



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112014012144-3 B1



(22) Data do Depósito: 21/11/2012

(45) Data de Concessão: 22/12/2020

(54) Título: MATRIZ DE TROCA DE CALOR

(51) Int.Cl.: F28D 19/04; B01J 19/32; B21D 53/04; F24F 3/14.

(30) Prioridade Unionista: 21/11/2011 NL 2007827.

(73) Titular(es): OXYCOM BEHEER B.V..

(72) Inventor(es): MARK M. HAKBIJL; JOHANNES ANTONIUS MARIA REINDERS.

(86) Pedido PCT: PCT NL2012050830 de 21/11/2012

(87) Publicação PCT: WO 2013/095105 de 27/06/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/05/2014

(57) Resumo: MATRIZ DE TROCA DE CALOR. A presente invenção refere-se a uma matriz de troca de calor que compreende uma pluralidade de folhas geralmente planas (32, 34) compreendendo um material de retenção de água, disposto em uma relação espacada substancialmente paralela. Cada folha (32, 34) define um plano principal (P) que tem uma direção de fluxo (F) e uma direção transversal (T) e as folhas (23, 34) compreendem tiras (36a, 36b, 36c) que se estendem por um comprimento de tira na direção transversal (T) e são separadas de cada tira vizinha (36a, 36b, 36c) na direção de fluxo (F), e cada tira (36a, 36b, 36c) é deslocada do plano principal (P) por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha. A matriz pode ser provida em um canal de fluxo para ar a ser umidificado e resfriado.

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MATRIZ DE TROCA DE CALOR".**

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

**Campo da Invenção**

[001] A presente invenção refere-se a uma matriz de troca de calor do tipo que pode ser usada como um umidificador adiabático para a introdução de umidade em um fluxo de fluido. A invenção ainda se refere a métodos de fabricação desses dispositivos. Uma matriz deste tipo pode operar para prover um resfriamento adiabático para fins domésticos e também pode ser usada para umidificação em combinação com sistemas convencionais de condicionamento e aquecimento de ar. Também pode ser usada para a remoção de umidade a partir de uma corrente de ar em combinação com um dessecante adequado.

**Descrição da Técnica Relacionada**

[002] Os dispositivos de troca de calor de uma forma ou outra estão presentes em virtualmente todo dispositivo e processo. A execução de uma ação invariavelmente envolve a liberação de energia na forma de calor. Se não requerido, o calor frequentemente será liberado para o ambiente através de uma superfície de condução de calor apropriada provida, por exemplo, com aletas de resfriamento. Se a quantidade de calor for excessiva ou se puder ser empregada para finalidades úteis, um trocador de calor específico poderá ser provido para o transporte de calor para longe, por exemplo, para um outro sistema. A troca de calor também pode ocorrer entre meios diferentes: - meios gasosos, líquidos e sólidos podem ter interfaces em todas as combinações, de acordo com a performance requerida.

[003] Os sistemas adiabáticos também são conhecidos, os quais atuam por evaporação de um líquido, usualmente água, em uma corrente de ar. Esses sistemas não são trocadores de calor no sentido estrito, uma vez que eles não fazem primariamente com que o calor

entre ou saia do sistema. De fato, eles servem meramente para mudança da temperatura da corrente de ar enquanto se eleva sua entalpia apenas pelo calor sensível da água adicionada. Conforme a água evapora para a corrente de ar, o calor latente de evaporação desta água é provido pelo resfriamento da corrente de ar. Para ar relativamente quente seco, este método de resfriamento pode ser muito eficiente.

[004] Os resfriadores adiabáticos convencionais são expostos na US 3792841 e US 5143658. Esses dispositivos geralmente compreendem uma matriz formada por pilhas de placas corrugadas postas no topo de cada outra, de modo que as corrugações em camadas adjacentes sejam inclinadas umas com respeito às outras. As placas podem ser formadas de vários materiais, mas materiais de fibra orgânica ou inorgânica reforçada com resina são o mais comum. As placas são suportadas por um alojamento ou quadro, o qual pode prover conexões de entrada e de saída para se guiar um fluxo de ar através da pilha. Um arranjo de irrigação é provido para a aplicação de água de forma contínua ou intermitente ou um outro líquido evaporável para as placas. Em uma operação, o ar a ser resfriado é passado através da pilha. Assumindo que o ar não esteja plenamente saturado, ele absorverá vapor de água a partir das placas. Ao fazê-lo, a temperatura do ar é diminuída, em direção à assim denominada temperatura de bulbo úmido, a qual é o mínimo teórico. Para dadas condições de operação, a eficiência desses dispositivos pode ser determinada pela energia de entrada requerida para acionamento da corrente de ar através da pilha. Isto de fato, é a única energia externa significativa requerida e é largamente determinada pela resistência ao fluxo geral da pilha e pela velocidade da corrente de ar. Um grande problema com os dispositivos da técnica anterior é que, de modo a se otimizar a eficiência, eles tendem a se tornar relativamente volumosos.

[005] Além do resfriamento adiabático, dispositivos de construção similar também são usados para a umidificação de correntes de ar para outras finalidades. Em particular, em um aquecimento integrado, sistemas de ventilação e condicionamento de ar (HVAC) são frequentemente desejáveis, para o aumento de grau de umidade absoluta do ar para fins de conforto. Em particular, durante os meses de inverno, os sistemas de aquecimento tendem a fazer com que o ar se torne relativamente seco. Isto pode levar a problemas respiratórios, eletricidade estática e outros desconfortos. A adição de umidade de uma maneira eficiente sem aumento do volume de instalação de HVAC seria desejável.

[006] Uma distinção importante dos dispositivos acima em relação a trocadores de calor convencionais é que eles podem interagir com apenas um fluxo de mídia. Isto evita coletores complexos de entrada e de saída e há geralmente pouca necessidade de considerar a condutividade térmica da matriz. Os trocadores de calor de ar para ar convencionais operam em fluxo cruzado ou contrafluxo com uma transferência de calor ocorrendo entre os canais primários e canais secundários, os quais devem ser selados uns em relação aos outros, por exemplo, por paredes de condução de calor. Uma consideração de projeto importante é a maneira pela qual um coeficiente de transferência de carbono orgânico adequado é obtido para as paredes de condução. Uma outra consideração é como múltiplos canais entrelaçados se conectam aos coletores de entrada e de saída.

[007] Uma outra classe de trocadores de calor é a roda de recuperação de calor. Esses dispositivos usam meios de troca de calor sensível e latente na forma de uma matriz que provê passagens de ar através das quais uma corrente de ar pode ser dirigida usando-se um ventilador ou soprador. As matrizes suportam um material dessecante que pode absorver umidade e pode assumir uma variedade de formas,

tal como uma malha de fibra ou em favo de mel. Um tipo de matriz em favo de mel é formado por uma pluralidade de camadas espaçadas substancialmente paralelas de um material de folha, particularmente camadas alternativas de um material de folha corrugado e um material de folha liso. No último caso, as corrugações são geralmente paralelas e proveem uma pluralidade de passagens se estendendo axialmente ao longo da profundidade da roda. Esses dispositivos são expostos na US 4769053 e na US 5542968. Materiais diferentes podem ser propostos para a construção de matriz incluindo alumínio e materiais fibrosos. Uma atenção considerável foi dada para o uso otimizado dos revestimentos de dessecante. Não obstante, uma desvantagem em particular dessas rodas é seu volume geral. Isto geralmente está relacionado ao volume de material requerido para uma troca efetiva de calor e à necessidade de um fluxo efetivo através de uma área que não leve a uma queda de pressão significativa e a um consumo de potência alto associado pelo ventilador.

[008] Muitas outras formas de construção de troca de calor foram propostas no passado para várias finalidades diferentes. A US 4147210 expõe um trocador de calor de tela compreendendo telas e espaçadores alternados. As telas são feitas de um material condutivo, tal como cobre ou alumínio na forma de uma malha.

[009] Portanto, seria desejável melhorar os projetos existentes, pelo menos em termos de volume de matriz para uma dada performance, mas também em termos da eficiência de energia de fluxo através do dispositivo.

## BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0010] De acordo com a invenção, é provida uma matriz de troca de calor que define um canal de fluxo e que compreende uma pluralidade de folhas geralmente planas compreendendo um material de retenção de água, dispostas em uma relação espaçada substancialmen-

te paralela, cada folha definindo um plano principal, que tem uma direção de fluxo e uma direção transversal, em que as folhas compreendem tiras que se estendem por um comprimento de tira na direção transversal e são separadas de cada tira vizinha na direção de fluxo, e cada tira é deslocada do plano principal por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha. Acredita-se que a matriz resultante obtenha uma capacidade de troca de calor consideravelmente mais alta por volume unitário e, mais ainda, acredita-se que tenha uma eficiência maior em termos de resistência a fluxo às velocidades de ar geralmente encontradas em aplicações de HVAC. No presente contexto, uma relação espaçada é entendida meramente como os planos principais de cada folha são espaçados uns dos outros. As tiras de folhas adjacentes assim podem entrar em contato umas com as outras e assim podem ajudar na obtenção da função de espaçamento. Mais ainda, embora uma referência seja dada a folhas planas, isto pode ser entendido para referência a sua disposição local e não é pretendida para ser limitante para o formato geral da matriz, o que pode ser adaptado ao uso para qualquer formato apropriado. Em geral, contudo, as folhas serão planas pelo menos na direção de fluxo e planas ou curvas na direção transversal, conforme será descrito abaixo.

[0011] Embora várias configurações e orientações das tiras possam ser consideradas, não obstante, em geral, as tiras ficam geralmente paralelas à direção de fluxo. Sem desejar ser limitado pela teoria, acredita-se que uma disposição de todas ou de maioria das tiras para ficar na direção do fluxo seja vantajosa na redução da queda de pressão através do trocador de calor.

[0012] De acordo com a presente invenção, a matriz de troca de calor pode formar um canal de fluxo único. Isto é entendido como significando que, embora espaçadores possam estar presentes, eles não dividem o fluxo em correntes hermeticamente isoladas. Mais ainda, o

canal de fluxo definido pela matriz tem uma largura de fluxo na direção transversal de pelo menos uma pluralidade de comprimentos de tira.

[0013] Embora se acredite que o princípio seja aplicável a folhas tendo tiras deslocadas para duas posições diferentes, acredita-se que o dispositivo ofereça uma performance melhorada, quando as tiras são deslocadas a partir do plano principal para pelo menos quatro posições diferentes. Para se evitar dúvida, no presente contexto, a posição de deslocamento zero também é considerada uma posição representando uma tira que fica no plano principal da folha. Acredita-se que a provisão de tiras deslocadas para uma pluralidade de posições seja particularmente vantajosa no caso de resfriamento evaporativo. Conforme será discutido em maiores detalhes abaixo, acredita-se que a provisão de tiras em uma pluralidade de posições deslocadas reduza o acúmulo de uma camada limite laminar em uma corrente de ar fluindo diante das tiras. Pela redução dessa camada, uma melhor admissão de água a partir das superfícies das tiras é obtida, e isto, por sua vez, leva a um resfriamento evaporativo mais eficiente.

[0014] Preferencialmente, as tiras são deslocadas para posições acima e abaixo do plano principal permitindo uma distribuição equilibrada de material. Isto pode ser de importância em um procedimento de fabricação na redução de distorção. Neste contexto, também, foi descoberto ser conveniente que as tiras possam ser parcialmente deslocadas para uma primeira posição e parcialmente deslocadas para uma segunda posição. Desta maneira, os comprimentos das tiras em uma dada fileira de tiras podem ser talhados para todos serem os mesmos que os outros. Neste contexto, uma distinção pode ser feita entre o comprimento e o comprimento absoluto de uma tira. O comprimento absoluto de uma tira é medido como a distância ao longo do contorno da tira entre os pontos nos quais a tira é conectada à folha. O comprimento pode ser a distância direta entre estes dois pontos. Em

uma modalidade preferida, o comprimento de cada tira tem em torno de 10 mm, enquanto o comprimento absoluto pode ser de em torno de 12 mm. Pela formação de cada uma das aletas com o mesmo comprimento absoluto, as distorções na placa devido à formação das aletas na placa podem ser pelo menos parcialmente evitadas.

[0015] De modo a otimizar as características de fluxo, cada tira preferencialmente é espaçada na direção de fluxo em relação a uma tira subsequente tendo o mesmo desvio por pelo menos três vezes a largura de tira, mais preferencialmente, pelo menos cinco vezes esta largura. Embora não desejando ser limitado pela teoria, acredita-se que o fluxo seja repetidamente interrompido por meio de cada tira e que o comprimento limitado da tira na direção de fluxo limite a construção da camada limite. Alinhado com esta teoria, as tiras são dispostas na matriz, com cada tira tendo uma posição escolhida cuidadosamente com respeito a seus vizinhos. A posição de cada tira na matriz é escolhida levando-se em conta as considerações a seguir.

[0016] Acredita-se que, conforme um fluxo de meio, por exemplo, gás, passa por uma tira, uma camada limite seja gradualmente criada no fluxo na superfície da tira, isto crie o que é conhecido como um fluxo laminar. Uma vez que a velocidade nesta camada limite é menor do que fora, atua como uma camada de isolamento reduzindo a transferência térmica entre o corpo principal do meio e a tira. O resultado é uma redução na transferência térmica, conforme o meio fluir ao longo do comprimento da tira. No caso de um resfriador evaporativo, acredita-se que esta camada limite produza uma camada de ar de alto grau de umidade pela superfície de tira. Esta camada tem uma capacidade reduzida para a admissão de água, por causa de seu alto grau de umidade. Também se evita que o ar menos úmido do corpo principal da corrente de ar atinja a superfície de tira para admissão de água adicional. O mesmo pode ser o caso inverso para rodas de recupera-

ção de calor e dispositivos similares. Nesse caso, a camada limite pode evitar que a umidade no fluxo de ar entre em bom contato com o material de matriz e seu revestimento dessecante. A presença de uma camada limite como essa, portanto, é desvantajosa, porque reduz a admissão de água nos resfriadores evaporativos e evita uma adsorção de umidade nos dispositivos dessecantes.

[0017] Para redução do acúmulo de fluxo laminar no trocador de calor devido à criação de uma camada limite nas superfícies de tira, as tiras são limitadas no comprimento na direção de fluxo. Em teoria, a tira não deve ser mais longa do que o comprimento requerido para uma camada limite crescer até sua espessura plena na superfície de tira. Uma vez que o ar ou o fluxo de meio esteja além da tira, o fluxo laminar gradualmente reverte para um fluxo turbulento. Levando isto em consideração, as tiras as quais estão em linha na direção de fluxo são adequadamente espaçadas, de modo que, no momento em que o meio atinge a borda de ataque de uma tira a jusante, o fluxo laminar criado por uma tira a jusante tenha revertido suficientemente para o fluxo turbulento, de modo que uma boa transferência térmica possa ocorrer de novo. Da mesma forma, esta tira a jusante é limitada no comprimento na direção de fluxo e é suficientemente espaçada de uma outra tira a jusante, de modo que um fluxo turbulento seja reestabelecido antes de o meio atingir a próxima tira a jusante. Desta maneira, um fluxo isolante laminar é suficientemente evitado e uma boa transferência térmica entre o meio e as tiras é obtida e/ou uma boa admissão de água a partir da superfície de tira é alcançada. De acordo com uma forma preferida da invenção, as tiras têm uma largura de entre 1 mm e 5 mm, preferencialmente entre 1,5 mm e 3,0 mm. Em uma modalidade de trabalho, as tiras têm uma largura de em torno de 2,0 mm. Em geral, todas as tiras serão da mesma largura, embora este não precise ser o caso e as tiras de larguras variáveis possam ser

usadas, por exemplo, em zonas diferentes da matriz.

[0018] De acordo com uma outra modalidade preferida, o passo, isto é, a distância entre a borda dianteira de uma tira e a borda dianteira de uma tira imediatamente seguinte na direção de fluxo, é de pelo menos três vezes a largura de tira. Mais preferencialmente, pode ser de pelo menos cinco larguras de tira.

[0019] Além da consideração acima, as tiras mais próximas em uma folha adjacente devem ser suficientemente espaçadas para se evitar uma interferência excessiva entre as camadas limites destas tiras mais próximas. Usando-se estas considerações, uma matriz de folhas com tiras pode ser empilhada em conjunto, por meio do que as fileiras são suficientemente espaçadas na direção de fluxo para se evitar um fluxo laminar e que tiras mais próximas em camadas adjacentes sejam suficientemente espaçadas na direção perpendicular à direção de fluxo para se evitar uma interferência excessiva de camada limite.

[0020] Em uma modalidade da matriz, uma pluralidade de espaçadores pode estar localizada entre folhas adjacentes para se manter sua relação espaçada. Os espaçadores também podem prover uma funcionalidade adicional, tais como rigidez, afixação mútua das camadas, separação em canais de fluxo ou regiões e suprimento de líquido. Não obstante, de acordo com um aspecto importante da invenção, as folhas podem ser empilhadas ou enroladas em conjunto sem o uso de espaçadores. Neste caso, o deslocamento das tiras individuais pode ser suficiente para manter as folhas separadas.

[0021] Em uma modalidade adicional da invenção, as tiras são dispostas em uma pluralidade de fileiras se estendendo na direção de fluxo, cada fileira sendo separada de uma fileira adjacente por uma zona sem tira. A zona sem tira pode garantir um grau de estabilidade da folha até a extensão em que define uma peça contínua de folha que não é cortada nem deformada de outra forma. A zona sem tira também

pode servir como uma localização para os espaçadores.

[0022] De acordo com um aspecto importante da invenção, as tiras são providas com uma superfície de retenção de água, preferencialmente em ambas as superfícies das mesmas. Os elementos de retenção de água como parte da superfície de tira, tal como uma superfície rugosa, podem ser obtidos por ataque químico ou um tratamento de superfície similar das tiras para se torná-las de natureza mais hidrofílica.

[0023] A superfície de retenção de água alternativamente pode ser uma camada separada, a qual, por exemplo, é revestida ou aderida nas tiras. Neste aspecto, as tiras para uso para umidificação ou resfriamento adiabático podem ser distinguidas daquelas usadas em um resfriamento evaporativo indireto. No último caso, geralmente se acreditava ser necessário ter certas áreas da superfície de troca de calor livres de qualquer cobertura, de modo a se facilitar uma transferência de calor direta. No primeiro caso, uma cobertura completa das tiras pode ser referida. Um material cimentício, tal como cimento Portland, no passado mostrou ser altamente desejável para uso como camadas de retenção de água. Alternativamente, materiais de fibra podem ser usados.

[0024] Em uma modalidade preferida, uma superfície de retenção de água flexível é provida na folha na forma de um laminado. Pela provisão de uma superfície de retenção de água flexível, propriedades desejadas, tal como a distribuição espacial da superfície de retenção de líquido, podem ser impressas à folha, antes da formação. As tiras então podem ser convenientemente formadas no formato desejado. Em uma modalidade desejável, a camada de retenção de água tem uma estrutura aberta, de modo que, em uso, um meio de troca de calor possa contatar diretamente a superfície de tira através da estrutura aberta da camada de retenção de água. Por meio disto, a capacidade

do trocador de calor de transferir o calor térmico e o calor latente para um meio fluido fluindo sobre ele é melhorada. A estrutura aberta pode compreender espaços entre as fibras de um material fibroso formando a camada de retenção de água. Um material fibroso como esse pode ser uma camada tecida ou não tecida tendo uma estrutura aberta.

[0025] O material fibroso pode ser afixado à folha ou às tiras por adesivos ou outros métodos similares. Preferencialmente, o adesivo e o material fibroso devem ser tais que uma deslaminação não ocorra na formação da folha em um formato desejado. Quando um adesivo é usado, o adesivo pode ser escolhido para melhoria das propriedades da tira ou da camada de retenção de água. Assim, o adesivo pode ser escolhido para ter propriedades de retenção de água ou propriedades de condução de calor, ou ambas e assim podem ser considerados para a formação de uma parte de qualquer uma destas camadas.

[0026] Uma modalidade preferida da invenção tem uma superfície de retenção de água compreendendo um material o qual foi impresso, aspergido ou transferido para as tiras. Este material impresso pode ser hidrofílico, de modo a reter a água, ou pode ser provido em um padrão que atue para reter água por tensão superficial ou ação capilar. Um padrão como esse pode compreender, por exemplo, regiões isoladas de material, as regiões isoladas sendo espaçadas por uma distância que permite uma retenção de água, enquanto deixa porções da tira subjacente abertas para a corrente de ar. No lugar de ou além de regiões isoladas de material, as regiões entrelaçadas provendo a retenção de água desejada também podem ser providas. A impressão de um material nas superfícies de tira pode ocorrer por uma impressão com jato de tinta.

[0027] De acordo com uma modalidade em particular da invenção, a folha compreende uma camada de alumínio. De fato, a folha pode ser predominantemente alumínio, por exemplo, coberta com camadas

de retenção de água em ambas as suas superfícies. A folha pode ter uma espessura entre 50 e 300 mícrons, preferencialmente entre 75 e 150 mícrons. Para uma folha à base de alumínio, uma espessura de material de alumínio de em torno de 70 mícrons mostrou ser suficiente para a provisão de resistência ótima e estabilidade para as tiras. Se alumínio for usado, poderá ser desejavelmente revestido com vernizes adequados para se evitar corrosão. Será entendido que, embora o alumínio ofereça vantagens em termos de fabricação, pode não ser necessariamente requerido para fins de condução de calor. Por exemplo, outros materiais também podem ser empregados para a formação da matriz, em particular plásticos e materiais não metálicos.

[0028] Mais preferencialmente, a matriz de troca de calor de acordo com a invenção compreende uma pluralidade de folhas de dimensões similares empilhadas em conjunto para a formação de uma estrutura como um bloco. Alternativamente, pode compreender uma ou mais folhas enroladas em conjunto para a formação de uma estrutura cilíndrica ou anular. A forma exata dependerá do uso pretendido e de considerações de fabricação, não obstante tenha sido descoberto que uma dimensão na direção de fluxo de em torno de 100 mm seja suficiente para a maioria das finalidades de HVAC. Mais ainda, o peso específico das folhas pode ser regulado de modo que a área superficial total da matriz entre 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> e 800 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> seja obtida, preferencialmente de em torno de 650 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Nesta construção preferida, o espaçamento entre as folhas adjacentes é de em torno de 2,0 mm, mas pode estar geralmente entre 1 mm e 5 mm, preferencialmente entre 1,5 mm e 3,0 mm.

[0029] A invenção também se refere a uma folha de troca de calor para a formação de uma matriz como essa. A folha compreendendo tiras que se estendem, cada uma, por um comprimento de tira na direção transversal e são separadas de cada tira vizinha na direção de flu-

xo por meio do que cada tira é deslocada do plano principal por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha. Uma folha mostrou ser altamente versátil na formação de matrizes de troca de calor em várias formas e configurações.

[0030] A invenção ainda se refere a um método de fabricação de uma matriz de troca de calor como essa ou folha, compreendendo: a provisão de um suprimento de material em folha tendo primeira e segunda superfícies de retenção de água; a passagem do material de folha através de uma estação de corte para cortar a folha para a formação de uma pluralidade de tiras, cada tira tendo um comprimento de tira definindo uma direção transversal e cada tira sendo separada pelo corte de cada tira vizinha em uma direção de fluxo; e a passagem da folha cortada através de uma estação de formação para deslocamento de cada tira a partir de um plano principal da folha por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha.

[0031] O método é particularmente aplicável para uma folha de alumínio recozida macia, a qual exibe a estabilidade necessária e a resistência e pode ser facilmente cortada e formada da maneira descrita. Preferencialmente, a folha tem uma espessura de entre 50 e 300 mícrons, preferencialmente entre 75 e 150 mícrons, incluindo quaisquer revestimentos ou provisões de retenção de água.

[0032] De acordo com o método da invenção, a folha é alimentada na direção transversal através de rolos concretizando a estação de corte e a estação de formação. Após isso, a folha trabalhada pode ser formada em uma matriz pela separação de seções de folha e pelo empilhamento das estações para a formação de uma pilha tendo múltiplas camadas. Alternativamente, a folha pode ser enrolada para a formação de um rolo tendo múltiplas camadas. Os espaçadores podem ser inseridos conforme requerido entre as múltiplas camadas para a manutenção de seus respectivos espaçadores ou melhoria de outra

forma da estabilidade.

[0033] De acordo com ainda um aspecto adicional da invenção, um resfriador evaporativo, um resfriador adiabático ou uma unidade de umidificação pode compreender uma matriz de troca de calor como essa, conforme descrito acima, retida em um alojamento que tem pelo menos uma entrada de ar, uma saída de ar e um arranjo de ventilador para direcionamento de ar através da matriz na direção de fluxo. Adicionalmente, pode ser provida uma fonte de água para umedecimento da matriz. O dispositivo também pode ser usado para lavagem de ar ou remoção de outra forma de odores, poeira e outras substâncias indesejáveis de um fluxo de ar. Em uma forma preferida, concretizada como um resfriador adiabático compreendendo uma fonte de água para umedecimento da matriz, as tiras se estendem em geral verticalmente e o canal de fluxo se estende em geral horizontalmente, a fonte de água sendo disposta para suprir água para um lado superior da pluralidade de folhas, de modo que a água possa fluir para baixo ao longo das tiras. Uma configuração como essa permite uma distribuição ótima da água para baixo e através da matriz. Em particular, nesta configuração, os espaçadores providos para manutenção de uma distância entre folhas adjacentes não devem se estender na direção de fluxo, já que isto impediria o fluxo para baixo de água. Preferencialmente, um espaçamento é provido por pequenos pontos ou bolhas de adesivo ou um polímero adequado entre folhas adjacentes. Os pontos podem ter uma dimensão máxima de em torno de 1 cm.

[0034] De acordo com um aspecto alternativo, uma roda de recuperação de calor pode compreender uma matriz de troca de calor como essa na forma de uma folha enrolada, a roda tendo um eixo geométrico alinhado com a direção de fluxo e ainda compreendendo um arranjo de ventilador para a passagem de um fluxo de ar na direção axial através da matriz, por meio do que as tiras são providas em sua

superfície com um material dessecante. Neste contexto, é notado que um material dessecante é distinto de um material que é apenas de retenção de água pelo fato de poder reter água através de mecanismos adicionais higroscópicos ou químicos. Uma distinção pode ser feita, portanto, com materiais não dessecantes de retenção de água os quais retêm água meramente por fenômenos físicos ou de tensão superficial.

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

- [0035] Os recursos e as vantagens da invenção serão apreciados, mediante uma referência aos desenhos a seguir de um número de modalidades de exemplo, em que:
- [0036] a figura 1 mostra um umidificador adiabático convencional;
- [0037] a figura 2 mostra uma vista detalhada de parte do dispositivo da figura 1;
- [0038] a figura 3 mostra uma porção de uma matriz de troca de calor de acordo com a presente invenção;
- [0039] a figura 3A mostra uma vista detalhada de parte da matriz da figura 3;
- [0040] a figura 3B mostra uma vista em seção transversal tomada na posição IIIb na figura 3A;
- [0041] a figura 4 mostra uma folha de acordo com uma segunda modalidade da invenção;
- [0042] a figura 4A mostra uma vista parcial da folha da figura 4 tomada na direção da seta A;
- [0043] a figura 5 mostra uma modalidade da invenção na forma de uma roda de recuperação de calor;
- [0044] a figura 5A mostra uma vista parcial da matriz da figura 5;
- [0045] a figura 6 mostra uma modalidade da invenção como um elemento resfriador adiabático; e
- [0046] a figura 6A mostra uma vista parcial da matriz da figura 6.

## DESCRIÇÃO DE MODALIDADES ILUSTRATIVAS

[0047] A figura 1 mostra um arranjo de um umidificador adiabático convencional 1 disposto para a introdução de umidade em uma corrente de ar S. O umidificador compreende uma matriz de troca de calor 2 suportada por um alojamento 4 que forma uma entrada 6 e uma saída 8 para a corrente de ar S. Mais ainda, é provido um controlador 10, um suprimento de água 12 e um ventilador 14.

[0048] A figura 2 mostra um detalhe de uma seção da matriz de troca de calor 2. Ela compreende uma pluralidade de camadas 20 de material corrugado compreendendo fibras de celulose impregnadas com resina. As camadas 20 são empilhadas em conjunto, por meio do que as corrugações 22 em camadas adjacentes cruzam com cada outra em um ângulo formando passagens de fluxo 24. O passo das corrugações é de em torno de 25 mm.

[0049] Um umidificador 1 conforme mostrado na figura 1 e na figura 2 pode ser usado para resfriamento de ar morno relativamente seco para perto de sua temperatura de bulbo úmido. Em uso, a corrente de ar S a ser resfriada é suprida para a entrada 6. Neste estágio, o ar pode ter a temperatura T1 e tem baixo grau de umidade relativa RH1. A água é suprida para a matriz 2 pelo suprimento de água 12 fazendo com que o material de fibra das camadas 20 absorvam a umidade. Conforme a corrente de ar S passa através das passagens de fluxo 24, ela entra na umidade das superfícies das camadas 20, a qual se evapora na corrente de ar S. Ao fazê-lo, a temperatura do ar é reduzida e seu grau de umidade relativa aumenta de modo conforme. A corrente de ar sai da matriz 2 com uma temperatura T2 e um grau de umidade relativa RH2. Se vapor de água suficiente for evaporado, o ar chegará a sua temperatura de bulbo úmido e estará plenamente saturado com um grau de umidade relativa de 100%. Embora não mostrado, um eliminador de gotícula pode estar localizado a jusante da matriz

2, de modo a se removerem gotículas de água finas que de outra forma podem estar entranhadas na corrente de ar S.

[0050] Os umidificadores convencionais, conforme descrito acima, são relativamente volumosos. De modo a se obter uma umidificação máxima, o comprimento na direção de fluxo geralmente está entre 200 mm e 300 mm, dependendo das condições típicas de grau de umidade de ar de entrada. A área frontal requerida é dependente da capacidade desejada, requerendo em torno de 0,14 m<sup>2</sup> para cada 1000 m<sup>3</sup>/h.

[0051] A figura 3 mostra uma porção de uma matriz de troca de calor 30 de acordo com a presente invenção. A matriz compreende uma primeira folha 32 e uma segunda folha 34. As folhas 32, 34, cada uma, definem um plano principal P tendo uma direção de fluxo F e uma direção transversal T. Em nome da descrição a seguir, uma região de borda não deformada das folhas será tomada como um nível de datum para o plano principal P. Cada folha é dividida em tiras 36, as quais são parcialmente separadas das folhas 32, 34 por cortes 38 e as quais são deslocadas do plano principal por uma distância de deslocamento d.

[0052] Na modalidade da figura 3, as tiras 36 estão localizadas em uma pluralidade de fileiras 40 alinhadas na direção de fluxo F. As tiras consecutivas em uma fileira 40 são projetadas como 36a, 36b e 36c. A figura 3A mostra uma vista da matriz 30 da figura 3 tomada na direção A. Conforme pode ser visto, as tiras 36a são deslocadas para três posições diferentes, especificamente, a posição zero (que fica no plano P) e para uma distância d1 acima do plano e uma distância d2 abaixo do plano. Cada tira 36 assim é separada de uma tira vizinha na direção de fluxo F e deslocada do plano principal P por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha.

[0053] Entre cada fileira 40 está localizada uma zona sem tira 42 a qual também está no nível do plano principal P. Os espaçadores 44

estão localizados nas zonas sem tira 42, neste caso no centro e nas bordas da matriz. Os espaçadores 44 servem para se manterem as folhas 32 e 34 a uma distância uma da outra. Na presente modalidade, a distância d1 é de 2,0 mm, como o é a distância d2. A separação das folhas 32, 34 é de 6,0 mm. Mais ainda, a largura w de cada tira 36 medida na direção de fluxo F é de 2,0 mm e o comprimento l das tiras 36 é de 10 mm.

[0054] A figura 3B mostra uma vista em seção transversal do material da folha 32 tomada na posição B na figura 3. Embora a folha 32 seja descrita, será entendido que a folha 34 é substancialmente idêntica. A folha 32 compreende uma camada primária 46 de alumínio recoberto macio tendo uma espessura de 70 micrônios. Em cada superfície, a camada primária 48 é revestida com uma camada de proteção 50 de primer de PVC ou similar. A camada de proteção 50 também é um isolante de calor e pode ser usada para a junção de porções de folha em conjunto ou para outros elementos durante uma construção, se assim requerido. A camada mais externa em ambas as superfícies da folha 32 é uma camada de retenção de água 52. É notado que a espessura destas camadas é mostrada esquematicamente e elas podem variar em um fato real consideravelmente umas em relação às outras.

[0055] Um fator importante para a operação eficiente de um resfríador evaporativo é a natureza da camada de retenção de água 52. Embora uma referência seja feita a uma camada de retenção de água, é claramente entendido que a camada é de fato uma camada de retenção e liberação de água, sem a ligação dela quimicamente. Uma exigência de uma camada como essa é que ela facilmente proporcione sua água, de modo que uma resistência mínima à evaporação seja encontrada. Também é importante que ela distribua água de forma rápida e efetiva para todas as superfícies relevantes. Assim, deve ser hidrofílica sem ser higroscópica, preferencialmente retendo água pri-

mariamente por efeitos de tensão superficial.

[0056] Na presente modalidade, a camada de retenção de água 52 é formada a partir de um material fibroso. Um material de exemplo para a formação da camada de retenção de água 30 é uma mescla a 50/50 de poliéster / viscose de 20 g/m<sup>2</sup>, disponível a partir de Lantor B.V. na Holanda. Um outro material de exemplo é uma fibra de poliéster revestida de poliamida de 30 g/m<sup>2</sup> disponível segundo o nome Colback™ a partir da Colbond N.V. na Holanda. Outros materiais tendo propriedades similares incluindo fibras sintéticas e naturais, tal como lã, também podem ser usados. Quando necessário, a camada de retenção de água 52 pode ser revestida ou de outra forma tratada para a provisão de propriedades antibacterianas ou outras anti-incrustação.

[0057] A camada de retenção de água 52 é afixada de forma adesiva à camada de proteção 50 usando-se uma camada de 2 microns de adesivo de poliuretana de dois componentes. O laminado resultante mostrou ser ideal para as finalidades de fabricação, uma vez que pode ser formado e cortado no formato desejado em um processo contínuo, sem deslaminação substancial. Outras camadas de retenção de água, tal com de cimento Portland, também podem ser usadas e, de fato, mostraram prover propriedades superiores, embora, ainda, sua produção seja mais complexa, uma vez que há uma tendência à fissuração ou à formação de flocos, se aplicadas antes da formação da matriz. Não obstante, acredita-se que outros acabamentos e tratamentos de superfície, tal como óxido de alumínio, possam em si ser adequadas para a provisão da retenção de água e de formação de mecha requeridas.

[0058] Em uso, a matriz 30 pode ser provida em um bloco compreendendo múltiplas camadas e pode estar localizada em um alojamento 4, conforme descrito em relação à figura 1, tomando o lugar da matriz convencional 2. De acordo com a invenção, o tamanho geral do

alojamento para dados resfriamento e fluxo de ar pode ser reduzido ou, alternativamente, para um alojamento do mesmo tamanho, um fluxo de ar consideravelmente maior pode ser provido.

[0059] A figura 4 mostra uma segunda modalidade da invenção na qual números iguais precedidos com 100 são usados para a designação de elementos similares para aqueles da primeira modalidade. A folha 132 define um plano principal P tendo uma direção de fluxo F e uma direção transversal T. Nesta modalidade, a folha 132 é dividida em tiras 136A-J separadas de cada outra na direção de fluxo F por cortes 138 e a partir de tiras adjacentes 136 na direção transversal T por zonas sem tira 142. Cada tira 136 tem um contorno corrugado que compreende uma primeira porção 135A-J deslocada para um lado do plano P e uma segunda porção 137A-J sendo deslocada para o lado oposto do plano ou estando no plano em si (deslocamento zero). De todo, as porções de tira 135, 137 são deslocadas para 9 posições diferentes com respeito ao plano principal P. Cada porção de tira 135, 137 é deslocada para uma posição diferente em relação a uma porção de tira vizinha 135, 137 na direção de fluxo F. O material de tira é o mesmo que aquele descrito em relação à figura 3.

[0060] A figura 4A mostra uma vista parcial de uma porção da folha 132 da figura 4 tomada na direção de seta A, em que as porções de tira diferentes 135 A-J, 137 A-J podem ser claramente vistas. Como resultado das porções de tira 135, 137 serem deslocadas para posições diferentes, pode ser obtido que cada uma das tiras 136 tenha o mesmo comprimento absoluto L que o medido ao longo de seu contorno. Isto tem a vantagem de que, quando as tiras 136 são cortadas a partir de uma folha contínua, haverá relativamente pouca deformação geral da folha e as zonas sem tira 142 ficarão em uma linha reta.

[0061] A figura 5 expõe uma modalidade da invenção em que a folha 132 é proporcionada na forma de uma roda de recuperação de

calor 60. A folha 132 é enrolada de uma forma contínua para a formação de uma matriz 130 no formato de um rolo. A matriz 130 é suportada em um alojamento 104 para rotação por um motor 107. Um fluxo ocorre através da roda em ambas as direções para frente  $F_F$  e reversa  $F_R$ .

[0062] A figura 5A mostra uma vista parcial da matriz 130 da figura 5. Nesta modalidade, as camadas consecutivas da folha 132 ficam no topo de cada outra, sem espaçadores entre elas. Devido aos numerosos deslocamentos diferentes das porções de tira 135, 137, as folhas 132 são efetivamente espaçadas de cada outra pela interação de porções de tira das camadas vizinhas. Pode ser notado, também, que as zonas sem tira 142 não ficam acima de cada outra, por meio do que a zona sem tira em cada camada adjacente forma um canal parcial para o fluxo de ar.

[0063] Mais ainda, na modalidade da figura 5A, a camada de retenção de água (não mostrada) é um revestimento dessecante do tipo geralmente usado para rodas dessecantes. Esta camada pode ser, por exemplo, uma zeólita de tipo X ou de tipo Y, sílica, alumina ou mesclas das mesmas tendo um comportamento isotérmico modificado ou qualquer outro material adequado, conforme descrito para esta finalidade na US 5860284, cujo conteúdo é incorporado aqui como referência em sua totalidade. Em uso, a roda 160 da figura 5 pode operar da mesma maneira que uma roda dessecante convencional com a vantagem de uma queda de pressão relativamente mais baixa para um dado tamanho de roda 160 e vazão.

[0064] A figura 6 mostra uma modalidade da invenção como um elemento resfriador adiabático 201 compreendendo uma matriz 230, conforme descrito acima, retida por um alojamento 204. Um canal de distribuição de água 212 ao longo do lado de topo do elemento 201 supre água através de furos 213, a qual flui para baixo ao longo das

tiras 236. A água pode ser suprida para o canal 212 por uma ou por outro sistema adequado. O fluxo de ar na direção de fluxo F ajuda no transporte da água através da matriz 230. Adicionalmente, a presença da camada de retenção de água cobrindo as folhas 232 encoraja a formação de mecha da água para todas as regiões da matriz 230. As folhas 232 são espaçadas de cada outra por pontos de material de espaçamento 244 compreendendo uma espuma adesiva de PU.

### EXEMPLO

[0065] Uma matriz, conforme descrito acima de acordo com a figura 4, foi construída e testada. Testes similares foram realizados em um material de matriz convencional CELDEK™ 5090-15 disponível a partir de Munters AB. É notado que a área superficial do material por volume unitário é comparável ao material. Os testes foram realizados de acordo com a Norma Australiana (AS 2913-2000), por meio do que o ar de suprimento tem uma temperatura de bulbo seco de 38 °C e uma temperatura de bulbo úmido de 21 °C (21% de grau de umidade relativa). A eficiência de saturação é a redução de t real do ar de suprimento ( $T_{in} - T_{out}$ ) com respeito à queda de temperatura que seria requerida para se atingir a temperatura de bulbo úmido ( $T_{wb\ in}$ ).

[0066] Eficiência de Saturação =  $(T_{in} - T_{out}) / (T_{in} - T_{wb\ in})$ .

[0067] Os resultados dados na Tabela 1 abaixo mostram:

[0068] Para a mesma vazão e o mesmo volume que o exemplo, o material comparativo tem uma eficiência de bulbo úmido 9% mais baixa e uma queda de pressão 89% mais alta;

[0069] Se o comprimento do material comparativo for aumentado, de modo a se obter a mesma eficiência à mesma vazão como o exemplo, 44% a mais de material são requeridos e a queda de pressão será 164% mais alta;

[0070] Com o mesmo comprimento como o exemplo, a vazão para o material comparativo deve ser reduzida para em torno de 1,8 m/s, de

modo a se obter a mesma queda de pressão. Para isto, 39% a mais de volume de material são requeridos e a eficiência de bulbo úmido é 6% mais baixa;

[0071] Se o comprimento do material comparativo for aumentado e a vazão ajustada de modo que a queda de pressão e a eficiência de bulbo úmido sejam comparáveis com aquelas do exemplo, 122% a mais de volume de material serão requeridos.

Tabela 1

	Comprimento mm	Vazão m/s	Volume Relativo %	Eficiência de Bulbo Úmido %	Queda de Pressão Pa	Área su- perficial/ vol m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Exemplo	90	2,5	100	90	53	652
Material comparativo – mesmos comprimen- to e vazão	90	2,5	100	81	100	588
Material comparativo – mesmas eficiência e vazão	130	2,5	144	90	140	588
Material comparativo – mesmos comprimen- to e queda de P	90	1,8	139	84	53	588
Material comparativo – mesmas eficiência e queda de P	120	1,5	222	90	53	588

[0072] Assim, a invenção foi descrita com referência a certas modalidades, conforme discutido acima. Será reconhecido que estas modalidades são suscetíveis a várias modificações e formas alternativas bem conhecidas para aqueles de conhecimento na técnica.

[0073] Muitas modificações, além daquelas descritas acima podem ser feitas nas estruturas e nas técnicas descritas aqui, sem que se desvie do espírito e do escopo da invenção. Assim sendo, embora modalidades específicas tenham sido descritas, estas são exemplos apenas e não são limitantes para o escopo da invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1. Resfriador evaporativo, resfriador adiabático ou unidade de umidificação, que compreende:

uma matriz de troca de calor (30) que define um canal de fluxo único e que compreende uma pluralidade de folhas geralmente planas (32, 34) compreendendo um material de retenção de água, dispostas em uma relação espaçada substancialmente paralela e uma pluralidade de espaçadores (44) localizados entre folhas adjacentes, para manutenção de sua relação espaçada, cada folha definindo um plano principal, que tem uma direção de fluxo e uma direção transversal,

um alojamento (4) que tem pelo menos uma entrada de ar (6), uma saída de ar (8), a matriz estando localizada no alojamento;

um arranjo de ventilador (14) para direcionamento do ar através da matriz na direção de fluxo; e

uma fonte de água (12) para umedecimento da matriz,

caracterizado pelo fato de que as folhas compreendem tiras (36) que se estendem por um comprimento de tira na direção transversal e são separadas de cada tira vizinha na direção de fluxo, e cada tira é deslocada do plano principal por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha.

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de as tiras serem deslocadas para posições acima e abaixo do plano principal, preferencialmente para pelo menos quatro posições diferentes.

3. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1 ou com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de tiras serem geralmente paralelas ao plano principal.

4. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de cada tira ser parcialmente deslo-

cada para uma primeira posição e parcialmente deslocada para uma segunda posição.

5. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de cada tira ter uma largura na direção de fluxo e uma primeira tira ser espaçada na direção de fluxo a partir de uma tira subsequente tendo o mesmo deslocamento por pelo menos três vezes a largura, mais preferencialmente, pelo menos cinco vezes a largura.

6. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de as tiras serem dispostas em uma pluralidade de fileiras se estendendo na direção de fluxo, cada fileira sendo separada de uma fileira adjacente por uma zona sem tiras.

7. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de os espaçadores se estenderem ao longo das zonas sem tiras.

8. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de o material de retenção de água compreender uma camada de retenção de água aplicada às tiras, preferencialmente em ambas as superfícies do mesmo.

9. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de as tiras terem uma largura entre 1 mm e 5 mm, preferencialmente entre 1,5 mm e 3,0 mm.

10. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de a folha ter uma espessura entre 50 e 300 mícrons, preferencialmente entre 75 e 150 mícrons.

11. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de a folha compreender uma camada de alumínio.

12. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação pre-

cedente, caracterizado pelo fato de a matriz de troca de calor compreender uma pluralidade de folhas de dimensões similares empilhadas em conjunto para a formação de uma estrutura tipo de bloco.

13. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de a matriz de troca de calor compreender uma ou mais folhas enroladas em conjunto para a formação de uma estrutura cilíndrica ou anular.

14. Dispositivo, de acordo com qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de um espaçamento entre folhas adjacentes ter entre 1 mm e 5 mm, preferencialmente entre 1,5 mm e 3,0 mm.

15. Método de fabricação de um dispositivo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de compreender:

a provisão de um suprimento de material em folha tendo água retendo as primeira e segunda superfícies;

a passagem do material de folha através de uma estação de corte para corte da folha para a formação de uma pluralidade de tiras, cada tira tendo um comprimento de tira definindo uma direção transversal e cada tira sendo separada pelo corte a partir de cada tira vizinha em uma direção de fluxo;

a passagem da folha cortada através de uma estação de formação para deslocamento de cada tira a partir de um plano principal da folha por uma distância que é diferente daquela de sua vizinha;

a separação de seções de folha e o empilhamento das seções para a formação de uma pilha tendo múltiplas camadas ou o enrolamento da folha para a formação de um rolo tendo múltiplas camadas; e

a inserção de espaçadores entre as múltiplas camadas para manutenção de seus respectivos espaçamentos enquanto se man-

tém um canal único.

16. Método, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de a folha compreender alumínio.

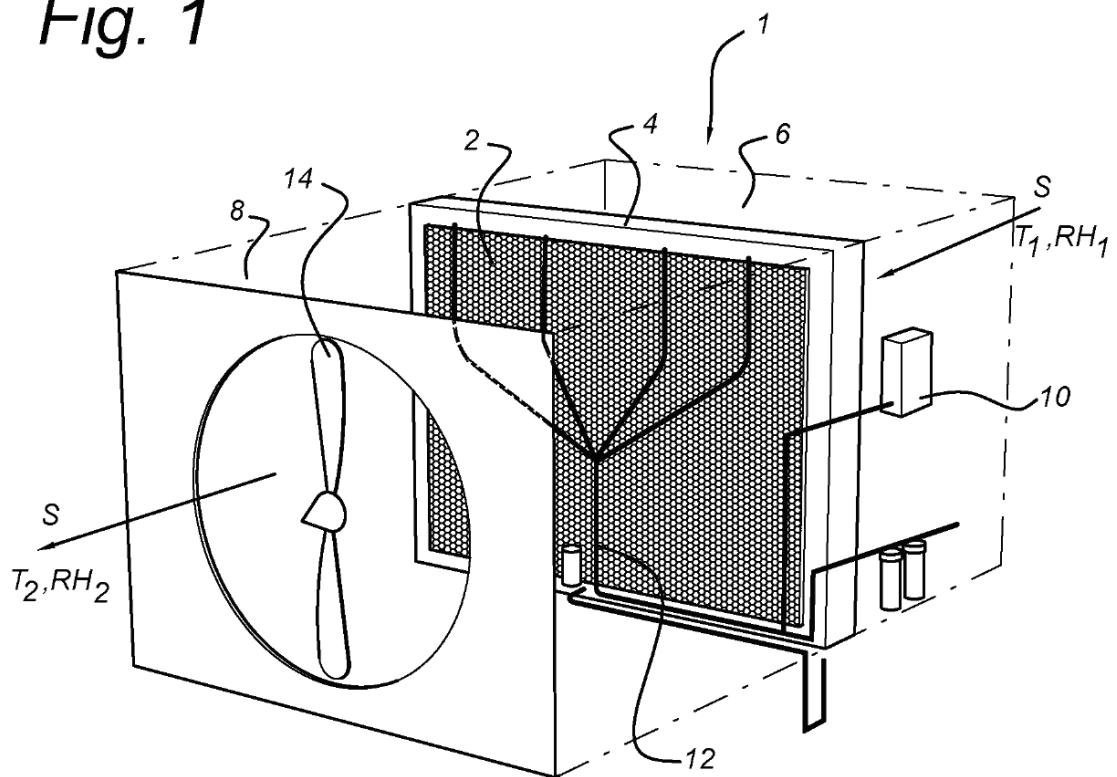
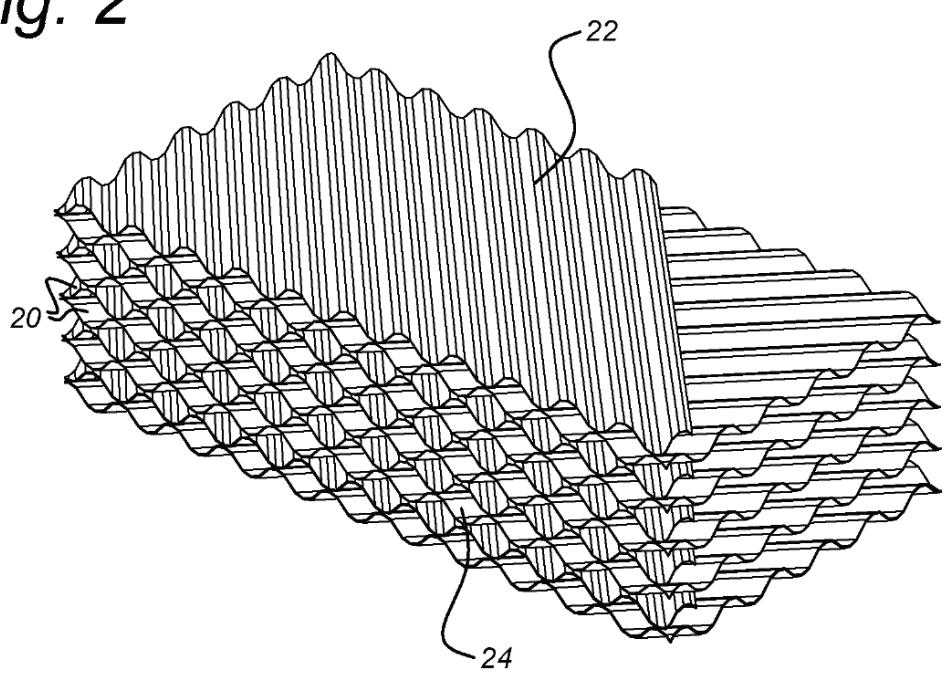
17. Método, de acordo com a reivindicação 15 ou com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de a folha ter uma espessura entre 50 e 300 mícrons, preferencialmente entre 75 e 150 mícrons.

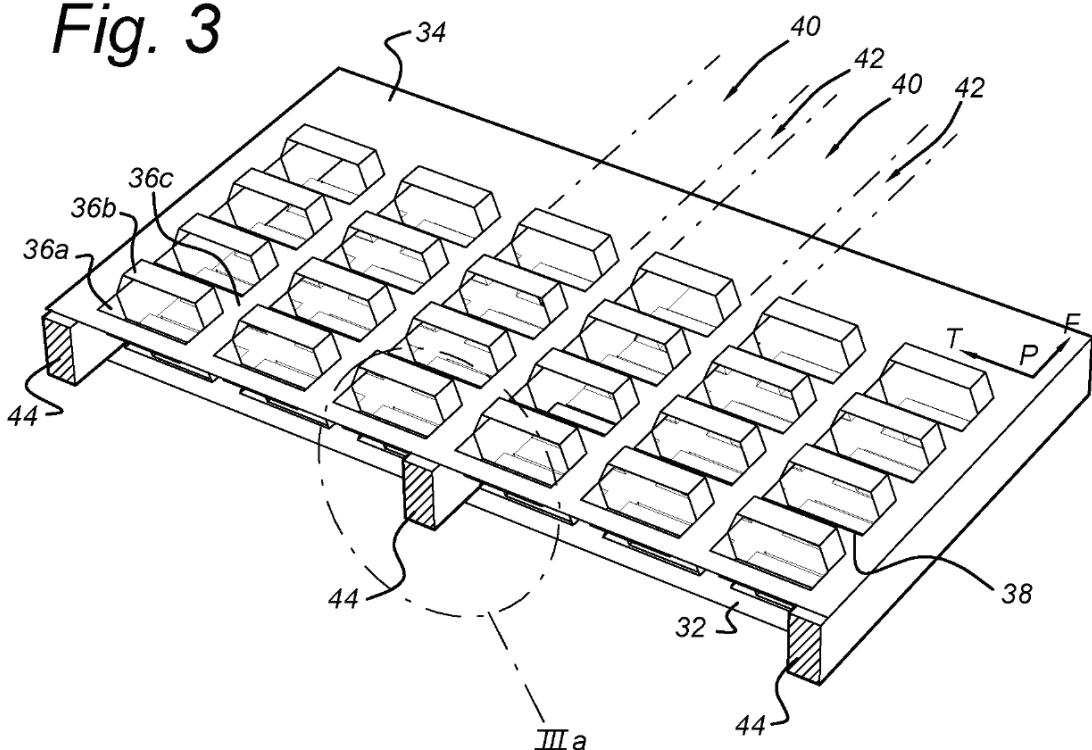
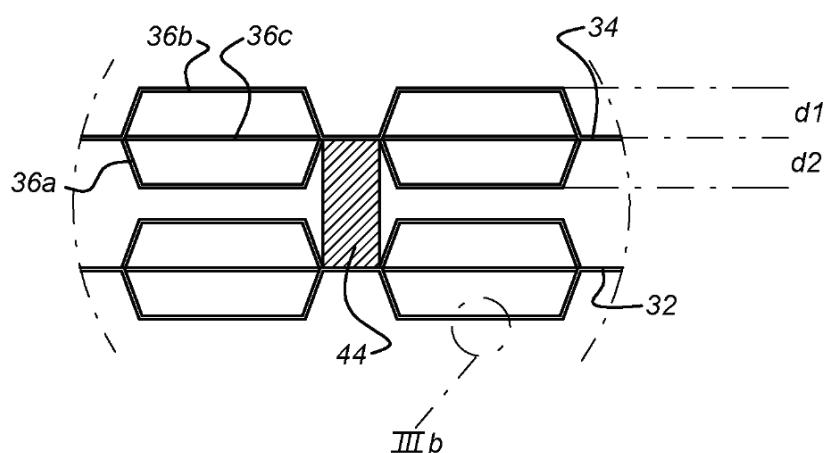
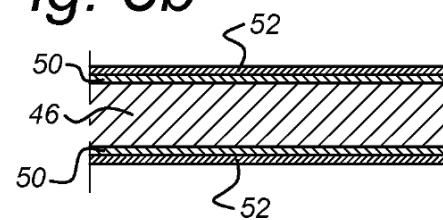
18. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 17, caracterizado pelo fato de a folha ser alimentada na direção transversal através de rolos concretizando a estação de corte e a estação de formação.

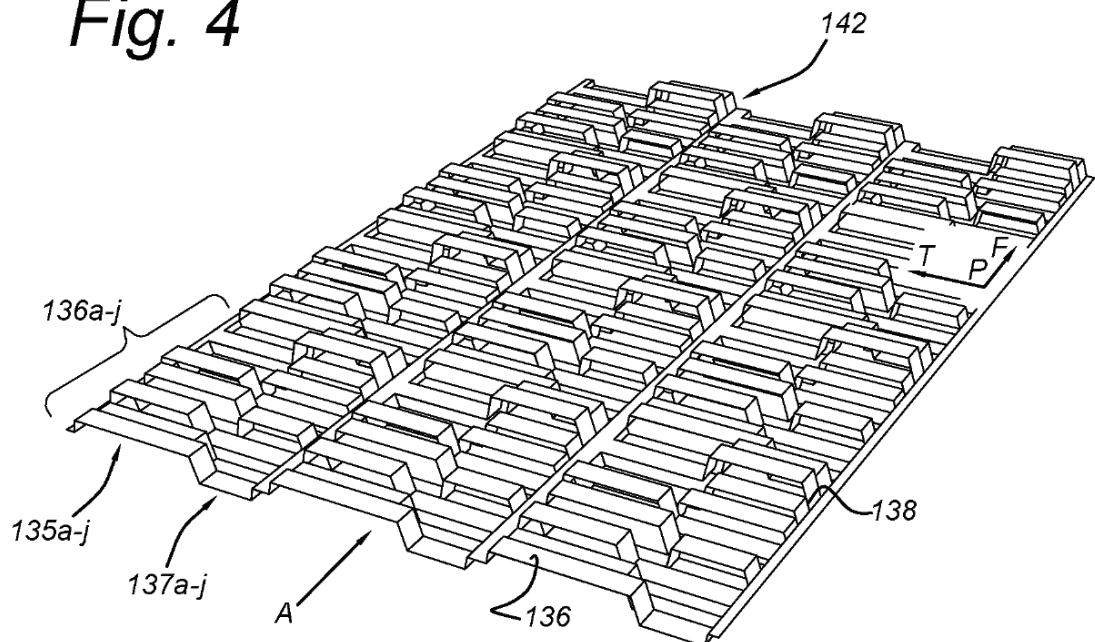
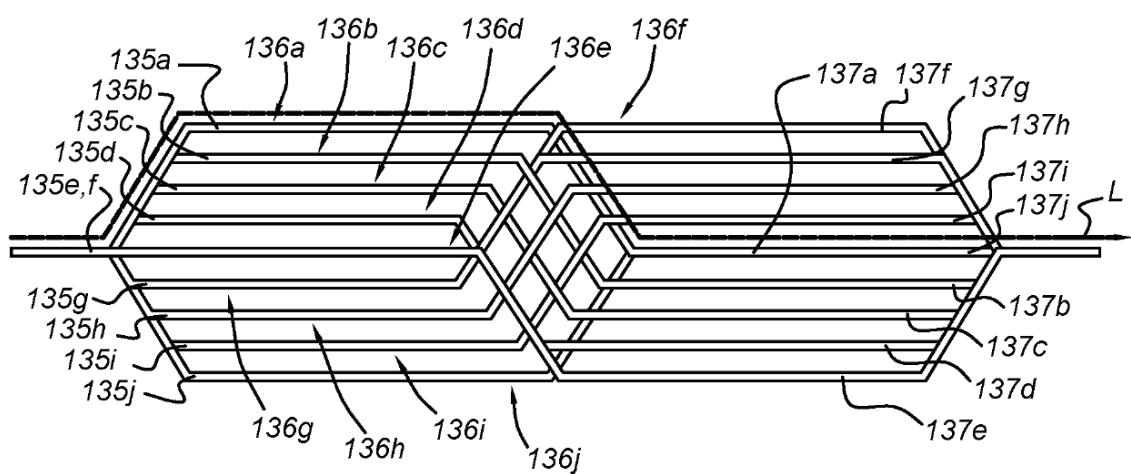
19. Resfriador adiabático, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de as tiras se estenderem em geral verticalmente e o canal de fluxo se estender em geral horizontalmente, a fonte de água sendo disposta para suprir água para um lado superior da pluralidade de folhas, de modo que a água possa fluir para baixo ao longo das tiras.

20. Resfriador adiabático, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de as folhas serem espaçadas de cada outra por espaçadores tendo extensão limitada na direção de fluxo.

21. Resfriador adiabático, de acordo com a reivindicação 19 ou 20, caracterizado pelo fato de os espaçadores compreenderem pontos de material polimérico tendo uma dimensão no plano principal das folhas de menos do que 1 cm.

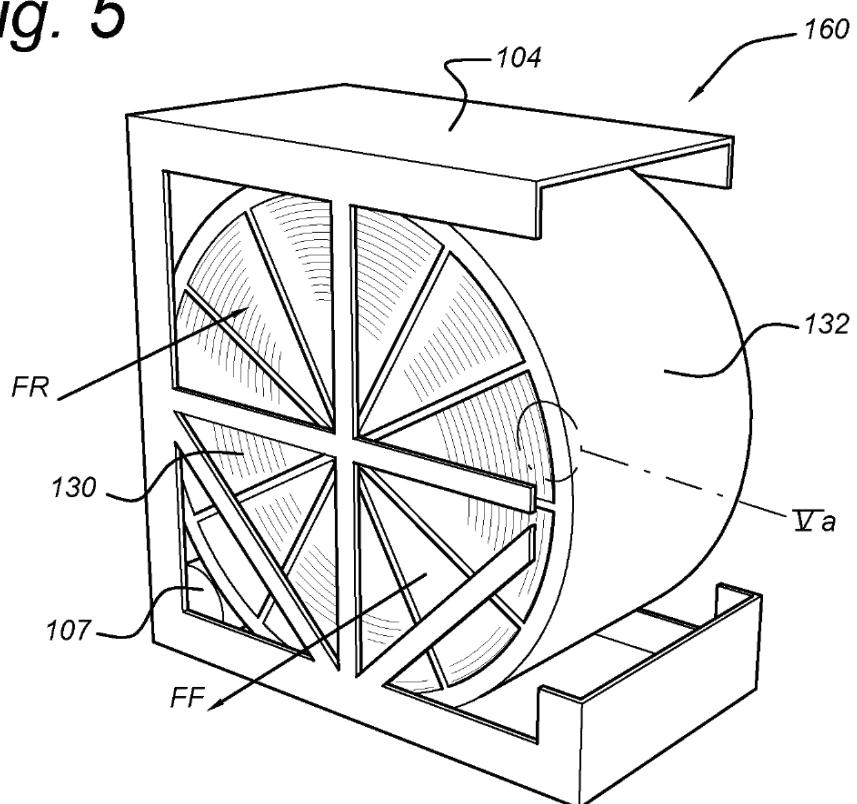
*Fig. 1**Fig. 2*

*Fig. 3**Fig. 3a**Fig. 3b*

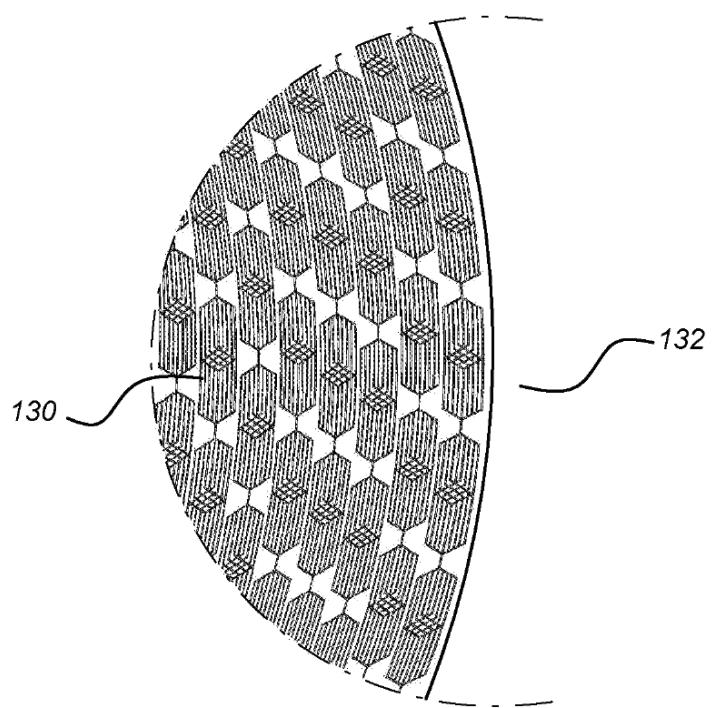
*Fig. 4**Fig. 4a*

4/5

*Fig. 5*

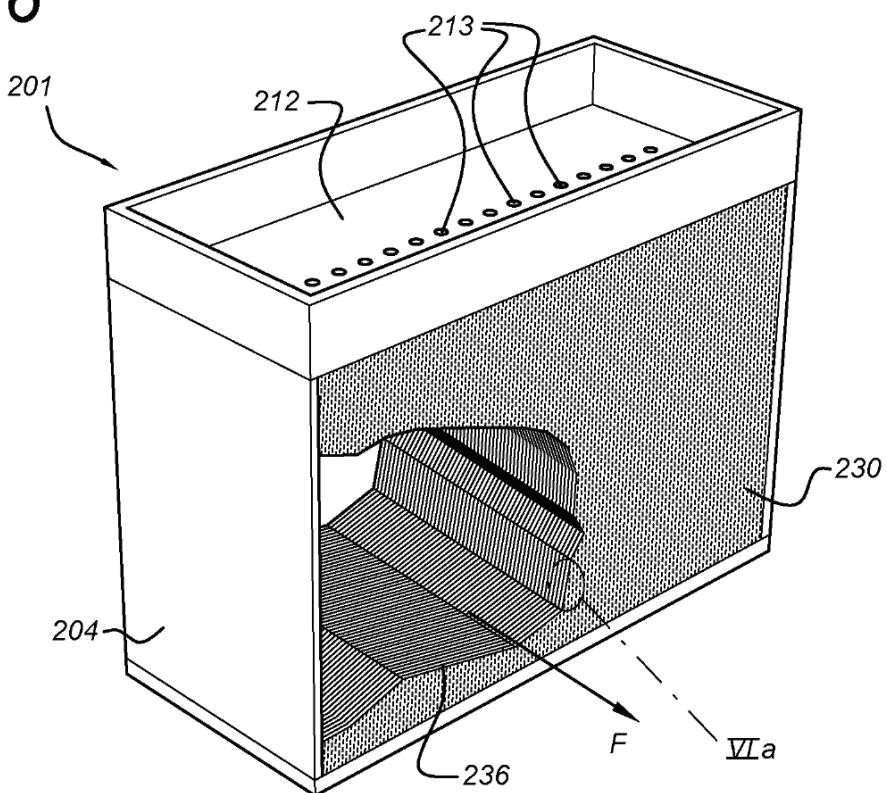


*Fig. 5a*



5/5

*Fig. 6*



*Fig. 6a*

