



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112016016131-9 B1

(22) Data do Depósito: 09/01/2015

(45) Data de Concessão: 07/03/2023

(54) Título: DISPOSITIVO DE TROCA DE CALOR DE ADSORVEDOR HÍBRIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO

(51) Int.Cl.: F25B 17/08; F25B 35/04; F28F 13/18.

(30) Prioridade Unionista: 10/01/2014 IN 81/DEL/2014.

(73) Titular(es): BRY AIR [ASIA] PVT. LTD..

(72) Inventor(es): DEEPAK PAHWA; BIDYUT BARAN SAHA; ANIL KUMAR CHOUDHARY; RAJAN SACHDEV; KULDEEP SINGH MALIK; KYAW THU.

(86) Pedido PCT: PCT IN2015000013 de 09/01/2015

(87) Publicação PCT: WO 2015/104719 de 16/07/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 11/07/2016

(57) Resumo: DISPOSITIVO DE TROCA DE CALOR DE ADSORVEDOR HÍBRIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO. A presente invenção proporciona um dispositivo de troca de calor de adsorção híbrido compreendendo: pelo menos uma estrutura tubular ou de micro canal para transportar um fluido de transferência de calor; uma superfície externa da referida estrutura sendo proporcionada com extensões em pelo menos dois locais; as referidas extensões formando um leito entre as mesmas para proporcionar um ou mais materiais adsorventes; um revestimento de material adsorvente sendo proporcionado em pelo menos uma parte das referidas extensões.

“DISPOSITIVO DE TROCA DE CALOR DE ADSORVEDOR HÍBRIDO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO”

Campo da Invenção

[001]A presente invenção se refere a dispositivos de troca de calor de adsorvedor híbrido, tais como sistemas de troca de calor. Os sistemas da presente invenção são uteis em ambientes onde o adsorbato é necessário para ser temporariamente ou periodicamente armazenado e liberado. Em particular, a presente invenção se refere um sistemas com base em adsorvente de troca de calor para aplicações de refrigeração de adsorção, bomba de calor e aplicações de dessalinização. A presente invenção também proporciona um método para a fabricação dos referidos dispositivos de troca de calor de adsorvedor híbrido, e aplicações do referido dispositivo de troca de calor.

Antecedentes da Invenção

[002]As preocupações de poluição ambiental e itens de consumo de energia primária chamam o rápido desenvolvimento de tecnologias de conservação de energia benigna ao ambiente. Dentre as referidas, sistemas de adsorção acionados termicamente são considerados como uma das tecnologias chave na medida em que os referidos sistemas podem recuperar e reusar fontes de calor com baixo desperdício de temperatura as quais de outro modo serão purgadas para o ambiente.

[003]Há uma necessidade reconhecida de se substituir os sistemas com base em compressão de vapor acionados por meio mecânico ou elétrico existentes com base sistemas usados para aletas de refrigeração ou de refrigeração. Os referidos sistemas tipicamente usam gases tais como hidrofluoro carbonos. É agora reconhecido que há uma necessidade de substituir o uso dos referidos materiais em vista do efeito prejudicial que eles têm no ambiente.

[004]Um dos mecanismos usados para substituir os sistemas com base em

compressão de vapor convencionais é de se usar trocadores de calor que utilizam leitos adsorventes de modo a garantir a transferência de massa assim como a transferência de calor.

[005] Materiais adsorventes são classificados de acordo com as suas propriedades em adsorventes físicos, adsorventes químicos, e adsorventes compósitos. Os adsorventes físicos são materiais que têm diferentes tamanhos de poros. Típico da referida categoria são os silicatos mesoporosos, zeólitos, metaluminofosfatos, carbonos porosos e estruturas orgânicas de metal. Silicatos mesoporosos incluem os materiais tais como sílica gel amorfa sintética que consiste de uma rede rígida e contínua de sílica coloidal conectada a pequenos grãos de SiO_4 hidratado. Os carbonos porosos incluem carbonos ativados obtidos por gaseificar carvão com um agente de oxidação. Zeólitos incluem materiais de sílicato de alumina microporosa cristalina e incluem diversas faixas tais como HZSM-5, ZSM5, zeólito HY etc. as vantagens do zeólito ou de materiais com base em zeólito são a sua diversidade de usos, e a sua susceptibilidade a modificação dependente do objetivo de uso. Estruturas orgânicas de metal são uma nova geração de materiais que são microporosos, que têm alta porosidade, tamanho uniforme de poro e têm campos de adsorção bem definidos e grande área de superfície. As referidas estruturas tipicamente compreendem de ligantes orgânicos que conectam centros de metal.

[006] Adsorventes químicos compreendem substâncias usadas em quimiossorção. Os referidos incluem os cloretos de metal tais como cloreto de cálcio, cloreto de bário, cloreto de estrôncio etc., sal e hidretos de metal tais como hidreto de lítio, hidreto de cálcio, hidretos polimerizados superiores de natureza covalente, e hidretos moleculares de não metal, e óxidos de metal.

[007] Adsorventes compósitos incluem combinações de adsorventes químicos e físicos tais como combinações de cloreto de metal e fibras de carbono

ativado, grafite expandido, sílica gel, ou zeólito. Adsorventes compósitos proporcionam uma vantagem em aumentar o desempenho dos adsorventes físicos sem incorrer o efeito de adsorventes químicos tais como intumescimento, pobre condutividade, ou aglomeração.

Técnica Anterior

[008]Diversos diferentes mecanismos de troca de calor foram postulados na técnica como substituição para sistemas convencionais de refrigeração com base em compressão de vapor. Alguns dos referidos são discutidos abaixo com objetivo de referência apenas.

[009]Um sistema de refrigeração com base em adsorvente de dois leitos com compreende de trocadores de calor separados. Essencialmente, o referido mecanismo é compreendido de quatro partes principais, dois reatores que funcionam como elemento de adsorção ou elemento de dessorção dependendo do modo de operação, um evaporador e um condensador. Os reatores são empacotados com material adsorvente para realizar a adsorção ou a dessorção do adsorbato durante os processos de adsorção ou de dessorção. O fluxo do meio é regulado usando válvulas refrigerantes.

[010]Uma alternativa para o sistema de refrigeração de adsorção de leito duplo é um sistema que usa um mecanismo de adsorção integrado. O referido em geral compreende duas unidades, em que cada unidade é proporcionada com um leito adsorvente, um evaporador e um condensador. O ciclo de troca de calor no referido dispositivo compreende de dois modos – adsorção engatilhada por evaporação que é conhecida como o modo de adsorção/evaporação e condensação que resulta da dessorção que é conhecida como o modo de dessorção/condensação. As válvulas de controle são proporcionadas para controlar o fluxo de fluido secundário a cada unidade.

[011]Outra alternativa para o mecanismo envolve um sistema de adsorção

de três leitos. O referido consiste de três reatores além do condensador e do evaporador. Um sistema de troca de calor de três leitos permite uma contínua evaporação. O referido mecanismo tem quatro modos de operação – pré-aquecimento, dessorção, pré-refrigeração e adsorção.

[012]Sistemas de múltiplos estágios são também disponíveis que são usados para utilizar fontes de calor de baixa temperatura. Os referidos sistemas operam em temperaturas que não são adequadas para um sistema de refrigeração de adsorção de leito duplo.

[013]Como discutido acima, um sistema de refrigeração por adsorção pode efetivamente utilizar calor perdido de baixo grau ou energia térmica solar de temperatura tipicamente abaixo de 100°C e pode produzir efetiva energia de refrigeração. Ciclo de refrigeração de adsorção acionado por meio térmico não requer qualquer eletricidade para acionar o ciclo e o mesmo é amigável ao ambiente na medida em que o mesmo utiliza refrigerantes naturais ou alternativas para os refrigerantes com base em HFC. Ademais, o referido sistema requer um nível mais baixo de manutenção e é também livre a partir de partes móveis. Entretanto, os principais inconvenientes dos sistemas de refrigeração por adsorção acionados por meio térmico de baixa temperatura são o seu pobre desempenho em termos de capacidade específica de refrigeração e coeficiente de desempenho e uma pegada relativamente maior em comparação ao ciclo convencional de compressão de vapor.

[014]Trocadores de calor do tipo de adsorção tipicamente compreendem uma estrutura de trocador de calor que é usada para fornecer e descarregar energia térmica e que está em um contato térmico com um material absorvente que usa uma mudança de fase de um meio de trabalho de adsorbato para ligar e liberar calor latente. O calor é liberado através da condensação de a meio de trabalho vaporoso. De modo oposto, a energia térmica fornecida por meio de a estrutura de trocador de calor pode ser usado para a vaporização renovada do adsorbato.

[015] Materiais sólidos são em sua maioria usados para realizar a mudança de fase do adsorbato, que são os assim chamados materiais absorventes ou materiais adsorventes. Uma característica para os referidos materiais absorventes é a sua estrutura de poro aberto com uma alta relação de superfície para volume. As cavidades internas nos referidos materiais têm dimensões de magnitude molecular. O efeito dos materiais absorventes é com base na adsorção de átomos estranhos e moléculas estranhas em sua estrutura microporosa e assim para transferir a partir da fase de gás para um estado ligado. Exemplos para os materiais absorventes usados em trocadores de calor do tipo de adsorção são argilas tais como bentonita, sílica gel ou zeólitos. Água é em geral usada como o meio de trabalho para os referidos materiais absorventes uma vez que a mesma tem uma alta condensação de calor e é também fácil de usar.

[016] Sistemas de troca de calor com base em adsorção são acionados pela adsorção e dessorção de um vapor adsorbato por um adsorvente sólido poroso. Em contraste com os sistemas de refrigeração de compressão de vapor convencionais que são acionados por um compressor mecânico, nenhuma energia elétrica é necessária para acionar o ciclo de adsorção. O ciclo básico envolve uma fase de adsorção e uma fase de dessorção. Na fase de adsorção, o vapor refrigerante é adsorvido pela substância adsorvente que resulta na liberação do calor. Na fase de dessorção, calor é aplicado para o adsorvente que causa a dessorção do refrigerante. O calor transferido durante os referidos processos é transportado por um trocador de calor entre o adsorvente e o fluido de transferência de calor (por exemplo, água ou metanol ou uma mistura de água e glicol) ou um ambiente externo. Os processos de adsorção e de dessorção ocorrem em conjunto com evaporação e condensação de refrigerante em um evaporador/condensador. A adsorção do refrigerante gasoso reduz a pressão de vapor, o que promove a evaporação do líquido refrigerante no evaporador. Durante a referida evaporação,

calor é extraído a partir de um ambiente para ser refrigerado, o que resulta em refrigeração. Por fornecer calor ao adsorvente por meio do trocador de calor, o refrigerante adsorvido é liberado dentro da fase de vapor, assim regenerando o material adsorvente para o próximo ciclo de adsorção. O adsorbato gasoso que resulta passa para um condensador onde rejeição de calor para o ambiente ocorre. Como no sistema convencional de refrigeração de compressão de vapor, o líquido refrigerante é passado através de um dispositivo de controle (por exemplo, uma válvula de expansão) de volta para dentro do evaporador, e o ciclo pode então ser repetido.

[017]Quando um trocador de calor por adsorção é fornecido com energia térmica a partir do lado de fora, por exemplo, por ter a fluxo de líquido de veículo de calor através do mesmo, o calor que flui para dentro a partir do lado de fora precisa ser transferido efetivamente para o material absorvente poroso de modo a liberar o meio de trabalho adsorvido situado no mesmo. No caso oposto, a liberação de energia térmica, que quer dizer uma direção de fluxo de energia para fora do trocador de calor por adsorção, a energia térmica liberada como um resultado da condensação do meio de trabalho no material absorvente poroso precisa ser transportada a partir de um trocador de calor por adsorção para o lado de fora. Uma vez que os materiais absorventes porosos conhecidos mostram uma condutividade térmica adversa, os trocadores de calor do tipo de adsorção são em geral produzidos como uma combinação de uma estrutura de trocador de calor com alta condutividade térmica e o material absorvente poroso que é usado para ligar e liberar o meio de trabalho. A estrutura dos trocadores de calor em sua maioria consiste de materiais metálicos tais como cobre, alumínio ou aço inoxidável, assim como outros materiais com uma alta condutividade térmica tais como materiais cerâmicos, materiais de carbono, plástico reforçado com fibra de carbono (CFRP) materiais e determinados materiais plásticos.

[018]Trocadores de calor compreendem cavidades para permitir o fluxo direto com um meio veículo de calor que em geral não entra em contato direto com o material absorvente. A estrutura de trocador de calor entra em contato térmico com o material absorvente. No mais simples dos casos isso ocorre na forma de material de volume, com o material absorvente sendo em sua maioria presente na forma de pó ou por mistura com um aglutinante na forma de grânulos.

[019]Refrigeradores de adsorção acionados por meio térmico foram propostos para aplicações de refrigeração de espaços. Os referidos refrigeradores são de fato livre de partes móveis, exceto por a operação de liga/desliga das válvulas refrigerantes que conectam separadamente os leitos adsorventes ao evaporador e ao condensador. Portanto os referidos sistemas são altamente confiáveis e requerem quase nenhuma manutenção. Refrigeradores do tipo de adsorção são também capazes de ser miniaturizados, uma vez que a adsorção de refrigerante dentro e a dessorção de refrigerante a partir do adsorvente poroso sólido são processos basicamente de superfície, em vez de por volume.

[020]Como visto acima diversos métodos são postulados na técnica para os mecanismos de troca de calor. Algumas das referências são discutidas em suma abaixo.

[021]Patente US 8,053,032 explica um método para a produção de um substrato de trocador de calor em que uma camada de zeólito é depositada/produzida na superfície do substrato por cristalização direta. Entretanto, não há referência ou ensinamento na referida patente em relação a quaisquer técnicas de hibridização.

[022]Patente US 8,590,153 descreve um trocador de calor por adsorção onde uma camada/revestimento de adesivo é formada na estrutura de trocador de calor e o trocador é então imerso dentro do material absorvente para garantir a adesão do mesmo. O método de revestimento essencialmente compreende o uso de

um trocador de calor fabricado terminado que é posteriormente revestido com o material absorvente, por um processo de imersão. Como será observado, o referido método pode ter as limitações de desigualdade da espessura do revestimento, aglomeração de material sólido poroso em determinadas porções o que leva a um revestimento desigual e desse modo em si mesmo o que afeta adversamente o desempenho.

[023]A publicação de Patente US 2010/0136326 descreve um método pelo qual a camada de compósito que compreende um substrato de suporte de metal e uma camada de silicato é obtida por revestimento da superfície do substrato com a camada de silicato obtida através de síntese solvotérmica. Não há descrição na referida publicação de qualquer tentativa de hibridizar os mecanismos de troca de calor, ou tentativa de aprimorar o desempenho cinético do trocador de calor sem comprometer o volume adsorvente ou a pegada do trocador de calor.

[024]A publicação de Patente US 2011/0183836 descreve um substrato que contém alumínio para um trocador de calor. Uma camada micro porosa de alumínio fosfato zeólito é aplicada ao substrato, entre outras camadas. A publicação mais uma vez foca em aumentar o número de camadas que formam o revestimento no substrato, em que pelo menos uma camada é $ALPO_4$, e não proporcionam qualquer informação ou orientação em direção da tentativa de aumentar o desempenho cinético dos trocadores de calor através de técnicas de hibridização.

[025]A publicação de Patente US 2012/0216563 descreve um trocador de calor em que um material poroso é proporcionado em contato com a porção tubular do trocador de modo a permitir que o vapor passe através. O material é um material fibroso. Entretanto, mais uma vez não há descrição ou orientação de se isso é útil para aprimorar o desempenho cinético ou se técnicas de hibridização adicionais podem ser usadas.

[026]A publicação de Patente US 2013/0014538 descreve um subconjunto

para um refrigerador de adsorção. O subconjunto é proporcionado com um componente de adsorção que inclui uma multiplicidade de placas que são arranjadas em uma pilha. Os lados do refrigerante de pares adjacentes de placas na pilha definem passagens de refrigerante e um material adsorvente é proporcionado dentro das referidas passagens. Entretanto, não há descrição ou orientação na mesma de se o referido arranjo contribui ou proporciona qualquer aprimoramento nas cinéticas de desempenho.

[027]A Publicação de Patente JP No. 2011-240256 descreve um bloco adsorvente que é proporcionado com uma pluralidade de fibras de carbono ativado. As referidas fibras são todas orientadas na mesma direção. Uma folha de metal cilíndrica é proporcionada cobrindo a circunferência externa das fibras ativadas, em um modo tal como na direção axial. Isso é obtido por cobrir as fibras com a folha de metal cilíndrica e então rolar para fora sem direção e cortar a folha. Entretanto, não há descrição ou orientação na mesma de se o referido arranjo contribui ou proporciona qualquer aprimoramento em cinéticas de desempenho.

[028]A Publicação de Patente JP No. 2005-291528 descreve um trocador de calor com maior capacidade do elemento de adsorção. O trocador de calor compreende um trocador de calor do tipo de tubo de placa de aleta com um passo específico da aleta, comprimento de aleta e altura de aleta. O carvão ativado é usado como uma carga adsorvente em que o carvão tem capacidade específica de adsorção de vapor. O leito assim formado é coberto por um material em forma de rede para evitar o vazamento do material adsorvente. Entretanto, não há descrição ou orientação na mesma de se o referido arranjo contribui ou proporciona qualquer aprimoramento em cinéticas de desempenho. Mais uma vez, o foco na referida descrição é de modificar as dimensões da aleta e ajustar as características do material adsorvente para aumentar a potência do adsorvente.

Sumário da presente invenção

[029]A presente invenção proporciona um dispositivo de troca de calor de adsorção híbrido que compreende pelo menos uma estrutura tubular ou de micro canal para transportar um fluido de transferência de calor, a superfície externa da referida estrutura sendo proporcionada com extensões em pelo menos dois locais, as referidas extensões formando um leito entre as mesmas para proporcionar um ou mais materiais adsorventes, um revestimento de material adsorvente sendo proporcionado em pelo menos uma parte das referidas extensões.

[030]Em uma modalidade, as extensões percorrem longitudinalmente ao longo do comprimento total da estrutura tubular ou pode percorrer circunferencialmente em torno da estrutura tubular, com a altura de cada extensão permanecendo substancialmente uniforme ao longo de todo o comprimento do mesmo.

[031]Em outra modalidade, a estrutura tubular e as extensões são integrais, ou podem ser conectadas uma a outra através de meios de conexão separados.

[032]Se desejado, a estrutura tubular e as extensões são produzidas do mesmo material e podem ser produzidas a partir de um material de condução de calor que são materiais metálicos, com base em cerâmica, materiais com base em carbono ou poliméricos.

[033]Em outra modalidade da presente invenção, cada extensão é revestida com um adsorvente sendo o mesmo ou diferente a partir do adsorvente que preenche o leito.

[034]Em ainda outra modalidade, o material adsorvente proporcionada no referido leito é selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, MOFs (estruturas orgânicas de metal), COFs (estruturas orgânicas covalentes),

FAMs (materiais adsorventes funcionais), e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

[035]Em ainda outra modalidade da presente invenção, o material adsorvente compreende grânulos adsorventes tendo um diâmetro de poro na faixa de 3 a 100 angstrom ou folhas lisas ou enrugadas com adsorvente revestido ou depositado nas mesmas ou a combinação dos mesmos disposta em qualquer predeterminado padrão.

[036]Em ainda outra modalidade da presente invenção, as folhas lisas ou enrugadas são produzidas de um material termicamente condutor selecionado a partir do grupo que consiste de alumínio, cobre, grafite/grafite expandido, substratos de fibra inorgânica ou orgânica ou combinações dos mesmos, e podem opcionalmente ser folhas perfuradas.

[037]Em outra modalidade da presente invenção as extensões são enrugadas na superfície externa das mesmas antes do revestimento com material adsorvente, e em que o revestimento é selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, MOFs (estruturas orgânicas de metal), COFs (estruturas orgânicas covalentes), FAMs (materiais adsorventes funcionais), e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

[038]Em ainda outra modalidade da presente invenção, o fluido de transferência de calor é selecionado a partir do grupo que consiste de água, álcoois inferiores, óleos, e semelhante.

[039]Em outra modalidade da presente invenção, o material adsorvente é proporcionado com um ou mais dopantes selecionados a partir do grupo que consiste de sais de metais inorgânicos tais como cloreto de cálcio, brometo de lítio,

cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, nitrato de cálcio, cloreto de manganês, e semelhante

[040]Em outra modalidade da presente invenção, um ou mais aditivos selecionados a partir do grupo que consiste de fibras de carbono, fibras de grafite, e semelhante são também adicionados para aumentar a condutividade térmica.

[041]Se desejado, uma malha polimérica é proporcionada sobre o leito adsorvente, em que o polímero é anilina.

[042]A presente invenção também proporciona um método para a fabricação de a dispositivo de troca de calor de adsorção híbrido, o referido método compreendendo:

[043]revestir pelo menos uma parte de um material termicamente condutor com um material adsorvente;

[044]converter o pelo menos material termicamente condutor parcialmente revestido em uma estrutura tubular para transportar um fluido de transferência de calor, e proporcionar duas ou mais extensões no mesmo, as referidas extensões ou sendo integrais com a referida estrutura tubular revestida, ou que compreende pelo menos parcialmente material adsorvente termicamente condutor revestido, as referidas extensões formando um leito adsorvente entre as mesmas;

[045]proporcionar um ou mais material adsorvente no referido leito adsorvente.

Breve Descrição dos Desenhos

[046]A presente invenção será descrita em maiores detalhes abaixo inter alia, com referência aos desenhos em anexo nos quais:

[047]A figura 1 é uma representação de um típico elemento de adsorção de bloco do tipo dotado de aleta que é usado no elemento de adsorção e no elemento de dessorção dos trocadores de calor.

[048]A figura 1(a) é uma vista explodida da seção marcada 'A' na figura 1, e

a figura 1(b) é uma vista isométrica da mesma.

[049]A figura 2 é uma representação de um típico elemento de adsorção de tubo do tipo dotado de aleta em espiral que é usado em trocadores de calor.

[050]A figura 2(a) é uma vista explodida da seção marcada 'A' na figura 2, e a figura 2(b) é uma vista isométrica da mesma.

[051]A figura 3(a) é uma representação de elementos de adsorção de bloco dotado de aleta da técnica anterior em que o leito do elemento de adsorção é carregado/empacotado com adsorventes granulares.

[052]A figura 3(b) é uma representação dos elementos de adsorção de bloco dotado de aleta revestido da técnica anterior.

[053]A figura 4(a) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas são carregados com um segundo material adsorvente que compreende grânulos, e coberto com uma malha adequada.

[054]A figura 4(b) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas são carregados com um segundo material adsorvente que compreende um substrato revestido com dessecante.

[055]A figura 4(c) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas são carregados com um segundo material adsorvente que compreende bloco de substrato revestido com dessecante enrugado.

[056]A figura 4(d) e a figura 4(e) são representações de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas

com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas são carregados com um segundo material adsorvente que compreende seja um bloco de substrato revestido com dessecante enrugado ou liso e grânulos adsorventes interespaçado entre o bloco de substrato revestido com dessecante.

[057]A figura 4(f) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são formadas para aumentar a sua área de superfície e são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas são carregados com um segundo material adsorvente que compreende grânulos adsorventes, e coberto com uma malha adequada.

[058]A figura 5 é uma representação das quatro resistências de transferência de calor que desenvolvem o gradiente de temperatura, durante a transferência de calor a partir de/para o fluido secundário.

[059]A figura 6 é uma representação de um material de substrato que é revestido com adsorvente, e perfurações são proporcionadas no mesmo em predeterminados ou desejados padrões.

[060]A figura 7 mostra a isoterma de adsorção de sílica gel S2 proprietária dos requerentes aqui na água e pares revestidos de sílica gel S2/água adsorvente/refrigerante.

[061]A figura 8 mostra os dados de captação de adsorção para o par de sílica gel S2/água em temperaturas na faixa de 30-70 °C.

[062]A figura 9 mostra os dados de captação de adsorção para o par de sílica gel S2/água em pressões na faixa de 5kPa e 15kPa.

[063]A figura 10 é uma representação comparativa de isotermias de adsorção de água em sílica gel tipo S2 proprietária dos requerentes e oferecida no comércio como sílica gel tipo Fuji RD.

[064]As figuras 11(a), (b) e (c) são perfis temporais de captação de adsorção

e pressão do par de sílica gel S2/água em temperaturas de adsorção de 30°, 50° e 70°C respectivamente.

[065]A figura 12 é uma representação comparativa da capacidade específica, em termos de Watts de refrigeração por litro de trocador de calor de adsorvente, ambos para elementos de adsorção da técnica anterior e a capacidade específica potencial com diferentes trocadores de calor do tipo de adsorção híbridos da presente invenção.

[066]A figura 13 mostra a capacidade de refrigeração e o COP de um refrigerador de adsorção usando um método de empacotamento convencional, o método revestido de adsorvente avançado e os trocadores de calor híbridos revestidos de adsorvente.

[067]A figura 14 mostra os perfis de temperatura dos principais componentes de um refrigerador de adsorção para o coeficiente de transferência de calor geral de 350 W/m²K.

[068]A figura 15 mostra as comparações de desempenho de refrigerador de adsorção para grânulo, trocadores de calor revestido de adsorvente e híbrido.

Descrição Detalhada da Presente Invenção

[069]Uma necessidade reconhecida na técnica tem sido a necessidade de aumentar o desempenho do leito adsorvente que é usado em trocadores de calor de modo a aprimorar o ciclo geral de desempenho. Dentre outros fatores os parâmetros chave que determinam a eficiência do desempenho de um leito adsorvente são os aspectos de calor e de transferência de massa. A transferência de massa influencia não só a capacidade de adsorção mas também o coeficiente de captação de adsorção. A transferência de calor é fundamental para o envio e a extração de ambos calor de dessorção e de adsorção, respectivamente. Outros parâmetros que também afetam o desempenho do leito adsorvente incluem a porosidade do adsorvente e o tamanho do poro, tamanho granular e a relação de massa de

adsorvente para metal.

[070]A transferência de calor é sujeita a múltiplos níveis de resistência dentro do leito adsorvente. Os referidos incluem a resistência induzida pela transferência de calor conectiva secundária de metal para fluido, resistência de transferência de calor condutiva através da parede do trocador, transferência de calor de contato de metal para adsorvente, e resistência de transferência de calor condutiva através de material adsorvente. Dos referidos, a transferência de resistência a calor engendrada pela interface de contato de metal para adsorvente desempenha um papel predominante em afetar a eficiência de um trocador de calor, e é dependente da natureza e do nível de contato físico entre o adsorvente e o metal do trocador de calor. Por exemplo, em sistemas adsorventes de leito simples empacotados granulares, embora o desempenho de transferência de massa seja muito alto, o nível do desempenho de transferência de calor é em geral baixo em virtude da alta resistência de contato térmico entre os grânulos adsorventes e a superfície de metal do trocador de calor.

[071]É possível se aumentar o desempenho de transferência de calor de material adsorvente que é usado em um leito adsorvente, por misturar grânulos adsorventes com aditivos de metal para aumentar a condutividade térmica, revestindo o leito de metal do trocador de calor com o adsorvente e evitando o uso de grânulos totalmente de modo a eliminar toda a resistência de contato térmico, cobrindo os grânulos adsorventes com uma rede de polianilina, deposição de adsorvente sobre espuma metálica, e uso de métodos de leito consolidado.

[072]Uma das técnicas para aumentar o desempenho de transferência de calor por aumentar a condutividade térmica geral é por adicionar partículas de metal tais como alumínio, cobre, ou grafite/grafite expandido aos grânulos adsorventes de materiais zeolíticos. Embora seja reportado que a condutividade térmica aumente de modo significativo, e o método seja também fácil de seguir, as limitações parecem

ser uma redução em desempenho de transferência de massa e também limitações de material. O último é uma séria limitação uma vez que a mesma limita o âmbito de aplicações onde os referidos leitos adsorventes são usados.

[073] Outra técnica que é discutida na técnica como uma substituição para a abordagem de leito granular é de se evitar o uso dos mesmos juntos e em vez disso revestir o metal do trocador de calor com o adsorvente. Isso em geral envolve o uso de um agente orgânico para limpar a superfície do metal, formação de uma pasta do adsorvente com um aglutinante orgânico, e então aplicação na superfície limpa do metal, seguido de aquecimento para remover o aglutinante residual. Diversas diferentes técnicas de revestimento são discutidas e ilustradas na técnica. Uma vantagem do referido método é que o mesmo evita a resistência de contato de calor de adsorvente e metal de modo significativo. O referido método foi considerado uma alternativa à abordagem de leito granular.

[074] Outro método que é discutido na técnica é a formação de uma rede polimérica tal como uma rede de polianilina sobre o leito granular. Isso pode ser realizado in situ usando polimerização oxidativa in situ de anilina na superfície dos grânulos adsorventes. A desvantagem observada com o referido método é que embora a transferência de resistência a calor seja reduzida, o desempenho de transferência de massa é afetado adversamente.

[075] Outras tentativas incluem deposição de adsorvente sobre uma espuma metálica. Um exemplo do referido método inclui a deposição de zeólito e espuma de metal de cobre. O método essencialmente compreende o revestimento da parte metálica do trocador de calor com uma resina de epóxi, um agente espumante e um pó de metal. O material adsorvente é depositado usando uma solução de semente coloidal. Por exemplo, no caso de zeólito, isso envolve a semeadura, seguido por síntese hidrotérmica, lavagem e secagem. É reportado que o referido método aprimora as características de transferência de calor de modo significativo, mas

resulta em um aumento na massa metálica.

[076]A abordagem de leito consolidado se baseia em diversas etapas diferentes. Por exemplo, grânulos adsorventes comprimidos e argila, grafite expansível, grânulos de moldagem e adição de aglutinante e espuma metálica impregnada com grânulos adsorventes. É reportado que o referido método resulta em um significativo aumento no desempenho de transferência de calor. Entretanto, o método pode não ser eficiente no caso de todos os materiais adsorventes, e também tem a limitação de permeabilidade do leito e rachadura.

[077]Como pode ser visto, as abordagens que foram propostas na técnica apontam para várias soluções como alternativas para a abordagem de leito granular. Um desejo convencional na técnica é que a abordagem de leito granular afeta adversamente o desempenho de transferência de calor, e a única solução é de se procurar uma substituição para o referido método.

[078]Os requerentes aqui determinaram que uma abordagem híbrida proporciona não só o desempenho de transferência de massa que é uma significativa vantagem da abordagem de leito granular, mas também tem um maior desempenho de transferência de calor. O método da presente invenção envolve uma abordagem integrada para o maior desempenho do trocador de calor o que envolve não só adotar um revestimento para as porções de metal de um trocador de calor (ou partes do mesmo), mas também garantir a presença de material adsorvente adicional proporcionado entre as referidas partes metálicas. Foi observado em estudos de teste que o referido trocador de calor com base em adsorvente híbrido proporciona um significativo aumento de desempenho não só em termos de calor mas também em termos de características de transferência de massa.

[079]O objetivo da presente invenção é proporcionar um trocador de calor por adsorção híbrido que seja compacto, eficiente em converter energia de

refrigeração de entrada e acessível.

[080]A essência da presente invenção envolve o aumento da transferência de calor por uma técnica de hibridização que inclui não só o revestimento das aletas do trocador de calor assim como o uso de materiais adsorventes porosos frouxos entre as aletas. Um refrigerante tal como água/amônia/etanol/metanol/outras refrigerantes sortidos são exotermicamente adsorvidos e endotermicamente dessorvidos, a partir do adsorvente poroso, que é em geral empacotado em um leito adsorvente tendo boas características de transferência de calor de um único adsorvente. Em um leito adsorvente, a principal resistência térmica é proveniente a partir da aleta do elemento de adsorção e do material adsorvente que pode ser completamente eliminado através do revestimento do material adsorvente. A energia específica é intensificada através do empacotamento de grãos adsorventes frouxos entre as aletas revestidas. A presente invenção combina o adsorvente revestido assim como o empacotamento dos grãos adsorventes frouxos ou alternar meios tais como fibras de vidro em que o dessecante ou é gerado in situ ou são pré-impregnados, ou uma combinação de diferentes meios tais como grânulos e fibras de vidro.

[081]A figura 1 é uma representação de um típico elemento de adsorção de bloco do tipo dotado de aleta que é usado no elemento de adsorção e no elemento de dessorção dos trocadores de calor.

[082]A figura 2 é uma representação de um típico elemento de adsorção de tubo do tipo dotado de aletas que é usado em trocadores de calor.

[083]A figura 3(a) é uma representação de elementos de adsorção de bloco dotado de aleta da técnica anterior em que o leito do elemento de adsorção é carregado/empacotado com adsorventes granulares. Como é evidente a partir da figura 3(a), o fluido secundário flui através do tubo de troca de calor do elemento de adsorção, e as aletas são proporcionadas na superfície externa do tubo de troca de

calor. Os espaços intersticiais entre as aletas são empacotados com grânulos de elemento de adsorção. O tubo em si pode ser produzido de um metal tal como cobre que promove a transferência de calor. O empacotamento granular é finalmente coberto com uma malha metálica. As aletas são tipicamente produzidas de alumínio.

[084]A figura 3(b) é uma representação de elementos de adsorção de bloco dotado de aleta da técnica anterior. O fluido secundário flui através do tubo de troca de calor do elemento de adsorção, e as aletas são proporcionadas na superfície externa do tubo de troca de calor. Os espaços intersticiais entre as aletas são vazios. O tubo em si pode ser produzido de um metal tal como cobre que promove transferência de calor. O empacotamento granular é finalmente coberto com uma malha metálica. As aletas são tipicamente produzidas de alumínio e são revestidas com o material adsorvente usando as técnicas ilustradas na técnica. Os procedimentos de revestimento são discutidos em algum detalhe no presente documento, e envolve o uso de resinas e aglutinantes para garantir a uniforme deposição de adsorvente nas aletas.

[085]A figura 4(a) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas carregados com um segundo material adsorvente que compreende grânulos. Os primeiro e segundo adsorventes podem ser os mesmos ou diferentes. O leito granular é então coberto com uma malha metálica. O revestimento pode ser uniforme através da superfície externa do tubo de troca de calor. Em uma alternativa, apenas as aletas são revestidas, e a superfície do tubo trocador de calor entre duas aletas permanece não revestida.

[086]A figura 4(b) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas carregados

com um segundo material adsorvente que compreende papel revestido com dessecante. O substrato revestido com dessecante pode ser um em que o dessecante é revestido ou impregnado dentro da fibra de vidro ou pode ser um em que o dessecante é gerado in situ. Os primeiro e segundo adsorventes podem ser os mesmos ou diferentes. O revestimento pode ser uniforme através da superfície externa do tubo de troca de calor. Em uma alternativa, apenas as aletas são revestidas, e a superfície do tubo trocador de calor entre duas aletas permanece não revestida.

[087]A figura 4(c) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas carregados com um segundo material adsorvente que compreende bloco de substrato revestido com dessecante enrugado. O substrato revestido com dessecante pode ser um em que o dessecante é revestido ou impregnado dentro da fibra de vidro ou pode ser um em que o dessecante é gerado in situ. Os primeiro e segundo adsorventes podem ser os mesmos ou diferentes. O revestimento pode ser uniforme através da superfície externa do tubo de troca de calor. Em uma alternativa, apenas as aletas são revestidas, e a superfície do tubo trocador de calor entre duas aletas permanece não revestida.

[088]A figura 4(d) e a figura 4(e) são representações de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas carregados com um segundo material adsorvente que compreende ou um bloco de substrato revestido com dessecante enrugado ou liso e grânulos adsorventes inter espaçados entre o bloco de substrato revestido com dessecante. Na figura 4(d) os blocos de substrato são proporcionados perpendiculares ao eixo do tubo, enquanto que na figura 4(e) os blocos de substrato são proporcionados paralelos ao

eixo do tubo. O substrato revestido com dessecante pode ser um em que o dessecante é pré-revestido/ impregnado dentro da fibra de vidro ou pode ser um em que o dessecante é gerado in situ. Os primeiro e segundo adsorventes podem ser os mesmos ou diferentes. O revestimento pode ser uniforme através da superfície externa do tubo de troca de calor. Em uma alternativa, apenas as aletas são revestidas, e a superfície do tubo trocador de calor entre duas aletas permanece não revestida. Os blocos de substrato em casos das figuras 4(b) à figura 4(e) podem também ser perfurados para aumentar não só a massa mas também a transferência de calor.

[089]A figura 4(f) é uma representação de um leito adsorvente em que as aletas do tubo de troca de calor do elemento de adsorção são revestidas com um primeiro material adsorvente e os espaços intersticiais entre as aletas carregados com um segundo material adsorvente que compreende grânulos adsorventes. As aletas são enrugadas na presente modalidade e podem também se desejado, ser perfuradas em qualquer padrão desejado de modo a aumentar o calor e transferência de massa. Os primeiro e segundo adsorventes podem ser os mesmos ou diferentes. O revestimento pode ser uniforme através da superfície externa do tubo de troca de calor. Em uma alternativa, apenas as aletas são revestidas, e a superfície do tubo trocador de calor entre duas aletas permanece não revestida.

[090]A figura 5 é uma representação das regiões de transferência de calor em uma aleta revestida, e é descrita em detalhes abaixo.

[091]A figura 6 é uma representação de um material de substrato que é revestido com adsorvente, e perfurações são proporcionadas no mesmo em padrões predeterminados ou desejados. O referido material de substrato pode ser convertido nas extensões externas (aletas), para o trocador de calor, e o material adsorvente carregado nos leitos formados desse modo.

[092]A presente invenção essencialmente reside na hibridização do leito

adsorvente de modo que não só a aleta é revestida com um material adsorvente, os espaços intersticiais entre as aletas são proporcionados com um material adsorvente adicional. A segunda carga de material adsorvente pode ser a mesma que o material adsorvente proporcionado no revestimento ou pode ser diferente. Por exemplo, a carga de material adsorvente pode ser na forma de grânulos que são disponíveis tais como material zeólito, carbono ativado, alumina ativada, ou sílica gel. Alternativamente, a carga de material pode compreender fibras ou folhas de vidro, cerâmica, carbono ativado, grafite, substâncias orgânicas ou inorgânicas tendo um material adsorvente proporcionada nas mesmas ou por revestimento, imersão, impregnação ou por formação in situ ou qualquer outro método.

[093]O trocador de calor híbrido da presente invenção proporciona flexibilidade em combinar diferentes formas de adsorventes. Testes estabeleceram que esse trocador de calor híbrido proporciona significativo aumento não só em termos de transferência de massa mas também em desempenho de transferência de calor.

[094]A abordagem da presente invenção compreende avaliar o estado atual da técnica em relação ao adsorvente granular proporcionado dentro de um espaço dotado de aletas não revestidas. É conhecido na técnica que a eficiência (capacidade específica) dos referidos sistemas é em torno de 100 watts por litro de trocador de calor de adsorvente. Em vista disso, a abordagem foi de:

[095]Aumentar a saída de watts por litro de volume de trocador de calor de adsorvente, assim reduzindo o volume geral, a pegada e o custo.

[096]Para aprimorar as cinéticas de adsorção e de dessorção de modo a adicionalmente aumentar os watts por saída do trocador de calor do adsorvente assim adicionalmente reduzindo a pegada, volume e custo de um refrigerador de adsorção. A presente invenção alcança ambos simultaneamente.

[097]De modo a aumentar e otimizar o desempenho dos dispositivos de

troca de calor adsorventes, múltiplas variáveis foram utilizadas. As referidas compreendem:

[098]Substrato: o trocador de calor adsorvente híbrido da presente invenção se baseia em que uma parte do trocador de calor tem um adsorvente aderido ao mesmo. A presente invenção proporciona flexibilidade em termos de escolha do substrato dependendo do método de adesão que é empregado para garantir a adesão do adsorvente ao substrato. Os substratos podem ser folha de alumínio, folha de cobre, folha de fibra de metal orgânica, folha de fibra inorgânica, plástico reforçado com carbono, etc. os tipos de aleta incluem plana/lisa, enrugadas, com persiana, ondas senoidais, ondulada, piramidal, ou tipo de pino.

[099]Espessura do substrato: a espessura do substrato, dependendo do tipo de suporte que o substrato proporciona ao adsorvente, e a condutividade térmica como parte da configuração geral do trocador de calor, tipicamente irá variar a partir de 0,5 mm – 2,0 mm, mais tipicamente a partir de 0,1 mm a 1,0 mm.

[0100]Formato do substrato: Dependendo da escolha do substrato, o substrato pode ser plano, enrugadas, ondas quadradas, ou formado de modo diferente, por exemplo, triangular etc.

[0101]Adsorvente: O material adsorvente para ser aderido ao substrato tipicamente será de sílica gel, peneira molecular, compósitos, ou carbono ativado, e pode também compreende adsorventes em desenvolvimento que têm uma alta área de superfície e são fluidos tolerantes a transferência de calor. Por exemplo, se água é usada como o refrigerante, então o adsorvente deve ser tolerante a água. Se outros refrigerantes são usados em refrigeradores do tipo de adsorção tais como etanol, metanol e amônia e refrigerantes com base em HFC, os adsorventes devem ser quimicamente inertes aos referidos refrigerantes. Alguns dos referidos adsorventes já existem enquanto outros estão em desenvolvimento. Tipicamente os referidos seriam a partir da família de MOFs, alumínio fosfato, COFs, FAMs e FMMs,

compósitos, etc. Na medida em que a maior área de superfície e densidade de volume são fatores complementares, os adsorventes de escolha podem depender não só da útil capacidade sob capacidade operacional dos limites do adsorvente mas também serão de maior densidade de volume de modo que a adsorção geral, e assim o desempenho específico em kW por trocador de calor de adsorvente, é maximizada. Ademais, as cinéticas do adsorvente, em termos de adsorção e dessorção, e os meios para aumentar as 'cinéticas' de um determinado adsorvente, também desempenharão um significativo papel no sentido de maximizar a capacidade geral em termos de Watt por litro de trocador de calor de adsorvente.

[0102]Os referidos adsorventes, para aumentar a capacidade útil, podem adicionalmente ser aditivados com agentes de aditivação tais como sais de metal inorgânico tais como cloreto de sódio, cloreto de cálcio, brometo de lítio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, nitrato de cálcio, cloreto de manganês etc.,

[0103]Para aprimorar a condutividade térmica do fluxo de calor a partir de dentro do adsorvente ao substrato, assim como as cinéticas gerais, uso pode ser feito de adicionar materiais altamente condutores tais como grafite, grafite expandido, pó de cobre etc. em pequenas quantidades.

[0104]Em alguns casos, pode haver uma combinação de ambos aditivação e adição de materiais termicamente condutores.

[0105]5. Métodos gerais de aderir o adsorvente ao substrato: Há diversos métodos conhecidos, como enumerados abaixo, de aderir o adsorvente ao substrato mas a presente invenção não é limitada à técnica existente ou aos métodos:

[0106]Um método de aderir o dessecante ao substrato, particularmente substratos impermeáveis, é de se usar aglutinantes de não mascaramento ou colas. O aglutinante de colas pode ser inorgânico, orgânico e também uma combinação de ambos.

[0107]Substratos, particularmente substratos porosos, o adsorvente pode ser

impregnado mais uma vez com a ajuda de adequados aglutinantes de não mascaramento/ciclos. O aglutinante de colas pode ser inorgânico, orgânico e também uma combinação de ambos. A impregnação pode também incluir um método de revestimento por imersão.

[0108]Em ainda outro método, o substrato, particularmente substrato poroso, o adsorvente pode ser sintetizado in situ sem o uso de aglutinantes de colas.

[0109]Em ainda outro método, partindo com o substrato, tipicamente uma folha de alumínio, o adsorvente pode ser sintetizado in situ na superfície do substrato, utilizando o material de substrato como um dos elementos para desenvolver os cristais de adsorvente.

[0110]Transferência de calor no leito adsorvente é gerenciada pela regeneração e adsorção usando um fluido secundário tal como água. Para a transferência de calor para e a partir do fluido secundário há quatro resistências de transferência de calor como é mostrado na figura 5. As resistências são:

[0111]R.1 A resistência de transferência de calor convectiva entre o fluido secundário e a parede de metal.

[0112]R.2 A transferência de resistência a calor através da parede do trocador de calor.

[0113]R.3 A transferência de resistência a calor por contato entre o metal e adsorvente.

[0114]R.4 A resistência de transferência de calor condutiva através da massa dessecante

[0115]Como pode ser visto a configuração do dispositivo de troca de calor pode afetar as resistências de transferência de calor.

[0116]No dito acima, R3 é predominante e mais significativa. Desse modo, foram feitos esforços e tentativas no sentido de revestir os adsorventes na superfície de metal do trocador de calor, tipicamente a aleta estendida, tipicamente alumínio.

Ao assim proceder a resistência de transferência de calor condutiva através da massa dessecante (R4) foi ignorada e eliminada na medida em que nenhum adsorvente adicional foi disposto entre as superfícies estendidas do trocador de calor. Embora um benefício tenha sido obtido através da redução de R3, há um significativo desafio e perda de capacidade de adsorção e, portanto, a transferência de massa na medida em que a quantidade/massa de dessecante se torna limitada no revestimento aplicado, assim reduzindo a relação de massa de adsorvente para metal.

[0117]A presente invenção tem o objetivo de manter uma relação de massa de adsorvente para metal quase ótima por combinar a superfície estendida revestida com dessecante de metal/aleta por não só reduzir R3 mas também aprimorar de modo considerável as cinéticas, junto com o uso de material granular dentro dos espaços das aletas revestidas embora limitado R4 possa ser encontrado, assim proporcionando um aumento geral do desempenho de >35/40% em termos de Watts por litro de trocador de calor de adsorvente usando o trocador de calor de adsorvente tradicional com material adsorvente granular empacotado dentro da superfície da aleta do trocador de calor. Há também outros métodos de preencher os espaços como descrito aqui posteriormente.

[0118]O adsorvente é aderido ao substrato por aplicar sílica gel granular/pó à folha de alumínio usando um aglutinante de não mascaramento a partir de uma classe de aglutinantes orgânicos e assim como de aglutinantes inorgânicos separadamente, e também usando agente(s) de limpeza de poro para o adsorvente. Zeólitos podem também ser usados em vez de sílica gel.

[0119]O revestimento nas extensões pode ser alcançado por qualquer método que já é conhecido, tal como aquele ilustrado na Patente US 8,053,032 (cristalização direta da camada de zeólito em um substrato), a publicação de Patente US 2010/0136326 (revestimento da superfície do substrato com uma camada de

silicato obtida através de síntese solvotérmica), a publicação de Patente US 2011/0183836 (revestimento e, substrato que contém alumínio com uma camada microporosa de alumínio fosfato zeólito), ou qualquer outro método conhecido na técnica para o revestimento do substrato e das aletas.

[0120]Independente do método de aderir o adsorvente ao substrato ou do tipo do substrato, a quantidade de adsorvente tem que ser ótima de modo que muito adsorvente não iniba a transferência de calor a partir da camada externa para o trocador de calor. Tipicamente a quantidade de adsorvente pode variar a partir de 10 GSM a 500 GSM mas mais especificamente estará dentro de 150 a 300 GSM dependendo do adsorvente, o método de aderir o adsorvente ao substrato, a densidade de volume de adsorvente e o uso, se houver, do aglutinante/cola.

[0121]No trocador de calor adsorvente híbrido, embora a superfície do trocador de calor tenha adsorvente aderido à mesma por meios e métodos explicados acima mas não limitados aos mesmos, na presente invenção, o adsorvente é carregado dentro dos espaços da superfície estendida da aleta do trocador de calor. A escolha do tipo e dos métodos de disposição dos referidos adsorventes podem ser como a seguir:

[0122]Adsorvente granular naturalmente plano, de tamanho de malha adequado, por exemplo, sílica gel

[0123]Adsorvente na forma de pó mas produzido em grânulos de malha adequada.

[0124]Adsorvente adere a um substrato, como uma folha, ou como folha vidro ou em qualquer outro formato, por exemplo, enrugado, quadrado/retangular, triangular etc. com ou sem aditivação, com ou sem aditivos termicamente condutores tais como grafite expandido, grafeno etc.

[0125]Na presente invenção do trocador de calor híbrido, testes extensivos têm sido realizados usando sílica gel granular. Na aplicação de refrigeradores do tipo

de adsorção, embora haja uma escolha de muitos pares de trabalho de adsorvente e refrigerantes, os mais tipicamente e comumente usados ou empregados são o par de sílica gel-água. Na maioria dos refrigeradores do tipo de adsorção em fabricação e também em pesquisas sendo realizadas nesse campo pelo mundo, a notável sílica gel de escolha é e tem sido a alta densidade granular ou sílica gel em grânulos como oferecida pela Fuji Sylsia Co. Ltd., Japan. O referido material tipicamente tem uma área de superfície na faixa de 600-800 m²/g e densidade de volume de 700-900 g/litro, dependendo de se o material é em contas ou granular, e se for granular no lado da malha.

[0126]A presente invenção também referencia um novo trocador de calor adsorvente híbrido com o trocador de calor de adsorvente tradicional usando sílica gel do tipo Fuji RD. A sílica gel do tipo Fuji RD, em virtude de suas características e cinéticas, se tornou o adsorvente de escolha para o par de sílica gel-água com base em refrigeradores do tipo de adsorção, globalmente, ambos em produção comercial e pesquisa. Os requerentes aqui também desenvolveram uma sílica gel proprietária de marca S2, a qual através de testes extensivos, tem mostrado um notável desempenho potencial como um adsorvente para refrigeradores do tipo de adsorção com base em sílica gel-água. Exemplos de seu desempenho e cinéticas são mostrados nas figuras 7-11.

[0127]A capacidade de adsorção do par de adsorvente/refrigerante depende das propriedades porosas (tamanho do poro, volume do poro e diâmetro de poro) do adsorvente e das características isotérmicas do par. As propriedades porosas de vários zeólitos, sílicas géis, carbonos ativados, alumina ativada, MOFs (estruturas orgânicas de metal), COFs (estruturas orgânicas covalentes), e FAMs (materiais adsorventes funcionais) são apresentadas sendo determinadas a partir de isotermias de adsorção de nitrogênio. As medições padrão de adsorção/dessorção de gás nitrogênio em vários adsorventes em nitrogênio líquido de temperatura 77.4 K são

realizadas. A área de superfície de cada adsorvente é determinada pelo gráfico de Brunauer, Emmett e Teller (BET) de dados de adsorção de nitrogênio. A Tabela 1 mostra a área de superfície, volume de poro e aparente densidade de sílica gel (tipo A e RD), fibras de carbono ativado de tipo FX-400 e A 20, carbono ativado granular, carbono ativado em pó do tipo Maxsorb III e dois diferente MOFs. Como pode ser visto a partir da Tabela 1, a área de superfície de BET de Maxsorb III e MIL-101Cr são tão altas quanto 3140 e 4100 m²/g, respectivamente. Entretanto, a utilização de Maxsorb III e MIL-101Cr como adsorventes em refrigeradores comerciais do tipo de adsorção foi impedida principalmente em virtude do seu custo, que é acima USD 300 por kg. Por outro lado sílica gel foi usada em refrigeradores comerciais do tipo de adsorção e o custo das amostras de sílica gel é em torno de 10 – 15 USD por kg.

[0128]Tabela 1. Propriedades porosas de vários materiais adsorventes potenciais.

Adsorvente	Área de superfície (m ² ·g ⁻¹)	Volume de poro (cm ³ ·g ⁻¹)	Aparente densidade (g·cm ⁻³)
Sílica gel (tipo A)	650	0.28	0.73
Sílica gel (tipo RD)	720	0.37	0.7
Sílica gel (tipo S2)	700	0.34-	0.73
Fibra de carbono ativado (FX 400)	700-2500	0.5-1.4	0.3
Fibra de carbono ativado (A-20)	1900	1.028	0.25
Carbono ativado granular	700-1500	0.5-1.0	0.4
Carbono ativado altamente poroso (Maxsorb III)	3140	1.7	0.31
Zr ₆ O ₄ (OH) ₄ (Ligante) ₆	2064	0.97	-
MIL-101Cr	4100	2.0	

[0129]Retornando agora para as figuras 7 em diante, as representações gráficas exibem a maior capacidade adsorvente da presente invenção.

[0130]A figura 7 mostra a isotermias de adsorção do par de sílica gel S2/água e os pares de S2 revestido/água adsorvente/refrigerante para a temperatura de adsorção de 30°C e faixas de pressão a partir de 0,7 a 3,8 kPa. Para a referida isoterma de adsorção, a temperatura da amostra de adsorvente é mantida constante

quanto a temperatura do evaporador aumenta em etapas até que a pressão relativa alcance acima de 0,9. Pode ser visto a partir da figura 7 que, a capacidade de adsorção do par de sílica gel S2/água é tão alta quanto $0,34 \text{ kg kg}^{-1}$ em temperatura de adsorção de 30°C e pressão em torno de 3.6 kPa. A capacidade de adsorção do par de sílica gel S2/água revestido é similar àquele do par parente S2/água. Pode ser observado que, para ambos os pares parente S2/água e revestido S2/água, a capacidade de adsorção aumenta de forma linear com o aumento de pressão em toda a faixa estudada.

[0131]As figuras 8 e 9 mostram os dados de captação de adsorção do par de sílica gel S2/água para temperaturas $30 - 70^{\circ}\text{C}$ e pressão de até 5 kPa e 15 kPa, respectivamente. A faixa de pressão inicial é adequada para aplicações de refrigeração de adsorção e as pressões relativamente mais altas são necessárias para aplicações de adsorção de dessalinização. Como pode ser observado a partir das figuras 8 e 9, os valores de captação de adsorção aumentam de forma linear com o aumento em pressão para todas as temperaturas de adsorção medidas, o que implica em que o papel do parente sílica gel S2/água é adequado tanto para refrigeração de adsorção quanto para aplicações de dessalinização.

[0132]A figura 10 mostra as isotermias de adsorção do par de sílica gel S2/água e do par de sílica gel RD/água para temperaturas entre 30 e 70°C e pressão de até 5 kPa, que é a faixa de operação dos refrigeradores do tipo de adsorção com base em sílica gel/água. É evidente a partir da figura 10 que os dados de isotermias de adsorção dos pares de sílica gel S2/água e sílica gel RD/água são comparáveis e se pode escolher ou adsorvente dependendo do custo e da disponibilidade do adsorvente.

[0133]As figuras 11(a), 11(b) e 11(c) mostram os perfis temporais de captação de adsorção e de pressão do par de sílica gel S2/água em temperaturas de adsorção de 30 , 50 e 70°C , respectivamente. É visível a partir das figuras 11(a) –

11(c) que a adsorção cinética do par estudado é relativamente mais rápida em estágios precoces dos processos de adsorção. Ademais, mais do que 80% da captação total ocorre dentro dos primeiros 5 minutos e assim o par de sílica gel S2/água parece ser adequado para aplicações de refrigeração de adsorção.

[0134]O ponto de partida para a produção de um trocador de calor por adsorção de acordo com a presente invenção é primeiramente a estrutura de trocador de calor que é produzida em separado. A mesma é produzida de acordo com o método conhecido a partir de materiais de alta condutividade térmica. Adequados para esse fim foram provados ser os sistemas metálicos tais como os produzidos de cobre, alumínio, carbono, plástico reforçado ou aço especial. Materiais cerâmicos ou sistemas combinados de materiais são também possíveis.

[0135]Estruturas adequadas de trocadores de calor realizam um sistema de circulação para um meio de veículo de calor que é em conexão com a área externa de um trocador de calor por adsorção. Em adição, fios de aquecimento ou outras fontes de calor podem ser embutidos para aquecer a estrutura dos trocadores de calor. De modo a produzir a superfície maior possível em direção do sistema de material absorvente, uma estrutura similar a lamela ou em forma de favo de mel é preferida. A mesma pode também ser na forma de uma esponja ou uma espuma. Com base na referida estrutura de trocador de calor que é produzida separadamente primeiro, um revestimento interno com material absorvente é agora realizado como a seguir.

[0136]Em uma primeira etapa do método, uma camada de adesivo é aplicada na parede do trocador de calor voltada em direção do material absorvente, que aqui posteriormente deve ser referido como parede interna. Um adesivo é usado para esse fim o que forma uma camada sólida primeiramente. Para realizar a referida camada de adesivos é possível se usar diferentes métodos tais como imersão, inundação ou pulverização. A etapa do método de revestimento adesivo

pode ser adicionalmente repetida para se ajustar uma espessura ótima da camada. É especialmente vantajoso com relação a isso se ajustar a viscosidade do adesivo aplicado por temperar ou por enriquecer ou por evaporação com solventes, por exemplo. É alternativamente também possível se aplicar o adesivo em um estado de pó sólido nas paredes do trocador de calor. O referido revestimento de pó é especialmente útil em estruturas planas de trocadores de calor.

[0137]O trocador de calor pode adicionalmente ser carregado primeiramente com adesivo em pó que é então ativado por aquecimento da estrutura de trocador de calor em regiões do trocador de calor próximas da parede, de modo que há uma ligação na párea próxima das paredes e a subsequente remoção de material adesivo em pó de não adesão a partir das áreas remotas das paredes é possível por agitar, soprar ou enxaguar. Independente da escolha de adesivo ou do método de aplicação escolhido, a camada de adesivo na região próxima da parede deve aderir pelo menos em um modo estável que durante a subsequente etapa do método na qual o material absorvente é introduzido no trocador de calor não haja uma mistura que prejudique a funcionalidade do adesivo do material absorvente.

[0138]Após as etapas de revestimento serem completadas e o revestimento nas porções metálicas ser seco, os espaços intersticiais podem ser carregados com material granular adsorvente convencional, ou com folhas de fibra de vidro que são impregnadas com o material adsorvente (ou onde o adsorvente é formado in situ usando tecnologia proprietária dos requerentes). Contrário às descrições da técnica, o desempenho de transferência de calor do presente trocador de calor híbrido é de modo significativo alta sobre aquela que tem sido até agora conhecida na técnica.

[0139]Estudos mostraram que o desempenho de transferência de calor do dispositivo de trocador de calor híbrido da presente invenção é de modo significativo mais alto do que os de ou de dois sistemas da técnica anterior atualmente oferecidos – que usam ou um leito granular ou um sistema de aleta revestida em isolamento.

[0140]A principal dificuldade das bombas de adsorção de calor é a pobre transferência de calor entre os materiais adsorventes e os meios de transferência de calor ou seja, o meio de refrigeração para o processo de adsorção e meio de aquecimento para o processo de dessorção. Elementos convencionais de trocadores de calor do tipo de adsorção ou o modo convencional de empacotamento dos materiais de elemento de adsorção é empacotar o adsorvente em torno do tubo do trocador de calor dotado de aletas. O referido método é amplamente usado em virtude da simplicidade de fabricação e de limitação na tecnologia de fixação ou revestimento do adsorvente às aletas do trocador de calor.

[0141]O revestimento efetivo dos materiais adsorventes nas superfícies estendidas do trocador de calor pode grandemente aprimorar o mecanismo de transferência de massa e de calor do elemento de adsorção dos ciclos de adsorção. Duas notáveis características ou vantagens de modo significativo do elemento revestido dos trocadores de calor do tipo de adsorção são (1) o aprimoramento em cinéticas de adsorção por meio da efetiva transferência de calor e (2) a redução em massa térmica. A principal contribuição da primeira característica é a redução no tempo do ciclo ao mesmo tempo em que uma massa menos térmica diretamente se transforma para o melhor desempenho ou coeficiente de desempenho (COP). As referidas duas características aprimoram de modo sinérgico o ciclo de adsorção não só energeticamente, mas também em termos de pegada e ainda mais importante a redução do custo de capital.

[0142]A figura 13 mostra a capacidade de refrigeração e o COP de um refrigerador de adsorção usando o método de empacotamento convencional, o método revestido de adsorvente avançado e os trocadores de calor híbridos revestidos de adsorvente. Deve ser observado que o evaporador e o condensador permanecem os mesmos para ambos os casos. É observado que os tipos de adsorvente-revestido e adsorvente-revestido híbrido proporcionam significante

aprimoramento de desempenho.

[0143]O coeficiente geral de transferência de calor do trocador de calor de adsorvente-revestido e do trocador de calor adsorvente-revestido híbrido avançado é em torno de 350 a 350 W/m²K dependendo da configuração do elemento de adsorção/elemento de dessorção. A figura 14 mostra os perfis de temperatura dos principais componentes de um refrigerador de adsorção para o coeficiente geral de transferência de calor de 350 W/m²K. Como pode ser visto a partir de A figura 14, todos os quatro trocadores de calor funcionam de modo eficiente e o refrigerador produz um efetivo resfriamento em virtude da mais rápida cinética de adsorção que resultou a partir da aprimorada transferência de calor e menor massa térmica.

[0144]A figura 15 mostra as comparações de desempenho de refrigerador de adsorção para grânulo, trocadores de calor revestido de adsorvente e híbrido. As comparações de desempenho foram produzidas em termos de potência de refrigeração específica (SCP), coeficiente de desempenho (COP) e eficiência volumétrica. Como pode ser visto a partir da figura 15, os valores de SCP e COP para os trocadores de calor do tipo revestido e híbrido são comparáveis. Entretanto, o SCP aumenta cerca de 8% e COP aumenta mais do que 100% no caso de trocadores de calor do tipo revestido e híbrido em virtude das cinéticas mais rápidas e de menos massa térmica. Por outro lado, a eficiência volumétrica do trocador de calor híbrido é de cerca de 35% mais alta do que o trocador de calor do tipo de grânulo e cerca de 18% mais alta do que aquela do trocador de calor revestido de adsorvente em virtude da maior massa de adsorvente no mesmo volume o que resulta em mais potência de refrigeração e assim de modo significativo contribui na redução da pegada do sistema de adsorção e custo de capital.

[0145]Outra vantagem da presente invenção que foi observada a partir dos estudos conduzidos é que a capacidade específica do dispositivo de trocador de calor híbrido da presente invenção é de modo significativo melhor do que a dos

elementos de adsorção da técnica anterior. A figura 12 é uma representação comparativa da capacidade específica, em termos de Watts de refrigeração por litro de trocador de calor de adsorvente, ambos para os elementos de adsorção da técnica anterior e a capacidade específica potencial com diferentes trocadores de calor híbridos da presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de troca de calor de adsorção híbrido (100), compreendendo:
pelo menos uma estrutura tubular ou de micro canal (102) para transportar um fluido de transferência de calor;

uma superfície externa da referida estrutura (102) sendo proporcionada com extensões (104) em pelo menos dois locais;

CARACTERIZADO pelo fato de que

as referidas extensões (104) formando um leito (106) entre as mesmas para proporcionar um ou mais materiais adsorventes (108);

um revestimento (110) de material adsorvente sendo proporcionada em pelo menos uma parte das referidas extensões (104),

em que o material adsorvente (108) preenche o leito adsorvente (106) compreendendo grânulos adsorventes ou uma folha com adsorvente revestido ou depositado ou impregnado ou gerado in situ.

2. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) percorrem longitudinalmente ao longo do comprimento total da estrutura tubular ou de micro canal (102).

3. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) percorrem circunferencialmente em torno da estrutura tubular ou de micro canal (102).

4. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1 a 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a altura de cada extensão (104) permanece uniforme ao longo de todo o seu comprimento.

5. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1 a 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a estrutura tubular ou de micro canal (102) e as extensões (104) são integrais.

6. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1 a 4,

CARACTERIZADO pelo fato de que as extensões (104) são conectadas à estrutura tubular ou de micro canal (102) por conectores externos (104).

7. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a estrutura tubular ou de micro canal (102) e as extensões (104) são produzidos do mesmo material.

8. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1 a 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a estrutura tubular ou de micro canal (102) e/ou as extensões (104) compreendem um material de condução de calor selecionado a partir de material com base metálica, com base cerâmica, polimérica ou com base em carbono.

9. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada extensão (102) é revestida com um adsorvente (110) sendo o mesmo ou diferente a partir do preenchimento de adsorvente (108) no leito.

10. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) proporcionado no referido leito é selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $\text{Zr}_6\text{O}_4(\text{OH})_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos

11. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) compreende grânulos adsorventes tendo um diâmetro de poro na faixa de 3 a 100 Angstrom.

12. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente compreende folhas enrugadas com adsorvente revestido ou depositada nas mesmas.

13. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as folhas enrugadas são produzidas de um material termicamente condutor selecionado a partir do grupo que consiste de alumínio, cobre, grafite/grafite expandido, substratos de fibra inorgânica ou orgânica ou quaisquer combinações dos mesmos

14. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 12 e 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as referidas folhas enrugadas compreendem folhas perfuradas.

15. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 10 a 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente compreende uma combinação de grânulos adsorventes e adsorvente revestido ou folhas depositadas.

16. Dispositivo (100), de acordo com o reivindicado em qualquer reivindicação precedente, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) são enrugadas na superfície externa do mesmo antes de revestimento com material adsorvente.

17. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) são revestidas com um material adsorvente (110) selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $\text{Zr}_6\text{O}_4(\text{OH})_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

18. Dispositivo (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o fluido de transferência de calor é selecionado a partir do grupo que consiste de água, álcoois inferiores, e óleos, e semelhante.

19. Dispositivo (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108, 110) é proporcionado com uma ou mais cargas selecionadas a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

20. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a referida carga é uma carga aditivada, em que o agente de aditivação é selecionado a partir do grupo que consiste de sais de metais inorgânicos tais como cloreto de cálcio, brometo de lítio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, nitrato de cálcio, cloreto de manganês, e semelhante

21. Dispositivo (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que além do material adsorvente (108) no leito (106), um ou mais aditivos selecionados a partir do grupo que consiste de cobre alumínio, grafite/grafite expandido, e semelhante são adicionados para aumentar a condutividade térmica.

22. Dispositivo (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que uma malha polimérica (112) é proporcionada sobre o leito adsorvente.

23. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a malha polimérica (112) é uma malha de polianilina.

24. Método para a fabricação de um dispositivo (100) de troca de calor de adsorção híbrido (100), o referido método compreendendo:

-revestir pelo menos parte de um material termicamente condutor com um

adsorvente;

-converter pelo menos material termicamente condutor parcialmente revestido na estrutura tubular (102) para transportar um fluido de transferência de calor, e proporcionar duas ou mais extensões (104) no mesmo, as referidas extensões (104) sendo ou integrais com a referida estrutura tubular (102) revestida, ou compreendendo pelo menos parcialmente material adsorvente termicamente condutor revestido, as referidas extensões (104) formando um leito adsorvente entre as mesmas;

CARACTERIZADO pelo fato de que

-proporcionar um ou mais material adsorvente (108) no referido leito adsorvente (106),

em que o material adsorvente (108) preenche o leito adsorvente (106) compreendendo grânulos adsorventes ou uma folha com adsorvente revestido ou depositado ou impregnado ou gerado in situ.

25. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada extensão (104) é revestida com um adsorvente (110) sendo o mesmo ou diferente a partir do adsorvente (108) que preenche o leito.

26. Método, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) proporcionada no referido leito (106) é selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

27. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) compreende grânulos adsorventes tendo um

diâmetro de poro na faixa de 3 a 100 Angstrom.

28. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) compreende folhas enrugadas com adsorvente revestido ou depositada nas mesmas.

29. Método, de acordo com a reivindicação 28, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as folhas enrugadas são produzidas de um material termicamente condutor selecionado a partir do grupo que consiste de alumínio, cobre, grafite/grafite expandido, substratos de fibra inorgânica ou orgânica ou quaisquer combinações dos mesmos.

30. Método, de acordo com a reivindicação 28 e 29, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as referidas folhas enrugadas compreendem folhas perfuradas.

31. Método, de acordo com a reivindicação 26 a 29, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108) compreende uma combinação de grânulos adsorventes e adsorvente revestido ou folhas depositadas.

32. Método, de acordo com qualquer reivindicação precedente 24 a 31, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) são enrugadas na superfície externa das mesmas antes do revestimento com o adsorvente.

33. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as extensões (104) são revestidas com um material adsorvente (110) selecionado a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

34. Dispositivo de método, de acordo com qualquer reivindicação precedente 24 a 33, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o fluido de transferência de calor é

selecionado a partir do grupo que consiste de água, álcoois inferiores, e óleos, e semelhante.

35. Método, de acordo com qualquer reivindicação precedente de 24 a 34, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material adsorvente (108, 110) é proporcionado com uma ou mais cargas selecionadas a partir do grupo que consiste de zeólitos, silicatos mesoporosos, silicatos de metal insolúvel, sílica gel tipo A, sílica gel tipo RD, sílica gel tipo S2, fibra de carbono ativado, carbono ativado granular, alumina ativada, carbono ativado altamente poroso, $Zr_6O_4(OH)_4$ ligado com ligantes, MIL-101Cr, estruturas orgânicas de metal, estruturas orgânicas covalentes, materiais adsorventes funcionais, e semelhante, de modo singular ou em qualquer combinação dos mesmos.

36. Método, de acordo com a reivindicação 35, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a referida carga é uma carga aditivada, em que o agente de aditivação é selecionado a partir do grupo que consiste de sais de metais inorgânicos tais como cloreto de cálcio, brometo de lítio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, nitrato de cálcio, cloreto de manganês, e semelhante.

37. Método, de acordo com qualquer reivindicação precedente de 24 a 36, **CARACTERIZADO** pelo fato de que além do material adsorvente (108) no leito, um ou mais aditivos selecionados a partir do grupo que consiste de cobre alumínio, grafite/grafite expandido são também adicionados para aumentar a condutividade térmica.

38. Método, de acordo com qualquer reivindicação precedente 24 a 37, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a malha polimérica (112) é proporcionada sobre o leito adsorvente.

39. Método, de acordo com a reivindicação 38, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a malha polimérica (112) é uma malha de polianilina.

40. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato

de que o leito adsorvente (106) é proporcionado com um substrato revestido com dessecante em que o dessecante é revestido ou impregnado ou gerado in situ sobre o substrato.

41. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dessecante é fixado ao substrato através de aglutinante de não mascaramento ou de cola ou uma combinação dos mesmos.

42. Dispositivo (100), de acordo com o reivindicado em qualquer uma das reivindicações precedentes 1 a 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que é para uso em um ambiente que necessite de armazenamento periódico ou temporário e subsequente liberação de adsorbato tal como água.

43. Dispositivo (100), de acordo com a reivindicação 42, **CARACTERIZADO** pelo fato de ser uma máquina de refrigeração de adsorção, feixes de refrigeração, uma unidade de condicionamento de ar automotiva, uma unidade de condicionamento de ar integral doméstica, uma unidade de condicionamento de ar a nível de Split doméstica, e semelhante.

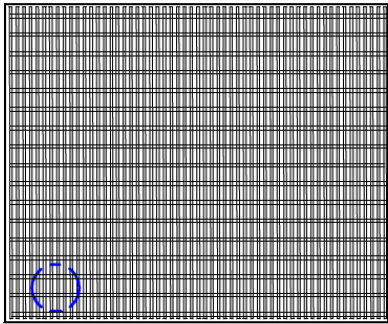


Fig. 1

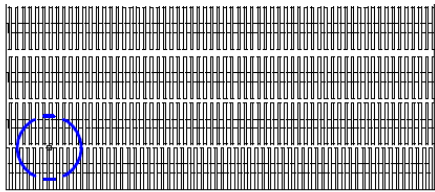


Fig. 2

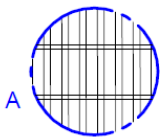


Fig. 1(a)

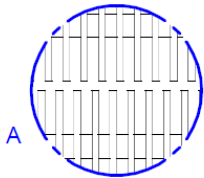


Fig. 2(a)

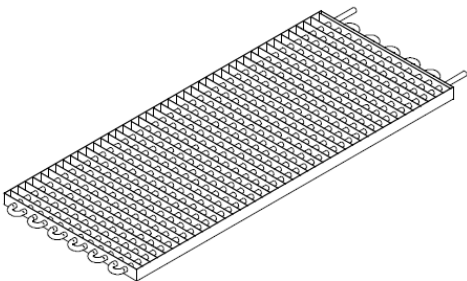


Fig. 1(b)

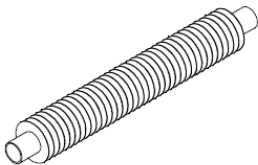


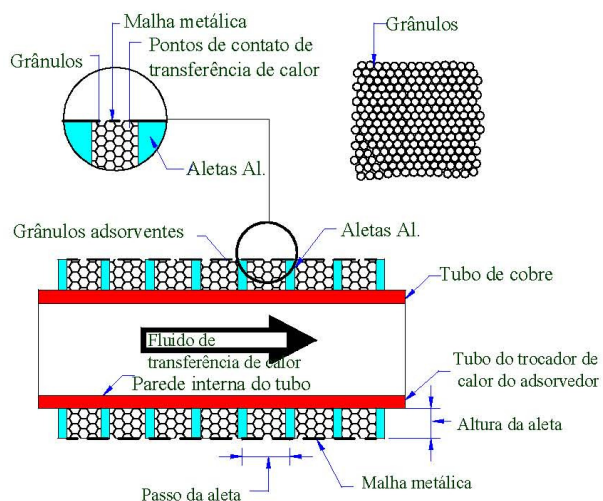
Fig. 2(b)

Trocador de calor de adsorvedor de bloco dotado de aletas

Trocador de calor de adsorvedor de tubos dotados de aletas em espiral

Trocadores de calor de leito de adsorvedor típico

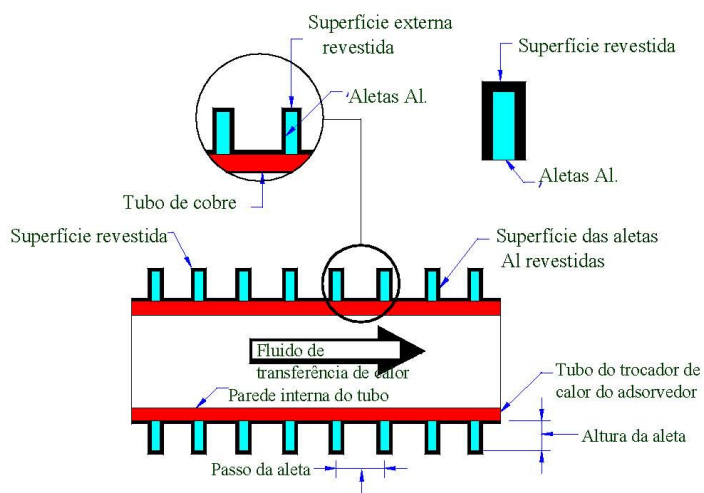
Trocador de calor de leito de adsorvedor carregado com grânulos adsorventes



Técnica anterior

Fig. 3(a)

Leito do adsorvedor revestido com adsorvente



Técnica anterior

Fig. 3(b)

Trocador de calor de leito de adsorvedor revestido com adsorvente +
carga com grânulos adsorvente

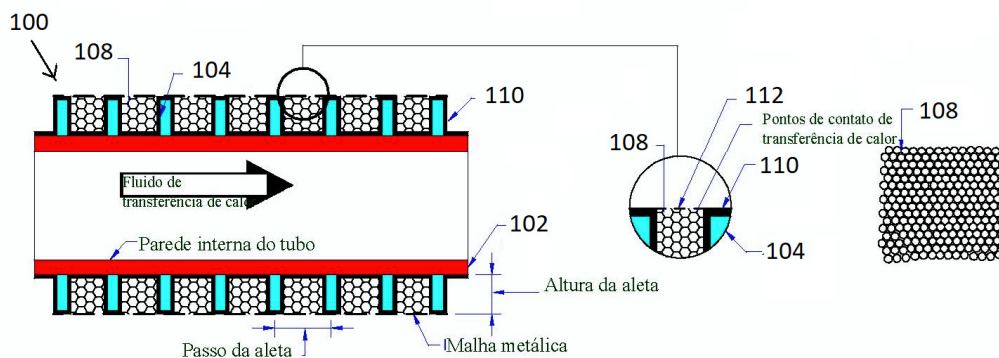


Fig. 4(a)

Trocador de calor de leito de adsorvedor revestido com adsorvente +
carga com substrato revestido com adsorvente

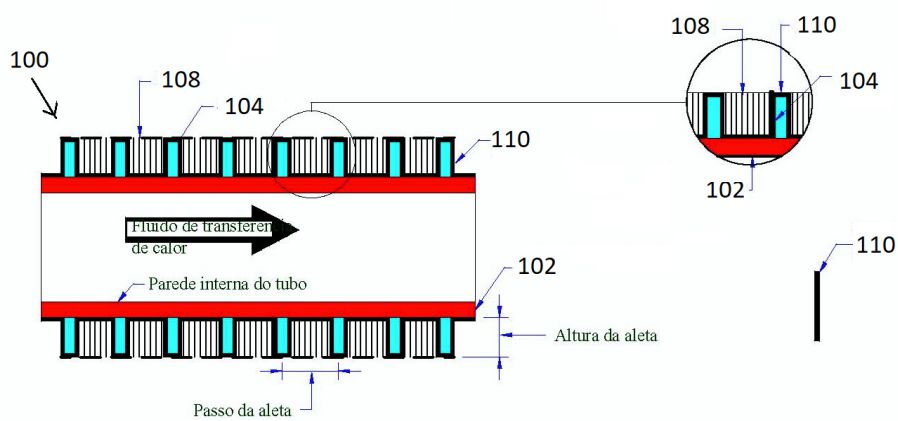


Fig. 4(b)

Trocador de calor de leito de adsorvedor revestido com adsorvente +
carga com substrato revestido com adsorvente

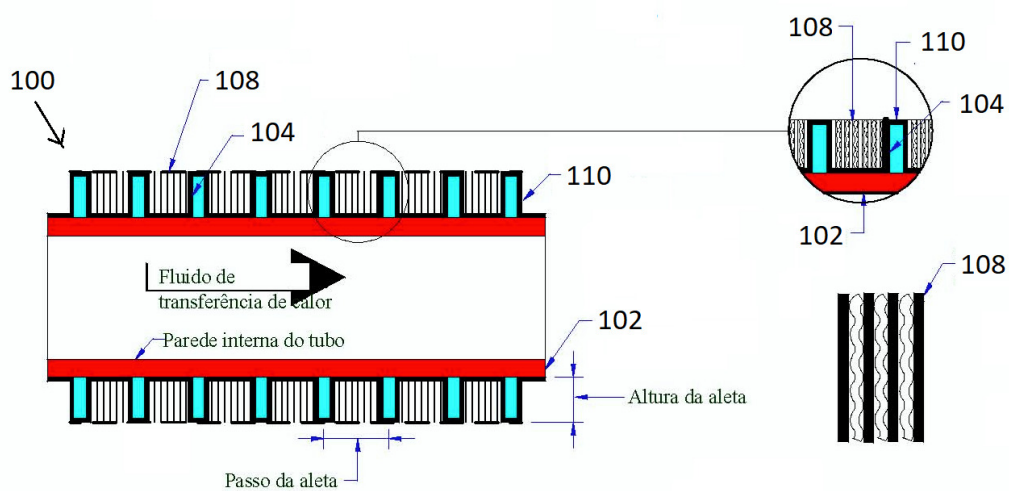


Fig. 4(c)

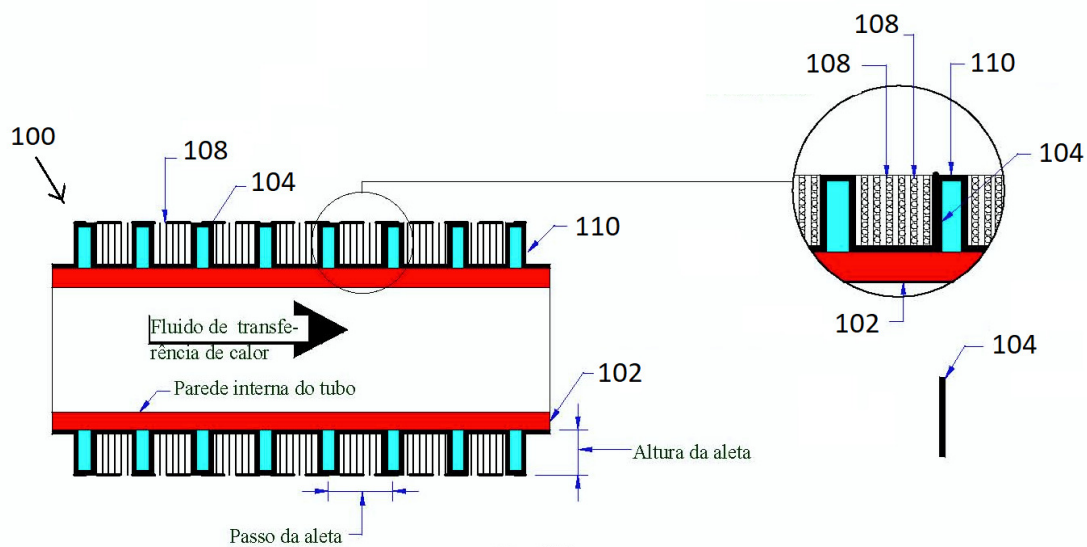


Fig. 4(d)

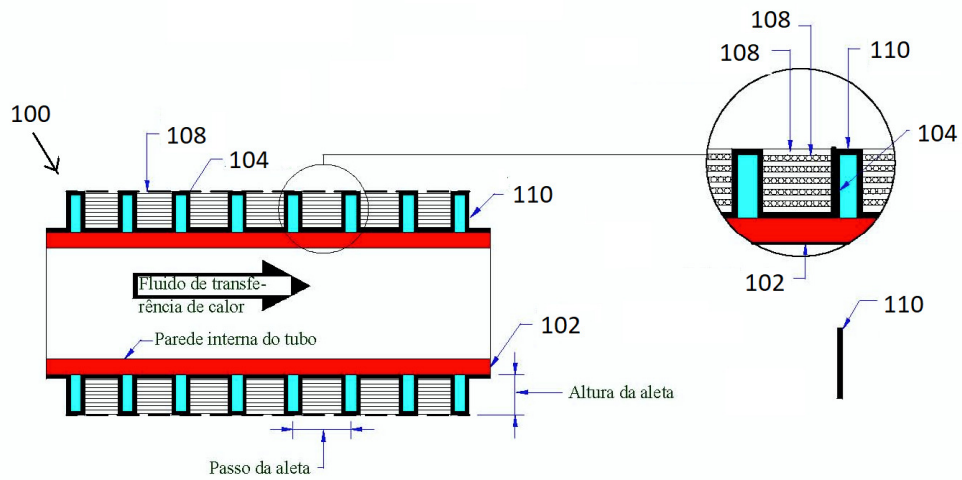


Fig. 4(e)

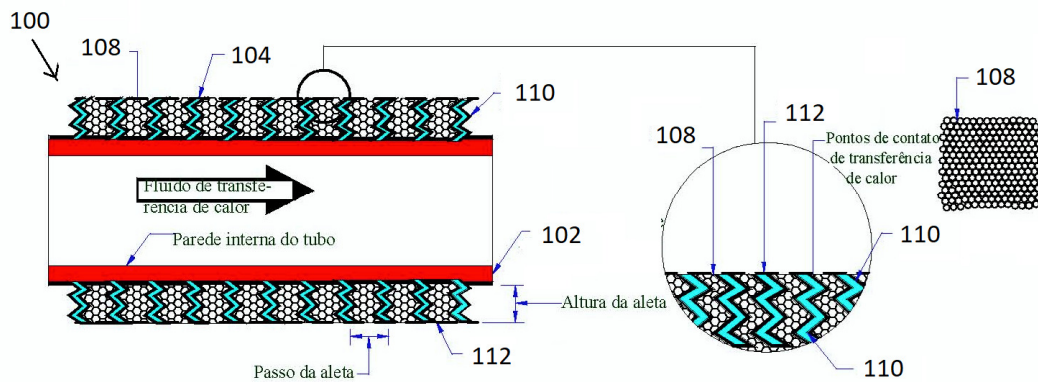


Fig. 4(f)

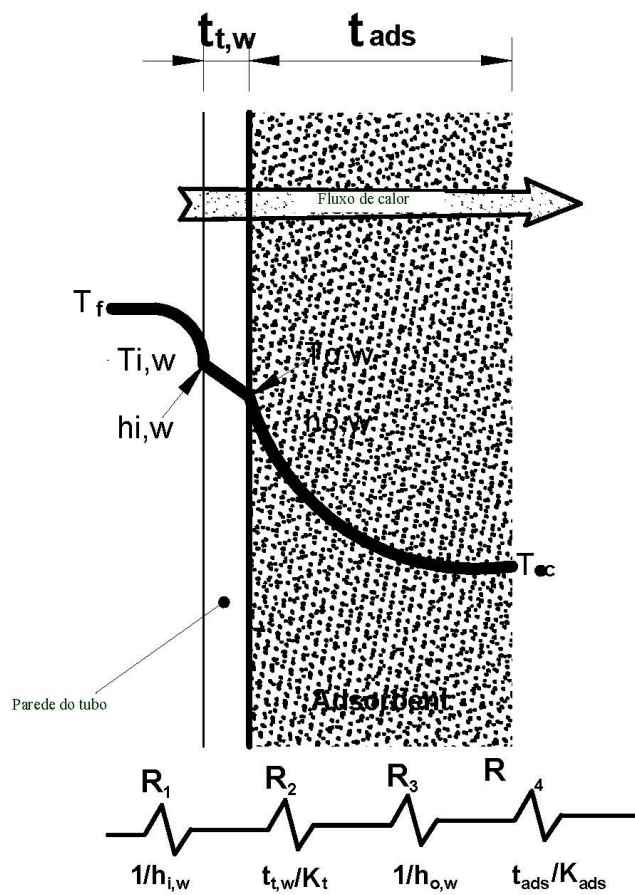


Fig. 5

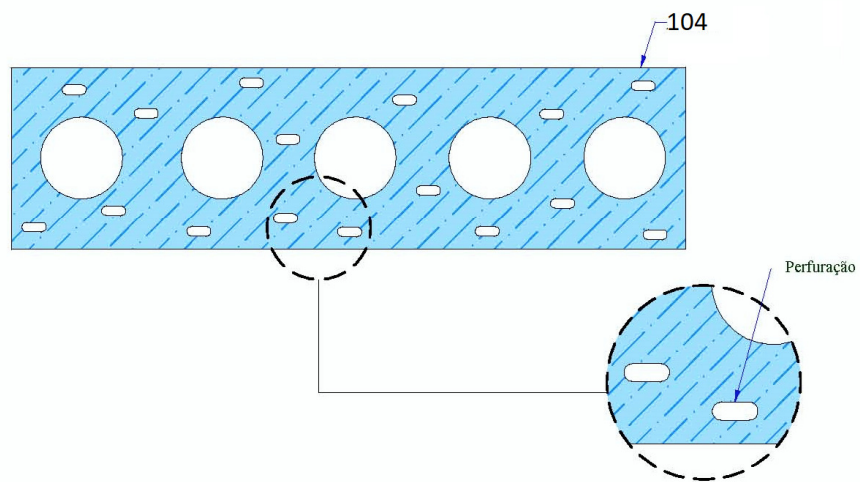


Fig. 6

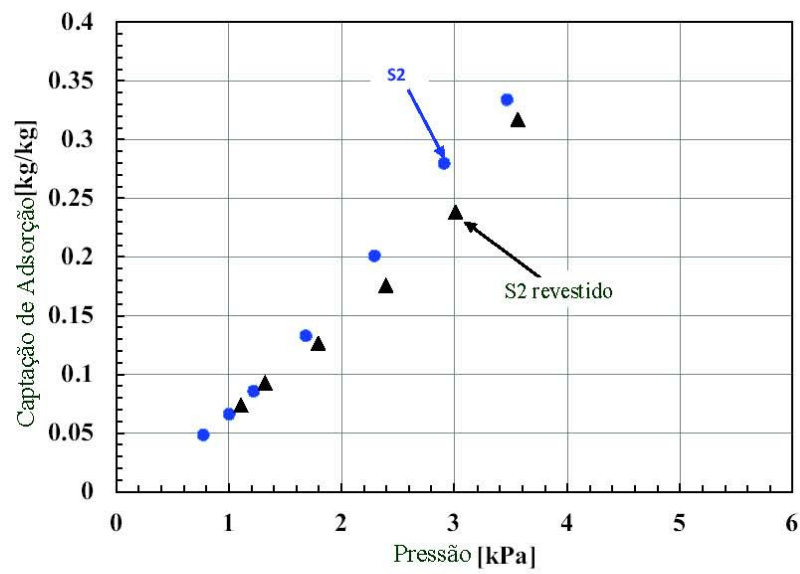


Figura 7. Isoterma de adsorção de água sobre S2 e S2 revestida a 30°C

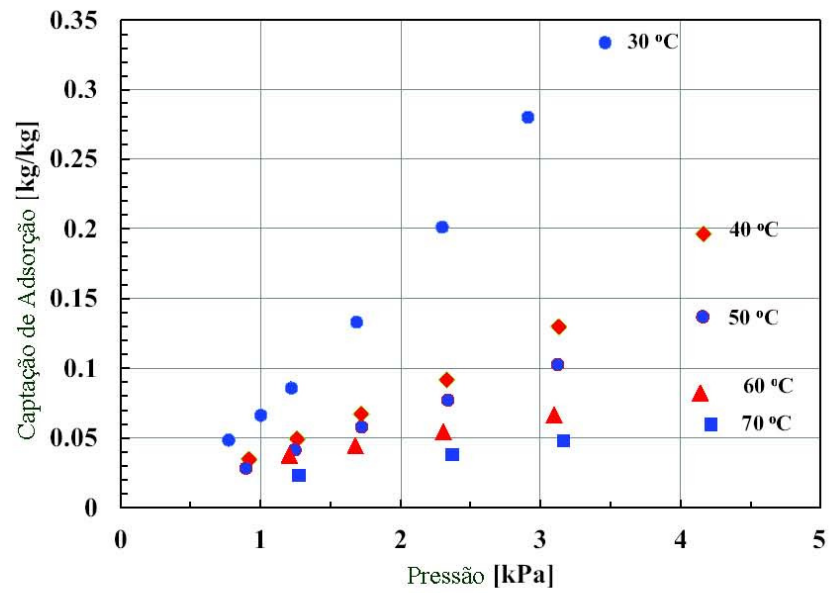


Figura 8. Isoterma de adsorção de água sobre S2 adsorvente (até 5 kPa)

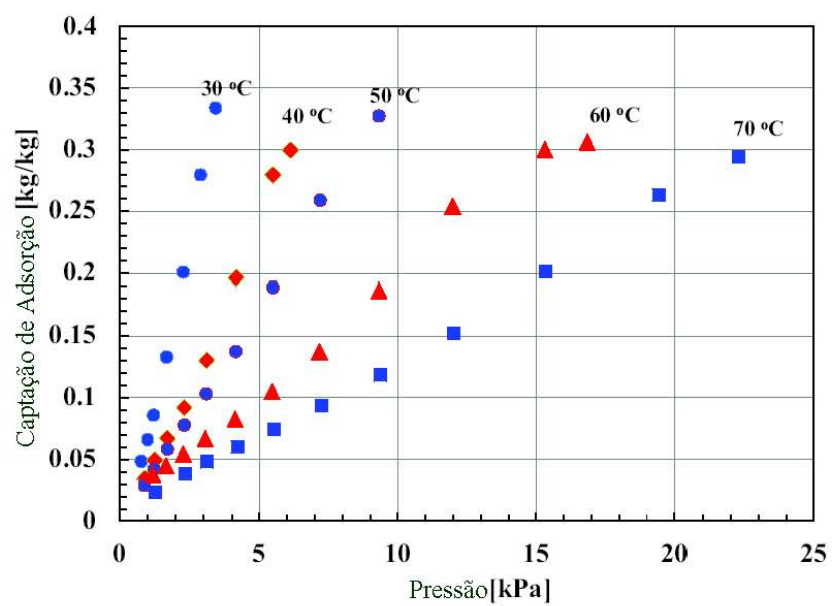


Figura 9. Isoterma de adsorção de água sobre S2 adsorvente

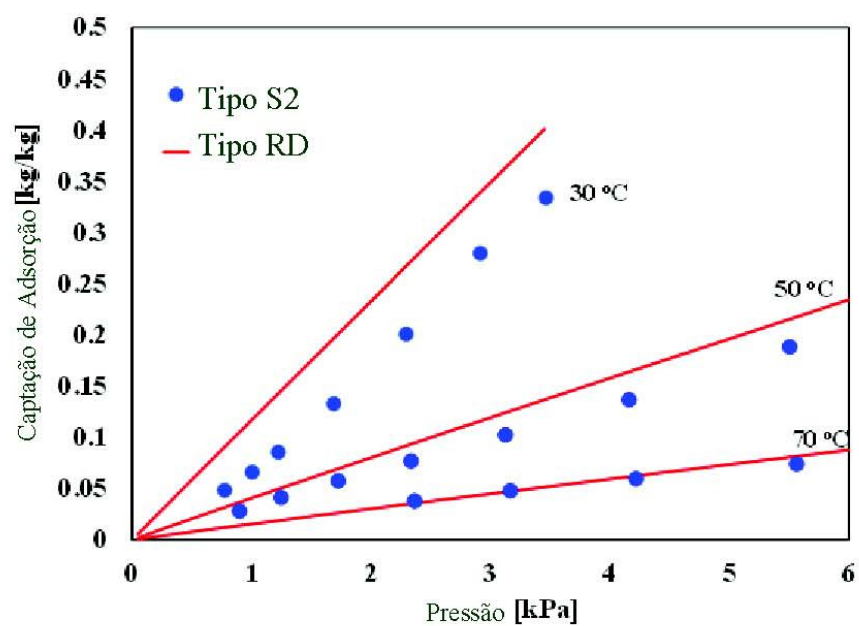


Figura 10. Isothermia de adsorção de água sobre tipo S2 e géis de sílica tipo Fuji RD

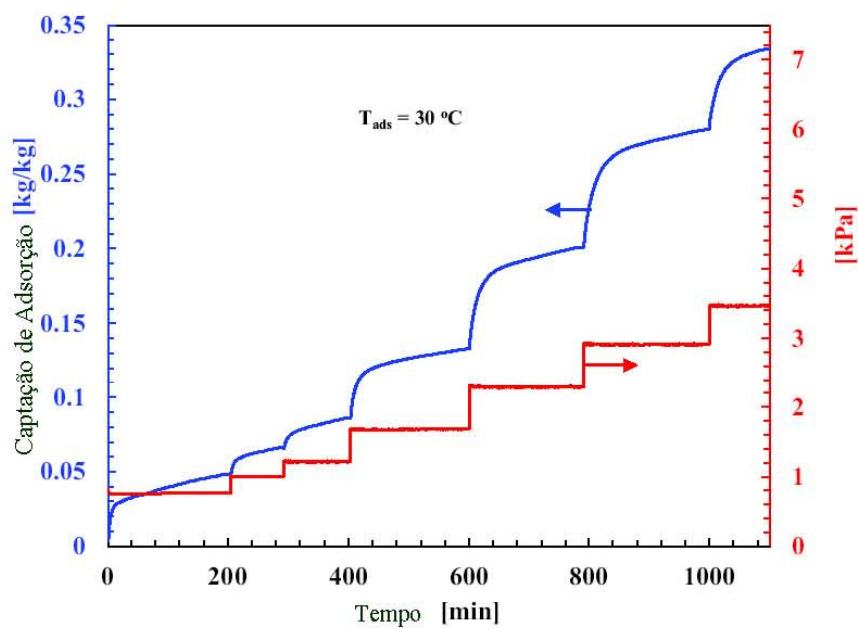


Figura 11 (A) Perfis de captação de adsorção e de pressão para o par de sílica gel do tipo S2/água em temperatura de adsorção de 30°C

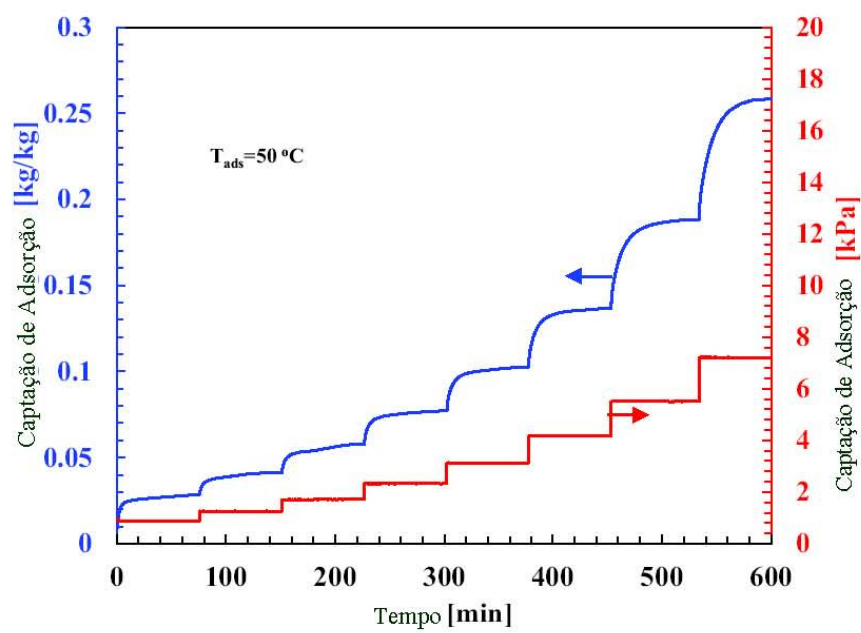


Figura 11 (B) Perfis de captação de adsorção e de pressão para o par de sílica gel do tipo S2/água em temperatura de adsorção de 50°C

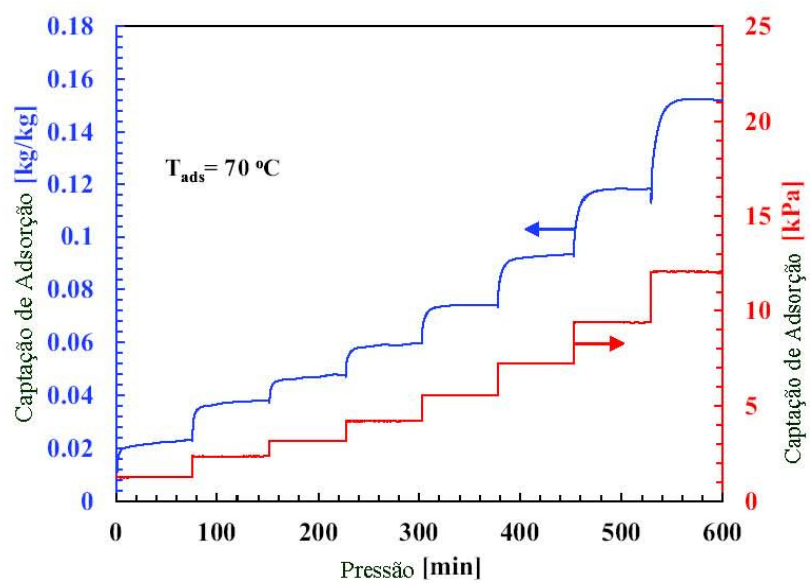


Figura 11 (C) Perfis de captação de adsorção e de pressão para o par de sílica gel do tipo S2/água em temperatura de adsorção de 70°C

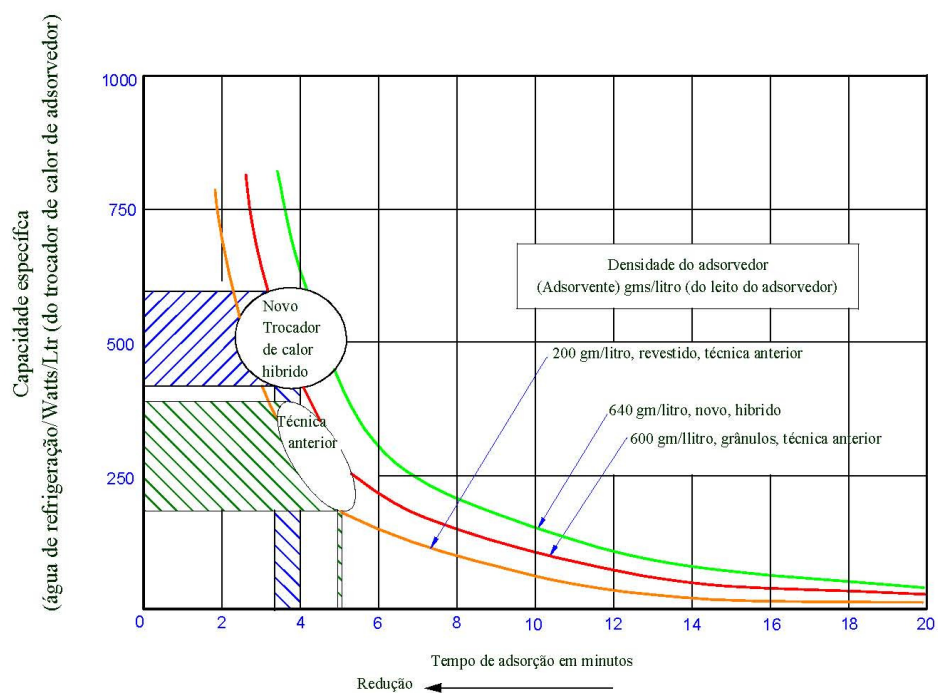


Figura 12 Representação comparativa da capacidade específica em Watts de refrigeração por litro do trocador de calor de adsorvente da técnica anterior e o novo trocador de calor de adsorção híbrido da presente invenção.

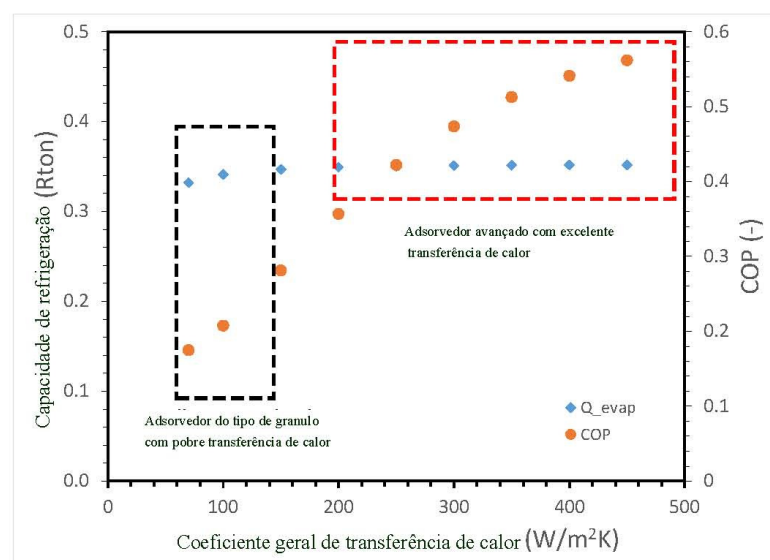


Figura 13 Desempenho do refrigerador de adsorção com diferentes tipos de configurações de trocador de calor de adsorvedor e transferência de calor dentro do adsorvedor

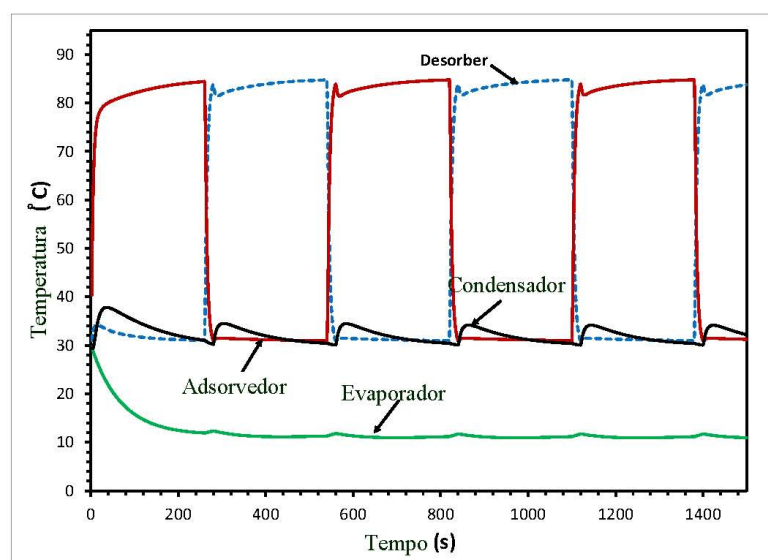


Figura 14 Os perfis de temperatura do refrigerador de adsorção usando adsorvente do tipo revestido transformando em coeficientes de transferência de calor geral aprimorada para adsorção e dessorção ($U_{ads} = 350 \text{ W/m}^2\text{K}$)

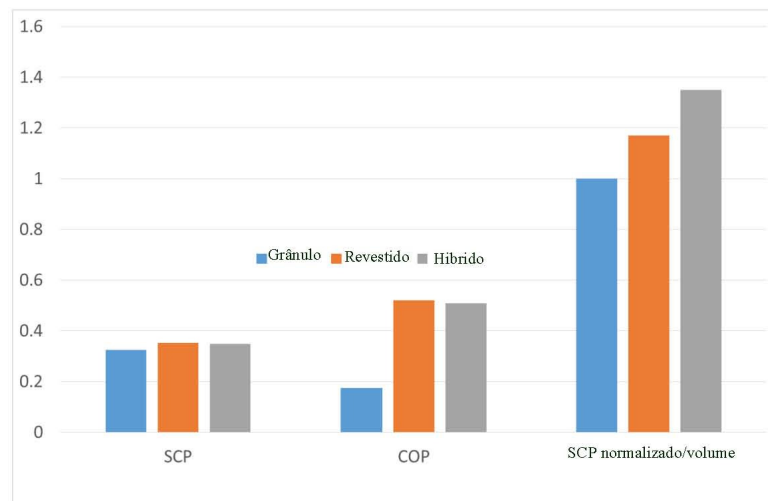


Figura 15 Comparação do desempenho de trocador de calor adsorvedor/dessorção do tipo híbrido e revestido com grânulos