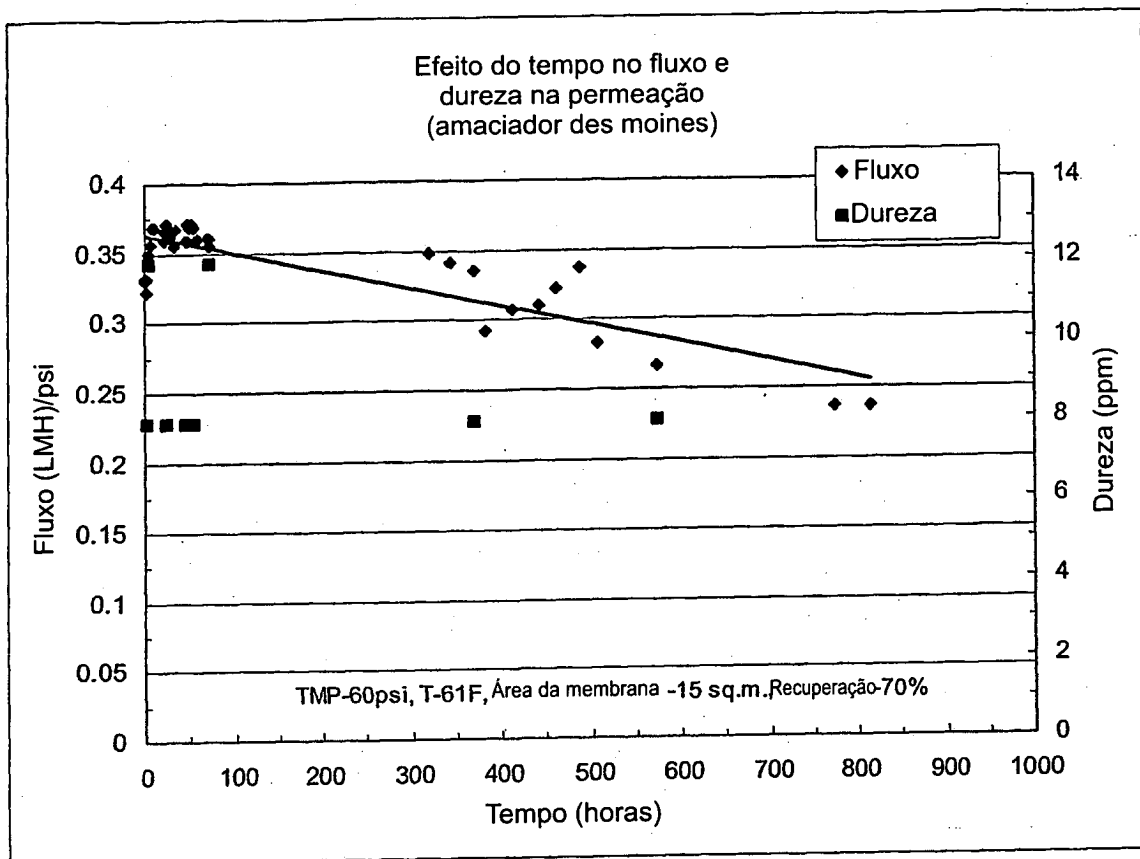
**Fig.8**

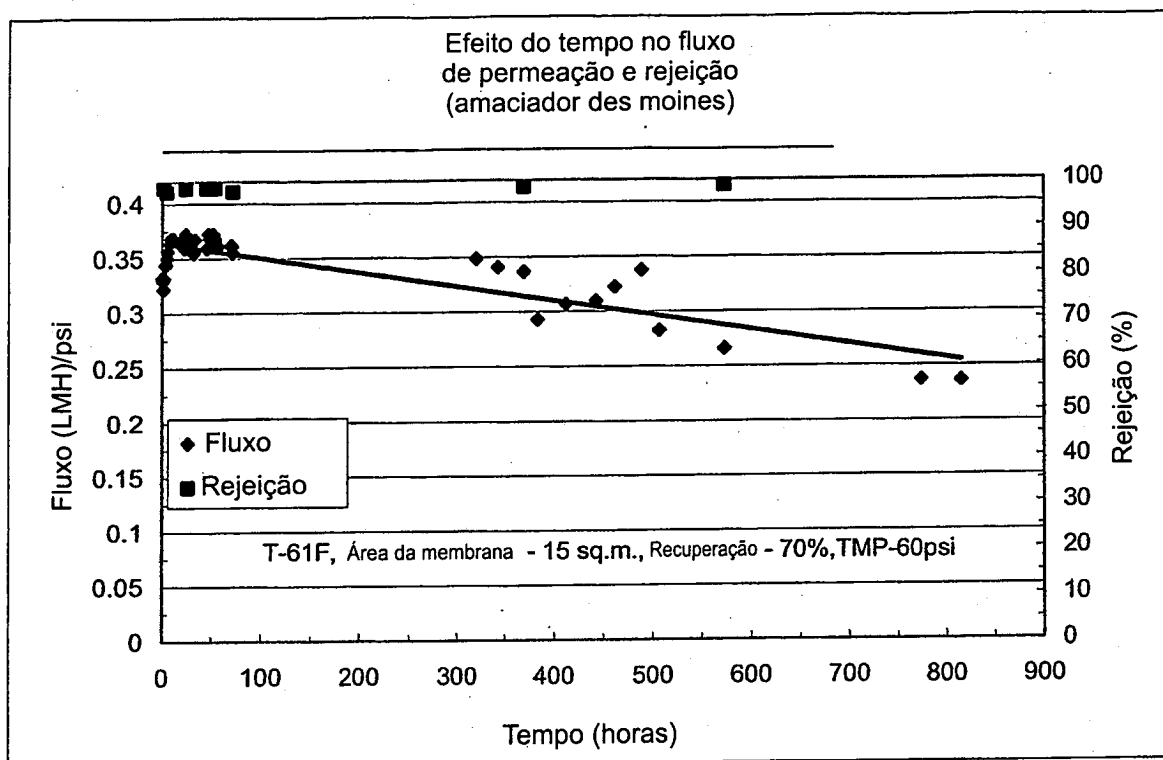
**Fig.9**

**Fig.10**

**Fig.11**

**Fig.12**

**Fig.13**

**Fig.14**

RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA, APARELHO E MÉTODO DE AMACIAMENTO DE ÁGUA DE VIDA PROLONGADA"**.

A presente invenção refere-se a um aparelho e a um método para amaciar água. Particularmente, são descritos um aparelho e um método para amaciar água, sem a adição de íons à corrente de águas servidas. O aparelho inclui, em geral, pelo menos um elemento de filtro de nanofiltração, configurado e disposto para receber uma corrente de introdução de água dura, descarregar uma corrente de saída de água de permeação, que compreende uma parte da corrente de introdução, e descarregar uma corrente de saída de água não permeada, que compreende uma parte da corrente de introdução. O elemento de filtro de nanofiltração tem, tipicamente, um tamanho de poro médio que permite a passagem de água e íons monovalentes, mas impede, substancialmente, a passagem de íons divalentes.