



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

**(11) PI 0811622-9 B1**



**(22) Data do Depósito: 21/05/2008**

**(45) Data de Concessão: 15/09/2020**

**(54) Título:** SISTEMA E MÉTODO PARA REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO DE UMA ATMOSFERA E TERMOSTATO GLOBAL QUE COMPREENDE UMA PLURALIDADE DO DITO SISTEMA

**(51) Int.Cl.:** B01D 53/62.

**(30) Prioridade Unionista:** 06/07/2007 US 11/825.468; 21/05/2007 US 11/805.271; 22/05/2007 US 11/805.477.

**(73) Titular(es):** PETER EISENBERGER; GRACIELA CHICHILNISKY.

**(72) Inventor(es):** PETER EISENBERGER; GRACIELA CHICHILNISKY.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2008064311 de 21/05/2008

**(87) Publicação PCT:** WO 2008/144708 de 27/11/2008

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 13/11/2009

**(57) Resumo:** SISTEMA E MÉTODO PARA REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO DE UMA ATMOSFERA E TERMOSTATO GLOBAL QUE UTILIZA OS MESMOS. Um sistema para remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera para reduzir o aquecimento global que inclui um sistema de extração de ar que coleta dióxido de carbono da atmosfera através de um meio e remova o dióxido de carbono de meio; um sistema de sequestro que isola o dióxido de carbono removido em uma localização para pelo menos um de armazenamento e qual pode aumentar a disponibilidade de energia; e uma ou maus fontes de energia que abastecem calor de processo ao sistema de extração de ar para remover o dióxido de carbono do meio e o qual pode regenerá-lo para uso contínuo.

"SISTEMA E MÉTODO PARA REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO DE UMA ATMOSFERA E THERMOSTATO GLOBAL QUE COMPREENDE UMA PLURALIDADE DO DITO SISTEMA"

Campo da Invenção

[001]A presente invenção se refere a sistemas e métodos para a remoção de gases de efeito estufa de uma atmosfera, e em particular a sistemas e métodos para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera

Pedidos de Patente Relacionados/Requisição de Prioridade

[002]Esse pedido de patente é uma continuação-em-parte de, e requisita prioridade a partir de, cada um dos seguintes Pedidos de Patente US: (a) Pedido de Patente US com nº Série 11/825.468 (Número de Registro Legal 6236 104US), depositado em 6 de Julho de 2007, o qual por sua vez é uma continuação-em-parte de Pedido de Patente US com nº Série 11/805.477 (Número de Registro Legal 6236 103US), depositado em 22 de Maio de 2007, o qual por sua vez é uma continuação-em-parte dos Pedido de Patente US com nº Série 11/805.271 (Número de Registro Legal 6236 102US), depositado em 21 de Maio de 2007, (b) Pedido de Patente US com nº Série 11/805.477 (Número de Registro Legal 6236 103US), depositado em 22 de Maio de 2007, o qual é uma continuação-em-parte de Pedido de Patente US com nº Série 11/805.271 (Número de Registro Legal 6236 102US), depositado em 21 de Maio de 2007, e (c) Pedido de Patente US com nº Série 11/805.271 (Número de Registro Legal 6236 102US), depositado em 21 de Maio de 2007, todos dos quais são intitulados "Sistema e método para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e termostato global usando o mesmo". O conteúdo de cada um dos pedidos de patente supracitados é incorporado neste por referência.

Histórico da Invenção

[003]Há muita atenção concentrada atualmente na tentativa de se alcançar três objetivos relativos à energia e de algum modo relativos à energia conflitante: 1)

fornecer acessível energia para desenvolvimento econômico, 2) alcançar segurança de energia, e 3) evitar a mudança climática destrutiva causada por aquecimento global. Muitas abordagens diferentes estão sendo consideradas para se dirigir à mudança climática, inclusive o aumento do uso de fontes de energia renovável limpas e não poluentes tal como biocombustíveis, energia solar, eólica e nuclear, na tentativa de capturar e sequestrar as emissões de dióxido de carbono de usinas de combustível fóssil, assim como maiores esforços de preservação. Algumas destas abordagens, tal como energia solar, tiveram sua grande escala de execução bloqueada devido a seus atuais altos custos se comparados ao custo de eletricidade baseada em fóssil, e outras abordagens, tal como energia nuclear, são contidas por seus riscos de segurança e ambientais. Na verdade, a infra-estrutura e abastecimento para energia renovável é tão subdesenvolvido (por exemplo, apenas aproximadamente 0,01% de nossa energia é fornecida por energia solar) que não há nenhum modo praticável para se evitar o uso de combustíveis fósseis durante o resto desse século se tivermos a energia necessária para prosperidade econômica e evitar déficits de energia que poderiam levar a um conflito.

[004]A ameaça de mudança climática causada por aquecimento global e o reconhecimento mais geral de nossa necessidade de uso de fontes renováveis que não prejudiquem nosso planeta tem crescido firmemente desde o primeiro Earth Day em 1972. É principalmente indiscutível que um aumento na quantidade dos assim chamados gases de efeito estufa como dióxido de carbono (metano e vapor d'água são os outros principais gases de efeito estufa) irá aumentar a temperatura do planeta. Esses gases de efeito estufa ajudam a reduzir a quantidade de calor que escapa de nosso planeta para a atmosfera. Quanto maior as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera mais quente será o planeta. Há complicados feedbacks que fazem com que a quantidade de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa mudem naturalmente mesmo na ausência de impacto humano. A mudança

climática ao longo de história geológica tem causado muitas extinções. A preocupação acerca da ameaça de mudança climática induzida pelo ser humano (ou seja, aquecimento global) resultou no Protocolo de Kyoto que foi aprovado por mais de 165 países e é um acordo internacional que compromete os países desenvolvidos a reduzir suas emissões de carbono.

[005]Uma razão pela qual o aquecimento global é tido pelo Intergovernmental Panel in Climate Change (IPCC) como uma ameaça é por causa do aumento do nível do mar que resulta do degelo glacial e da expansão do oceano à medida que nosso planeta se torna mais quente. Centenas de milhões de pessoas que vivem logo acima do nível do mar em ilhas ou nas costas estão ameaçadas por enchentes destrutivas necessitando de realocação ou da construção de barreiras contra o mar se o nível do mar aumentar até mesmo um metro. Há também uma ameaça a outras espécies a partir da mudança climática a qual irá destruir ecossistemas que não podem se ajustar à veloz taxa de mudança climática causada pelo ser humano. Outras ameaças incluem crescentes doenças infecciosas e mais clima extremo assim como ameaças diretas pelo calor extremo.

[006]Nós podemos demonstrar o desafio de lidar com aquecimento global usando um modelo simples. Considerando que  $C_{CA}(Y_N)$  representa o dióxido de carbono acrescentado à atmosfera em ano  $Y_N$  em gigatoneladas per ano. De forma parecida, considerando que  $C_{EX}(Y_N)$  é igual à quantidade extraída,  $C_{EM}(Y_N)$  a quantidade emitida por seres humanos e  $C_N(Y_N)$  é a quantidade tanto acrescentada como removida devido a variações naturais no ciclo do carbono. Hoje, a terra armazena a cada ano aproximadamente 1,8 gigatoneladas ( $10^9$  toneladas) de dióxido de carbono e o oceano aproximadamente 10,5 gigatoneladas (note que o dióxido de carbono é 3,66 vezes mais pesado do que carbono), enquanto que a quantidade que os seres humanos acrescentam por emissões é de aproximadamente 24 gigatoneladas de dióxido de carbono. Mais geralmente, nós temos:

$$(1) C_{CA}(Y_N) = -C_{EX}(Y_N) + C_{EM}(Y_N) + C_N(Y_N)$$

$$(2) C_A(Y_{N+I}) = C_A(Y_N) + C_{CA}(Y_N)$$

onde  $C_A(Y_N)$  é a quantidade de carbono na atmosfera no ano  $Y_N$ , 2780 gigatoneladas de dióxido de carbono hoje. Outras formas de carbono contribuem para o aquecimento global, principalmente metano, embora por peso elas representem um pequeno componente.

[007]Se  $C_{EX}(Y_N)$  é determinado como zero então o único modo que alguém poderia possivelmente parar de acrescentar dióxido de carbono à atmosfera seria reduzir nossas emissões de modo a serem iguais à absorção natural. Entretanto,  $C_N(Y_N)$  ele mesmo varia muito e pode ser uma adição em rede à atmosfera a partir do ciclo natural muito maior do carbono o qual acrescenta e subtrai carbono a aproximadamente 750 gigatoneladas de carbono por ano. São as mudanças nesse equilíbrio natural que têm causado a mudança climática antes de nossa espécie existir e irão também continuar a fazê-lo no futuro. Assim, fica claro que não há nenhuma solução que apenas reduza as contribuições do ser humano para as emissões de dióxido de carbono que podem remover o risco de mudança climática. Com extração do ar e a capacidade de aumentar ou diminuir a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera uma pessoa pode a princípio compensar por outros gases de efeito estufa como metano que pode mudar suas concentrações e causar mudança climática.

[008]Consequentemente, há uma necessidade amplamente reconhecida por um sistema e método para reduzir a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera criado pela queima de combustíveis fósseis e pelo fornecimento de uma fonte de energia renovável de baixo custo e não poluente como uma substituta para os combustíveis fósseis.

### Resumo da Invenção

[009]Um sistema para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera

para reduzir o aquecimento global e o qual pode aumentar a disponibilidade de energia renovável ou produtos não-combustíveis, tais como fertilizantes e materiais de construção de acordo com uma modalidade exemplar da presente invenção compreende um sistema de extração de ar que coleta dióxido de carbono da atmosfera através de um meio e remova o dióxido de carbono do meio por usando calor de processo to calor o meio, um sistema de coleta que isola o dióxido de carbono removido a uma localização por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível renovável de carbono, e uma ou mais fontes de energia que fornece um abastecimento de calor de processo ao sistema de extração de ar para remover o dióxido de carbono do meio.

[0010]Em pelo menos uma modalidade, uma ou mais fontes de energia selecionadas a partir do grupo de fontes de energia que consiste em: combustível fósil, geotérmico, nuclear, solar, biomassa e outras fontes de energia renovável.

[0011]Em pelo menos uma modalidade, o sistema de extração de ar compreende um contator de ar que inclui o meio para absorver dióxido de carbono da atmosfera.

[0012]Em pelo menos uma modalidade, o contator de ar é selecionado a partir do grupo de contatores de ar que consiste em: torres de convecção, piscinas de absorção, torres de depuração compactas, e gasoso sistemas de separação, algumas com substratos com área em forma de panqueca com um meio que extrai dióxido de carbono do ar. Em seu contexto mais amplo, a presente invenção contempla estruturas onde o ar é passado em contato com o meio que extrai o CO<sub>2</sub>. Atualmente, na modalidade mais provável, a estrutura teria uma grande área perpendicular ao fluxo de ar e seria muito fina na direção de fluxo de ar com o meio sendo um substrato poroso na superfície do qual a amina ou alternativa que liga o CO<sub>2</sub> é ligada - aquele meio também teria uma grande seção transversal e seria muito fino como a estrutura contadora que o abriga).

[0013]Em pelo menos uma modalidade, o meio é selecionado a partir do grupo de meios que consiste em: um líquido, um sólido poroso, um gás e misturas dos mesmos.

[0014]Em pelo menos uma modalidade, o meio é uma solução de NaOH.

[0015]Em pelo menos uma modalidade, o meio compreende uma amina.

[0016]Em pelo menos uma modalidade, o sistema de extração de ar coleta dióxido de carbono e o sistema de sequestro isola o dióxido de carbono removido.

[0017]Em pelo menos uma modalidade, a localização é subterrânea.

[0018]Em pelo menos uma modalidade, a localização é em um local distante na direção contrária ao vento a partir de um ou mais outros componentes do sistema.

[0019]Um método para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera para reduzir o aquecimento global e aumentar a disponibilidade de energia renovável de acordo com uma modalidade exemplar da presente invenção compreende o etapas de: a coleta de ar da atmosfera; a remoção de dióxido de carbono do ar coletado por usando calor de processo to calor o meio que remova o dióxido de carbono do ar coletado; e o isolamento do dióxido de carbono removido a uma localização por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível renovável de carbono, onde pelo menos uma dentre as etapas de coleta, remoção e isolamento é executada usando um ou mais fontes de energia renovável.

[0020]Em pelo menos uma modalidade, a etapa da remoção de compreende a absorção do dióxido de carbono usando um absorvente, preferencialmente um absorvente na forma de um meio conduzido por um substrato com área de grande superfície.

[0021]Em pelo menos uma modalidade, o absorvente é uma solução de NaOH.

[0022]Em pelo menos uma modalidade, o absorvente compreende uma ami-

na, preferencialmente uma amina ligada à superfície de (conduzido por) um substrato poroso com área de grande superfície.

[0023]Em pelo menos uma modalidade, a etapa de isolamento compreende pelo menos um de sequestro mineral ou injeção como um gás pressurizado em formações geológicas.

[0024]Os princípios da presente invenção podem ser utilizados para fornecer um termostato global para o controle de temperatura média de atmosfera de um planeta, através do uso de diversos sistemas de acordo com os princípios do presente invenção, cada do qual é capaz de produzir um efeito de dióxido de carbono negativo na atmosfera de um planeta pela extração de dióxido de carbono da atmosfera e usando calor de processo para a extração de dióxido de carbono a partir do meio e para regenerar o sorvente (meio) para outro ciclo de adsorção. Assim, os diversos sistemas juntos pode de modo eficaz extrair dióxido de carbono da atmosfera em um taxa que é mais rápida do que o taxa no qual o dióxido de carbono é crescente na atmosfera (e pode gerar um combustível de carbono renovável usando os gases extraídos).

[0025]O conceito preferido dos requerentes de extração de dióxido de carbono da atmosfera e uso de calor de processo para separar dióxido de carbono do meio de coleta é um significativo modo de enfrentar o problema de aquecimento global, e vai contra o conhecimento convencional na técnica (e é contra-intuitivo para aqueles versados na técnica). Especificamente, o uso de calor de processo para solucionar o problema de aquecimento global pela extração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a partir do ar ambiente de baixa concentração é muito atrativo comparado tanto à abordagem convencional de extração de  $\text{CO}_2$  a partir de fontes de gás de combustão a altas concentrações e outros esquemas conhecidos na técnica para a extração de  $\text{CO}_2$  a partir da atmosfera ambiente. No primeiro caso vai diretamente contra o conhecimento convencional que concentração 300 vezes menor de  $\text{CO}_2$  em

atmosfera ambiente deveria ser 300 vezes mais cara já se imagina que os custos de separação estejam geralmente em escala inversamente com a concentração. Assim os esforços patrocinados pelo governo federal foram direcionados para a extração de CO<sub>2</sub> a partir das emissões de gás de combustão de usinas de energia (por exemplo, carvão limpo) e especialistas alegam publicamente que o uso de ar ambiente ao contrário de gás de combustão não faz sentido. Entretanto, o grande tamanho da fonte infinita de ar ambiente comparado à fonte finita de gás de combustão e fontes geralmente é uma característica que permite que a abordagem dos requerentes seja eficaz em detrimento do conhecimento convencional e prática. No caso do gás de combustão as emissões contendo o CO<sub>2</sub> estão a uma maior temperatura (65-70 graus centígrados) e, portanto a regeneração utiliza calor de maior temperatura o qual é mais custoso do que é necessário para o ar ambiente resfriado (aproximadamente 25-30 graus centígrado). Há outros benefícios da abordagem dos requerentes inclusive a capacidade de uso de equipamentos de separação muito finos que também fornecem outros aperfeiçoamentos de processo. Assim, seria menos custoso se remover CO<sub>2</sub> transportando-se o calor de processo em tubos até uma instalação de termostato global que operes nos princípios da invenção dos requerentes, ao invés de depurar diretamente suas emissões de combustão. Além disso, a abordagem dos requerentes de produzir carbono negativo, na realidade reduz a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, enquanto depurar o gás de combustão apenas evitaria que o conteúdo de CO<sub>2</sub> no ar aumentasse.

[0026]Outra análise mostra que não se pode solucionar o problema do aquecimento global em uma maneira oportuna para reduzir o grande risco que ele impõe por simplesmente depurar grandes fontes de combustível fóssil estacionárias como usinas de carvão ou para que importe pela preservação ou uso de renováveis. É preciso ser realmente capaz, como é o caso nessa invenção, de se extrair CO<sub>2</sub> a partir da atmosfera ("carbono negativo") e assim reduzir a concentração ambiente e

reduzir a ameaça de aquecimento global. Outros esquemas publicados para a extração de CO<sub>2</sub> a partir da atmosfera ambiente utilizaram calor de maior temperatura geralmente e não calor de processo especificamente e, portanto não foram seriamente considerados por conta de seus altos custos de energia.

[0027]Além disso, deveria ser observado que o conceito preferido dos requerentes para a extração de dióxido de carbono da atmosfera compreende o uso de um substrato de grande área perpendicular ao fluxo de ar, o qual poderia ser poroso com uma área de alta superfície, com um meio (por exemplo, uma amina) que remova o dióxido de carbono da atmosfera e uso do calor de processo para remover o dióxido de carbono do meio. Usando um substrato de área relativamente grande perpendicular à direção de fluxo de ar é particularmente útil, por causa da concentração relativamente baixa de dióxido de carbono na atmosfera (ao contrário da concentração relativamente alta que seria normalmente encontrada em gases de combustão, por exemplo).

[0028]Essas e outras características dessa invenção são descritas em, ou são aparentes a partir da seguinte detalhada descrição (e desenhos anexos) de diversas modalidades exemplares dessa invenção.

#### Descrição Resumida dos Desenhos

[0029]Diversas modalidades exemplares dessa invenção serão descritas em detalhe, com referência às seguintes figuras, onde:

A FIG. 1 é um diagrama em bloco generalizado de um sistema para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção;

A FIG. 2 é um diagrama em bloco de um sistema para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção;

A FIG. 3 é um diagrama em bloco de um sistema de extração de ar de acor-

do com uma modalidade exemplar do presente invenção;

A FIG. 4 é um mapa que ilustra um termostato global de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção; e

A FIG. 5 é um diagrama em bloco de um sistema para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção;

A FIG 6 é um ilustração esquemática de um versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção;

A FIG 7 é um ilustração esquemática de outra versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção;

A FIG 8 é um ilustração esquemática de ainda outra versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção; e

A FIG 9 é um ilustração esquemática de ainda outra versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção.

#### Descrição Detalhada das Modalidades Preferidas

[0030]A FIG. 1 é um diagrama em bloco generalizado de um sistema, geralmente designado por número de referência 1, para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção. O sistema 1 inclui um sistema de extração de ar 40 e um sistema de coleta 50, que isola o dióxido de carbono removido a uma localização por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível de carbono renovável ou o geração de um produto não-combustível tal como fertilizante e materiais de construção. O sistema de extração de ar 40 preferencialmente incorpora qualquer método

de extração de CO<sub>2</sub> conhecido ou recém-descoberto, inclusive métodos que usam um meio para absorver e/ou ligar CO<sub>2</sub> a partir do ar atmosférico por exposição do meio a interação química, elétrica e/ou física com o CO<sub>2</sub> no ar capturado. O meio pode ser líquido, gasoso ou sólido, ou uma combinação de substâncias líquidas, gasosas e sólidas, onde no caso de sólidos, a substância é preferencialmente porosa. O meio é preferencialmente reciclável de modo que depois que o CO<sub>2</sub> é capturado pelo meio e separado do meio para sequestro, o meio pode ser reutilizado para absorção/ligação de CO<sub>2</sub> adicional. Entretanto, em outras modalidades o meio pode ser sequestrado com o CO<sub>2</sub> capturado. Como mostrado na FIG. 1, o separação do CO<sub>2</sub> a partir do meio, assim como outros processos tal como o absorção/ligação de CO<sub>2</sub> e o sequestro do CO<sub>2</sub> executado pelo sistema de sequestro 50, podem ser feitos de modo mais eficaz pela adição de calor ao sistema de extração de ar 40. Na presente invenção, o calor é calor de processo gerado, por exemplo, por um gerador de energia solar, tal como um coletor solar, a ser descrito em mais detalhe abaixo. Em outras modalidades, calor de processo pode ser fornecido por outros tipos de fontes de energia, tal como, por exemplo, combustível fóssil, geotérmico, nuclear, biomassa, e outras fontes de energia renovável. O termo "calor de processo" como utilizado neste se refere ao calor de menor temperatura restante depois que o calor de maior temperatura foi utilizado para gerar eletricidade. Mais geralmente, o termo "calor de processo" se refere a qualquer calor de baixa temperatura restante depois que um processo primário ou que é acrescentado pelo processo ele próprio, tal como, por exemplo, reações de carbonação exotérmicas onde dióxido de carbono é armazenado como um mineral ou na verdade quando ele se liga ao meio e é capturado. Além disso, "calor de processo" pode ser fornecido a partir do uso de fontes de energia para produzir produtos outros do que geração de energia ou elétrica. Por exemplo, processamento primário tal como processamento químico, produção de cimento, aço ou alumínio, produção de produtos de energia como carvão a produtos

líquidos de energia, refino, pode usar calor para operar o processamento primário, e o calor não utilizado restante depois do processamento primário ou criado durante o processamento primário seria o calor de processo de tal processamento, e pode ser utilizado em um sistema ou método de acordo com os princípios do presente invenção.

[0031]O conceito preferido dos requerentes de extração de dióxido de carbono da atmosfera e uso de calor de processo para separar dióxido de carbono do meio de coleta é um significativo modo de enfrentar o problema de aquecimento global, e vai contra o conhecimento convencional na técnica (e é contra-intuitivo para aqueles versados na técnica). Especificamente, o uso de calor de processo para solucionar o problema de aquecimento global pela extração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a partir do ar ambiente de baixa concentração é muito atrativo comparado tanto à abordagem convencional de extração de  $\text{CO}_2$  a partir de fontes de gás de combustão a altas concentrações e outros esquemas conhecidos na técnica para a extração de  $\text{CO}_2$  a partir da atmosfera ambiente. No primeiro caso vai diretamente contra o conhecimento convencional que concentração 300 vezes menor de  $\text{CO}_2$  em atmosfera ambiente deveria ser 300 vezes mais cara já se imagina que os custos de separação estejam geralmente em escala inversamente com a concentração. Assim os esforços patrocinados pelo governo federal foram direcionados para a extração de  $\text{CO}_2$  a partir das emissões de gás de combustão de usinas de energia (por exemplo, carvão limpo) e especialistas alegam publicamente que o uso de ar ambiente ao contrário de gás de combustão não faz sentido. Entretanto, o grande tamanho da fonte infinita de ar ambiente comparado à fonte finita de gás de combustão e fontes geralmente é uma característica que permite que a abordagem dos requerentes seja eficaz em detrimento do conhecimento convencional e prática. No caso do gás de combustão as emissões contendo o  $\text{CO}_2$  estão a uma maior temperatura (65-70 graus centígrados) e, portanto a regeneração utiliza calor de maior temperatura o

qual é mais custoso do que é necessário para o ar ambiente resfriado (aproximadamente 25-30 graus centígrado). Há outros benefícios da abordagem dos requerentes inclusive a capacidade de uso de equipamentos de separação muito finos que também fornecem outros aperfeiçoamentos de processo. Assim, seria menos custoso se remover CO<sub>2</sub> transportando-se o calor de processo em tubos até uma instalação de termostato global que operes nos princípios da invenção dos requerentes, ao invés de depurar diretamente suas emissões de combustão. Além disso, a abordagem dos requerentes de produzir carbono negativo, na realidade reduz a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, enquanto depurar o gás de combustão apenas evitaria que o conteúdo de CO<sub>2</sub> no ar aumentasse.

[0032]Outra análise mostra que não se pode solucionar o problema do aquecimento global em uma maneira oportuna para reduzir o grande risco que ele impõe por simplesmente depurar grandes fontes de combustível fóssil estacionárias como usinas de carvão ou para que importe pela preservação ou uso de renováveis. É preciso ser realmente capaz, como é o caso nessa invenção, de se extrair CO<sub>2</sub> a partir da atmosfera ("carbono negativo") e assim reduzir a concentração ambiente e reduzir a ameaça de aquecimento global. Outros esquemas publicados para a extração de CO<sub>2</sub> a partir da atmosfera ambiente utilizaram calor de maior temperatura geralmente e não calor de processo especificamente e, portanto não foram seriamente considerados por conta de seus altos custos de energia.

[0033]A FIG. 2 é um diagrama em bloco de um sistema, geralmente designado por número de referência 2, para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com uma modalidade exemplar do presente invenção. O sistema 2 inclui um coletor solar 10, uma opcional e fonte de energia suplementar 20, um gerador de energia 30, um sistema de extração de ar 42 e um sistema de coleta 50. Cada um desses componentes do sistema 1 é explicado em detalhe abaixo.

[0034]O coletor solar 10 pode ser qualquer conhecido ou a serem descoberto-

tos energia solar sistema de coleta, o qual pode incluir energia solar unidades de coleta, tal como, por exemplo, espelhos parabólicos de energia concentrada solar, e torres de energia solar concentrada. Como é conhecido na técnica, o coletor solar 10 converte energia solar à energia térmica, a qual pode ser utilizada para operar o gerador de energia 30. A energia térmica residual (ou seja, calor de processo) pode ser utilizada para operar o sistema de extração de ar 42 e/ou o sistema de coleta 50. Por exemplo, o calor de processo pode ser utilizado para melhorar a eficácia de reações químicas e/ou físicas utilizadas no sistema de extração de ar 42 para absorver CO<sub>2</sub> a partir do ar e/ou para retirar o CO<sub>2</sub> a partir do meio. Além disso, em outras modalidades exemplares, como mostrado pelas setas tracejadas na FIG. 2, o calor direto a partir do coletor solar 10 pode ser utilizado para operar o sistema de extração de ar 42 e/ou o sistema de coleta 50.

[0035]O gerador de energia 30 pode ser, por exemplo, um gerador térmico de energia que converte a energia térmica fornecida pelo coletor solar to eletricidade. Como é conhecido na técnica, o calor do sol pode ser concentrado em um meio, tal como sais fundidos, que é então utilizado para gerar vapor a alta temperatura e pressão que move uma turbina para gerar eletricidade. A eletricidade gerada pode então ser utilizada para dar energia aos outros componentes do sistema 2, em adição to o fornecimento de energia à população geral como parte de uma grade de energia. Com respeito a isso, a energia térmica fornecida pelo coletor solar 10 pode ser suplementada pela energia gerada pela fonte de energia suplementar 20. Por exemplo, a fonte de energia suplementar 20 pode ser uma usina de incineração de resíduos, a qual fornece energia térmica adicional para operar o gerador de energia 30. Também, deveria ser apreciado que qualquer outra tipo de fonte de energia renovável pode ser utilizado em adição à energia solar, e preferencialmente uma fonte de energia renovável que produza calor como um precursor à geração de eletricidade. Outras fontes potenciais de energia renovável a serem utilizadas em adição à

energia solar incluem, por exemplo, fontes de energia nuclear, biomassa, e geotérmica.

[0036]Alternativamente, o gerador de energia 30 pode ser qualquer instalação de combustível fóssil conhecido ou recém-descoberta (usina) que se baseie na queima de combustíveis fósseis, tal como, por exemplo, carvão, óleo combustível, gás natural e xisto petrolífero, para a geração de eletricidade. O gerador de energia também pode ser para um fim outro do que a geração de eletricidade (por exemplo, o gerador de energia poderia ser para processamento químico ou diversos outros fins como produzir alumínio). A energia térmica produzida pela usina energia de combustível fóssil 30 é utilizada para produzir eletricidade e a energia térmica residual (ou seja, calor de processo) pode ser utilizada para operar o sistema de extração de ar 42 e/ou o sistema de sequestro 50. Por exemplo, o calor de processo a partir da usina de energia de combustível fóssil 30 pode ser utilizado para melhorar a eficácia de reações químicas e/ou físicas utilizadas no sistema de extração de ar 42 para absorver CO<sub>2</sub> a partir do ar e/ou para retirar o CO<sub>2</sub> a partir do meio. O calor residual fornecido pela usina de energia de combustível fóssil 30 pode ser suplementado por energia gerada por uma fonte de energia suplementar. Por exemplo, a fonte de energia suplementar pode ser uma usina de incineração de resíduos ou uma fonte de energia renovável, tal como, por exemplo, fontes de energia solar, nuclear, biomassa, e geotérmico, o qual fornece energia térmica adicional para operar o sistema de extração de ar 42 e/ou o sistema de coleta 50. O calor de processo a partir da fonte de energia suplementar também pode ser utilizado para operar o sistema de extração de ar 42 e/ou o sistema de coleta 50.

[0037]Além disso, como descrito acima, o "calor de processo" pode ser fornecido a partir do uso de fontes de energia para produzir produtos outros do que geração de energia ou elétrica. Por exemplo, processamento primário tal como processamento químico, produção de cimento, aço ou alumínio, refino, produção de ener-

gia produtos como carvão e produtos líquidos de energia, pode usar calor para operar o processamento primário, e o calor restante não utilizado depois do processamento primário ou criado durante o processamento primário seria o calor de processo de tal processamento, e pode ser utilizado em um sistema ou método de acordo com os princípios do presente invenção.

[0038]A FIG. 3 é um diagrama em bloco do sistema extrator de ar 42 utilizável com o sistema 2 de acordo com uma modalidade exemplar da presente invenção. O sistema extrator de ar 42 inclui um contator de ar 41, um causticador 43, um hidratador 45, um calcinador 47 e uma unidade de captura 49. O contator de ar 41 pode usar um material sorvente para capturar seletivamente CO<sub>2</sub> a partir do ar, e pode ser composto de quaisquer estruturas contatoras conhecidas ou recém-descobertas, tal como, por exemplo, grandes torres de convecção, piscinas estagnadas e abertas, e torres de depuração compactas. Na presente modalidade, o material sorvente pode ser hidróxido de sódio (NaOH), o qual prontamente absorve CO<sub>2</sub> a partir do ar. Deveria ser apreciado que outros métodos de captura conhecidos ou a serem descobertos podem ser utilizados, tal como, por exemplo, absorção química, adsorção física e química, destilação a baixa temperatura, membranas de separação a gás, mineralização/biomíneralização e vegetação. Como outro exemplo, como conhecido na técnica, soluções aquosas de amina ou sorventes sólidos enriquecidos com amina podem ser utilizados para absorver CO<sub>2</sub>. Preferencialmente, o material sorvente é regenerado e o método de captura requer menos do que aproximadamente 100 - 120°C calor para regenerar o material sorvente.

[0039]Nessa modalidade, no contator de ar 41, CO<sub>2</sub> pode ser absorvido em uma solução de NaOH que forme carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), por exemplo, na maneira descrita por Stolaroff *et al* em um artigo intitulado "A pilot-scale prototype contactor for CO<sub>2</sub> capture from ambient air: cost and energy requirements", o qual pode ser encontrado em

[www.ucalgary.ca/~keith/papers/84.Stolaroff.AirCaptureGHGT-8.p.pdf](http://www.ucalgary.ca/~keith/papers/84.Stolaroff.AirCaptureGHGT-8.p.pdf) e é incorporado neste por referência. Certamente, outros absorventes conhecidos ou a serem desenvolvidos também podem ser utilizados como uma alternativa ou em adição a uma solução de NaOH. O Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> gerado é então enviado ao causticador 43, onde o NaOH é regenerado por adição de cal (CaO) em um processo em lotes. O CaCO<sub>3</sub> sólido resultante é enviado ao calcinador 47 onde é aquecido em um forno para regenerar o CaO, retirar o CO<sub>2</sub> em um processo conhecido como calcinação. O CaO regenerado é então enviado através do hidratador 45, o qual produz cal hidratada Ca(OH)<sub>2</sub> para uso no causticador 43.

[0040]A unidade de captura 49 captura o CO<sub>2</sub> retirado no calcinador 47 usando qualquer método de captura de CO<sub>2</sub> conhecido ou recém-descoberto que é eficaz nas baixas concentrações onde CO<sub>2</sub> está presente na atmosfera e que precise apenas de calor de baixa temperatura para regeneração. Por exemplo, a unidade de captura 49 pode usar sistema de captura baseado em amina, tal como o sistema descrito em Gray *et al* Patente U.S. No. 6.547.854, datado de 15 de abril de 2003, e também Sirwardane Patente U.S. No. 6908497, datado de 21 de junho de 2005, ambos os quais são incorporados neste por referência. A unidade de captura 49 também pode comprimir o capturado CO<sub>2</sub> à forma líquida de modo que o CO<sub>2</sub> possa ser mais facilmente sequestrado.

[0041]O sistema de coleta 50 isola o dióxido de carbono removido a uma localização por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível de carbono renovável ou a geração de um produto não-combustível tal como fertilizante e materiais de construção. O sistema de coleta 50 pode usar quaisquer técnicas conhecidas ou a serem descobertos de sequestro e/ou armazenamento de carbono, tal como, por exemplo, injeção em formações geológicas ou sequestro mineral. No caso de injeção, o CO<sub>2</sub> capturado pode ser sequestrado em formações geológicas tais como, por exemplo, reservatórios de óleo e gás, minas de car-

vão não mineráveis e reservatórios de salina profundos. Com respeito a isso, em muitos casos, a injeção de CO<sub>2</sub> em uma formação geológica pode melhorar o recuperação de hidrocarbonetos, o fornecimento de subprodutos de valor agregado que pode compensar o custo de captura e coleta de CO<sub>2</sub>. Por exemplo, a injeção de CO<sub>2</sub> em um reservatório de óleo ou gás natural impulsiona o produto em um processo conhecido como recuperação aumentada de óleo. O CO<sub>2</sub> capturado pode ser sequestrado no subterrâneo, e de acordo com pelo menos uma modalidade da invenção em um local distante na direção do vento a partir do outros componentes do sistema 2 de modo que qualquer vazamento a partir do local é re-capturado pelo sistema 2.

[0042]Com respeito ao sequestro mineral, CO<sub>2</sub> pode ser sequestrado por um reação de carbonatação com silicatos de cálcio e magnésio, o que ocorre naturalmente como depósitos minerais. Por exemplo, como mostrado em reações (1) e (2) abaixo, CO<sub>2</sub> pode ser reagido com forsterita e serpentina, o que produz carbonatos sólidos de cálcio e magnésio em uma reação exotérmica.



[0043]Ambas destas reações são favorecidas em baixas temperaturas. Com respeito a isso, ambos os processos de captura de ar e sequestro de ar descritos neste podem usar eletricidade e/ou energia térmica gerada pelo coletor solar 10 (ou outra fonte de energia renovável) para operar as reações necessárias e acionar os componentes do sistema apropriados. Em uma modalidade exemplar da presente invenção, um carreador a alta temperatura pode ser aquecido até uma temperatura em uma variação de aproximadamente 400°C a aproximadamente 500°C para gerar vapor para acionar um gerador para eletricidade, e o vapor a menor temperatura que exista a partir da geração elétrica de turbinas pode ser utilizado para retirar o CO<sub>2</sub> e regenerar o sorvente (por exemplo, NaOH). A temperatura do calor a alta temperatu-

ra, a eletricidade gerada e a temperatura do calor de processo de menor temperatura restante depois que a produção de eletricidade pode ser ajustada para produzir a mistura de produção de eletricidade e remoção de CO<sub>2</sub> que é considerada ótima para uma dada aplicação. Além disso, em modalidades exemplares, calor de processo a temperatura ainda menor que emerge das etapas de captura e sequestro pode ser utilizado para resfriar equipamento utilizado nessas etapas

[0044]Um ou mais sistemas para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera pode ser utilizado como parte de um termostato global de acordo com uma modalidade exemplar da presente invenção. Pela regulação da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera e logo o efeito estufa causado por dióxido de carbono e outras emissões de gás, o sistema descrito neste pode ser utilizado para alterar a temperatura global média. De acordo com pelo menos uma modalidade exemplar do presente invenção, diversos sistemas de captura e sequestro de dióxido de carbono podem ser localizados em diferentes localizações através do planeta de modo que a operação dos sistemas múltiplos possa ser utilizada para alterar a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e assim mudar o aquecimento por gases de efeito estufa do planeta. As localizações podem ser escolhidas de modo a ter o maior efeito em áreas tal como grandes centros industriais e cidades altamente populosas, ou pontos de fontes naturais de CO<sub>2</sub> cada um dos quais poderia criar localmente maiores concentrações de CO<sub>2</sub> que permitiriam captura de custo mais eficaz. Por exemplo, como mostrado na FIG 4, sistemas múltiplos 1 podem ser dispersos por todo o planeta, e a cooperação internacional, inclusive, por exemplo, fundos e acordos internacionais, pode ser utilizado para regular a construção e controle do sistema 1. Com respeito a isso, a concentração dos gases de efeito estufa pode ser mudada para alterar a temperatura média global do planeta para evitar períodos de resfriamento e aquecimento, o que pode ser destrutivo ao ser humano e aos sistemas ecológicos. Durante o passado de nosso planeta, por exemplo, houve muitos perío-

dos glaciais e rápidas alterações de temperatura que causaram destruição e mesmo extinção em massa. Tais alterações de temperatura no futuro poderiam ser uma causa direta de dano em massa e desestabilização da sociedade humana a partir de conflitos resultantes de fontes potenciais diminuídas. O termostato global descrito neste pode ser a chave para evitar tais desastres nas décadas futuras.

[0045]A FIG. 5 é um diagrama em bloco de um sistema, geralmente designado por número de referência 100, para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera de acordo com outra modalidade exemplar do presente invenção. O sistema 100 inclui uma fonte de energia renovável 110, uma fonte de energia opcional e suplementar 120, um gerador de energia 130, um sistema de extração de ar 142 e um sistema de coleta 150. A presente modalidade difere da modalidade de Figura 2 no que a fonte de energia renovável 110 pode ser qualquer fonte de energia conhecida ou a ser descoberta exceto a solar, tal como, por exemplo, fontes de energia nuclear, geotérmica, e biomassa. Preferencialmente, a fonte de energia renovada produz energia térmica, a qual pode ser utilizada para produzir eletricidade e para melhorar a eficácia de diversas reações químicas e/ou físicas que ocorrem no sistema de extração de ar 142 e no sistema de coleta 150. Com respeito a isso, o sistema de extração de ar 142 e o sistema de coleta 150 pode ser o mesmo como descrito com referência à modalidade anterior, ou pode incluir componentes de acordo com quaisquer outros sistemas de extração do ar e coleta conhecidos ou a serem descobertos. Além disso, como mostrado na FIG. 4 com referência à modalidade anterior, diversos sistemas 100 podem ser estrategicamente colocados por todo o planeta, e o controle dos sistemas 100 pode ser coordenado de forma a coletivamente atuar como um termostato global.

[0046]As FIGS 6-9 são ilustrações esquemáticas das diversas formas que o dióxido de carbono pode ser removido de uma atmosfera, de acordo com os princípios do presente invenção.

[0047] Especificamente, na FIG. 6, um par de substratos 600, 602 é ilustrado, cada do qual há um meio (por exemplo, NAOH, uma amina) que pode ser colocado em contato com uma atmosfera para remover o dióxido de carbono da atmosfera. Os substratos 600, 602 têm a forma de panqueca (no sentido de que eles têm área relativamente grande se comparada a sua espessura) orientados verticalmente, e cada um pode ser relativamente grande (em área superficial) e relativamente fino (por exemplo, na ordem de alguns milímetros, e preferencialmente não mais espessos do que um metro). Cada substrato pode se mover (por exemplo, por um sistema de roldanas (não mostrado) entre uma posição superior onde o ar carregado com dióxido de carbono é colocado em contato com o meio conduzido pelo substrato para remover o dióxido de carbono do ar, e uma posição inferior onde o calor de processo é direcionado no substrato para remover o dióxido de carbono do meio. Os substratos 600, 602 são porosos com grandes áreas superficiais, de modo que ar direcionado em um substrato pode fluir através do substrato. Quando um substrato está em uma posição superior (por exemplo, a posição de substrato 600), o ar carregado com dióxido de carbono é direcionado no substrato (por exemplo, por um ventilador 604 mostrado em linhas tracejadas), de modo que à medida que o ar flui através do substrato, o dióxido de carbono contata o meio e é substancialmente removido do ar. Assim, o ar carregado com dióxido de carbono é direcionado em e através do substrato de modo que dióxido de carbono fique em contato com o meio, dióxido de carbono é substancialmente removido do ar pelo meio, e ar a partir do qual o dióxido de carbono foi substancialmente removido é direcionado a partir do substrato. Quando um substrato é movido à posição inferior (por exemplo, a posição de substrato 602), o calor de processo é direcionado no substrato (por exemplo, via um conduto de fluido 606), e o dióxido de carbono é removido (extraído) por uma fonte de fluido que é direcionada no substrato (na direção mostrada pela seta 608) e uma fonte de sucção 610 pela qual o dióxido de carbono que foi removido do meio é

extraído do substrato. Os substratos 600, 602 podem alternativamente se mover entre a posição superior e inferior, de modo que o substrato na posição superior seja a remoção de dióxido de carbono do ar e dióxido de carbono seja removido do substrato na posição inferior. Deveria ser observado que assim como aquele ventilador, se há ventos fortes disponíveis os fluxos de vento natural podem ser utilizados para conduzir o ar através do substrato. Além disso, como descrito abaixo, o ventilador pode ser substituído com uma fonte movida por energia solar (ou tanto por vento ou correntes de ar termais), em cujo caso a eficácia e custo redução de extração de dióxido de carbono de ar atmosférico pode ser melhorada ainda mais. Além disso, assim como a troca das posições dos substratos, o meio para geração de fluxo de ar, o fluxo de calor de processo, e o fluxo de dióxido de carbono a partir do substrato pode ser trocado como dióxido de carbono é capturado a partir do ar e então extraído a partir do meio, como será prontamente aparente para aqueles versados na técnica.

[0048]A FIG 7 é um ilustração esquemática de outra versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção. Especificamente, na FIG. 7, um par de substratos 700, 702 é ilustrado, cada um dos quais tem um meio (por exemplo, NAOH, uma amina) que pode ser colocado em contato com uma atmosfera para remover o dióxido de carbono da atmosfera. Os substratos 700, 702 são orientados horizontalmente, e pode, cada um, ser relativamente grande (em área de superfície) e relativamente fino (por exemplo, na ordem de milímetros ou centímetros). Cada substrato pode se mover horizontalmente (por exemplo, por um sistema de roldanas (não mostrado) entre uma posição de extração de ar onde o ar carregado com dióxido de carbono é colocado em contato com o meio conduzido pelo substrato para remover o dióxido de carbono do ar, e uma posição de extração do carbono onde o calor de processo é direcionado no substrato para remover o dió-

xido de carbono do meio. Os substratos 700, 702 são porosos, de modo que o ar direcionado em um substrato pode fluir através do substrato. Quando um substrato está em uma posição de extração de ar (por exemplo, a posição de substrato 700), ar carregado com dióxido de carbono é direcionado no substrato (por exemplo, por um ventilador 704 mostrado em linhas tracejadas), de modo que à medida que o ar flui através do substrato, o dióxido de carbono contata o meio e é substancialmente removido do ar. Assim, o ar carregado com dióxido de carbono é direcionado em e através do substrato de modo que dióxido de carbono comes em contato com o meio, dióxido de carbono é substancialmente removido do ar pelo meio, e ar a partir do qual o dióxido de carbono foi substancialmente removido é direcionado a partir do substrato. Quando um substrato é movido na posição de extração do carbono (por exemplo, a posição de substrato 702), o calor de processo é direcionado no substrato (por exemplo, via um conduto de fluido 706), e o dióxido de carbono é removido (extraído) por uma fonte de fluido que é direcionada no substrato (na direção mostrada por seta 708) e uma fonte de sucção 710 pela qual o dióxido de carbono que foi removido do meio é extraído do substrato. Os substratos 700, 702 podem alternativamente se mover entre as posições de extração de ar e de extração de carbono, de modo que o substrato na posição de extração de ar é a remoção de dióxido de carbono do ar e dióxido de carbono é sendo removido do substrato na posição de extração do carbono. Deveria ser observado que assim como aquele ventilador, se há ventos fortes disponíveis fluxos de ventos naturais podem ser utilizados para conduzir o ar através do substrato. Além disso, como descrito abaixo, o ventilador pode ser substituído com uma fonte movida por energia solar (ou tanto por corrente eólica ou correntes de ar termais), onde caso a eficácia e custo da redução de extração de dióxido de carbono a partir de ar atmosférico pode ser melhorada ainda mais. Além disso, assim como a troca das posições dos substratos, o meio para geração de o fluxo de ar, o fluxo de calor de processo, e o fluxo de dióxido de carbono a par-

tir do substrato pode ser trocado à medida que o dióxido de carbono é capturado a partir do ar e então extraído do meio, como será prontamente aparente para aqueles versados na técnica.

[0049]A versão da invenção mostrada na FIG. 9 é geralmente similar à versão orientada horizontalmente da FIG. 7, mas na versão da FIG. 9, ao invés de um ventilador sendo a fonte que move o ar carregado com carbono através do substrato na posição de extração do ar (por exemplo, substrato 900), há uma fonte de fluxo de gás que é gerado a partir de uma torre de aquecimento solar ou chaminé (mostrada esquematicamente em 912 na FIG. 9). Uma chaminé solar pode ser gerada pelo aquecimento de uma massa de ar com o sol. A chaminé solar teria uma "saia" (mostrada em linhas tracejadas 913 na FIG. 9) que permite que o ar aquecido pelo sol seja concentrado na chaminé. Assim, um campo solar com uma chaminé solar pode ser associado com um sistema e estrutura que remova o dióxido de carbono da atmosfera e remova o dióxido de carbono a partir de um meio da maneira mostrado e descrito em associação com a FIG. 7. Entretanto, assim como aquele um ventilador 704 como o carreador primário de ar carregado com dióxido de carbono no substrato, o ar carregado com dióxido de carbono é aquecido por energia solar e aquele ar é deixado ascender no funil ou torre solar 912. Por causa da tendência do ar quente ascender, uma corrente para cima é gerada, que levaria com ela o ar carregado com dióxido de carbono, e o substrato 900 seria posicionado no modo daquela corrente para cima. Assim, o ar carregado com dióxido de carbono seria direcionado através do substrato 900 na posição de extração do ar, e dióxido de carbono seria removido do substrato 902 na posição de extração do carbono no mesmo modo como mostrado e descrito em associação com a FIG. 7. Por conduzir a extração de dióxido de carbono de ar por energia solar, os custos de extração são mais reduzidos, e a operação geral é altamente renovável. Certamente, precisaria ser feita provisão para aqueles períodos quando o sol está encoberto, e alguma forma de carreador similar

ao ventilador 704 (A FIG. 7) seria necessária. Mas em qualquer caso, com períodos onde, ao invés do ventilador, a substituição do ventilador com uma fonte movida por energia solar (ou tanto por corrente eólica ou correntes de ar termais), a eficácia e redução de custo de extração de dióxido de carbono a partir de ar atmosférico pode ser melhorada ainda mais.

[0050]A FIG 8 é um ilustração esquemática de ainda outra versão de um meio para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera e para a remoção de dióxido de carbono do meio, de acordo com os princípios do presente invenção. Na FIG. 8, o meio a partir do qual dióxido de carbono é removido do ar atmosférico e a partir do qual dióxido de carbono é removido do meio é disposto em um substrato móvel contínuo 800. O substrato se move através de uma extração da zona de ar 814, onde ar carregado com dióxido de carbono é direcionado em e através do substrato (o qual é também poroso como com as modalidades anteriores) de modo que o dióxido de carbono seja removido do ar. O substrato 800 então se move a uma zona de extração de carbono 816, onde o calor de processo é direcionado no substrato e o carbono é extraído do substrato da maneira descrita acima em associação com as FIGS. 6 e 7. Então, o substrato 800 se move para e através de uma zona de troca de calor 818 onde a temperatura do substrato é baixada (por exemplo, pelo ar que fluiu através do substrato na zona de extração de ar, e por qualquer adicional equipamento de refrigeração que possa ser útil em reduzir a temperatura do substrato a um nível que permita que ele de modo eficaz remova o dióxido de carbono do ar quando o substrato se mover para trás através da zona de extração 814. Além disso, o sistema da FIG. 8 pode ter outra zona de extração de carbono 816, onde o calor de processo é direcionado no substrato e o carbono é extraído do substrato da maneira descrito acima em associação com as FIGS. 6 e 7.

[0051]Deveria também ser observado que em todas as versões da invenção descritas acima, a remoção de dióxido de carbono do ar pode ser pelo menos parci-

almente executada sob condições de não equilíbrio. Além disso, deveria ser observado que o conceito preferido dos requerentes para a extração de dióxido de carbono da atmosfera comprehende usar um substrato com área de grande superfície relativamente fina com um meio (por exemplo, uma amina) que remova o dióxido de carbono da atmosfera e usar calor de processo para remover o dióxido de carbono do meio. Usando um substrato de área relativamente grande perpendicular à direção de fluxo de ar é particularmente útil, por causa da concentração relativamente baixa de dióxido de carbono na atmosfera (ao contrário da concentração relativamente alta que seria normalmente encontrada, por exemplo, em gases de combustão).

[0052]Enquanto essa invenção foi descrita associada às modalidades exemplares definidas acima, é evidente que muitas alternativas, modificações e variações serão aparentes àqueles versados na técnica. Consequentemente, as modalidades exemplares da invenção, como determinado acima, pretendem ser ilustrativas, não limitantes. Diversas mudanças podem ser feitas sem afastamento do espírito e es-  
cupo da invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema (100) para a remoção de dióxido de carbono de uma atmosfera que forma parte de um termostato global para reduzir o aquecimento global que pode aumentar a disponibilidade de energia renovável ou produtos não-combustíveis, tais como fertilizantes e materiais de construção, o termostato global compreendendo uma pluralidade de tais sistemas espalhados pelo mundo que atuam pela regulação da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, portanto, do efeito estufa causado pelas emissões de dióxido de carbono e de outros gases, o sistema **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

um sistema de extração de ar (40) compreendendo uma unidade de contador de ar (41) disposta para passar ar atmosférico através de um meio que coleta dióxido de carbono da atmosfera, o meio compreendendo um substrato na forma de panqueca (600, 602, 700, 702) poroso verticalmente ou horizontalmente orientado capaz de extrair CO<sub>2</sub> da atmosfera, o meio compreendendo uma amina ligada a superfície do substrato (600, 602, 700, 702), o substrato sendo móvel entre a primeira posição em que ar carregado de dióxido de carbono em temperatura ambiente é colocado em contato com o meio transportado pelo substrato para remover dióxido de carbono do ar, e uma segunda posição em que calor de processo em uma temperatura inferior a cerca de 120 °C é direcionado ao substrato para remover dióxido de carbono do meio; e

um sistema de coleta (50) que isola o dióxido de carbono removido para uma localização por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível de carbono renovável ou produtos não-combustíveis, tais como fertilizantes e materiais de construção; e

uma ou mais fontes de energia que abastecem calor de processo ao sistema de extração de ar para remover o dióxido de carbono do meio e a qual pode regenerá-lo para uso contínuo, em que uma ou mais fontes de energia (10, 20) são selecio-

nadas do grupo de fontes de energia primária que consiste em: combustível fóssil, geotérmico, nuclear, solar, biomassa e outras fontes de energia renováveis e processos químicos exotérmicos cujo uso pode resultar em um abastecimento de calor de processo.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda um sistema de roldanas para mover o substrato em forma de panqueca entre a primeira posição e a segunda posição.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o substrato (600, 602) é mantido em uma orientação substancialmente vertical quando é movido pelo sistema de roldanas.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o substrato (700, 702) é mantido em uma orientação substancialmente horizontal quando é movido pelo sistema de roldanas.

5. Termostato global para controlar a temperatura média de uma atmosfera do planeta, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende uma pluralidade de sistemas (100) como definidos na reivindicação 1.

6. Método para remover dióxido de carbono de uma atmosfera usando pelo menos um de uma pluralidade de sistemas, como definidos na reivindicação 1, espalhados pelo mundo que juntos compreendem um termostato global, cada sistema compreendendo um sistema de extração de ar, um sistema de coleta e uma ou mais fontes de energia, o sistema de extração de ar compreendendo um meio para coleta de dióxido de carbono da atmosfera, o meio compreendendo um substrato em forma de panqueca (600, 602, 700, 702) poroso verticalmente ou horizontalmente orientado capaz de extrair CO<sub>2</sub> da atmosfera, o meio compreendendo uma amina ligada a superfície do substrato (600, 602, 700, 702), o método **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

mover o substrato para uma primeira posição na qual ar carregado de dióxi-

do de carbono é colocado em contato com o meio transportado pelo substrato para remover dióxido de carbono do ar em temperatura ambiente;

mover o substrato para uma segunda posição e direcionar o calor de processo de uma ou mais fontes de energia a uma temperatura inferior a cerca de 120 °C ao substrato para remover dióxido de carbono do meio, em que a uma ou mais fontes de energia (10, 20) são selecionadas do grupo de fontes de energia primária que consiste em: combustível fóssil, geotérmico, nuclear, solar, biomassa e outras fontes de energia renováveis e processos químicos exotérmicos cujo uso pode resultar em um abastecimento de calor de processo; e

isolar o dióxido de carbono removido para um local por pelo menos um dentre sequestro, armazenamento e geração de um combustível de carbono renovável ou produtos não-combustíveis, tais como fertilizantes e materiais de construção.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende o uso de um sistema de roldanas para mover o substrato em forma de panqueca entre a primeira posição e a segunda posição.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o substrato (600, 602) é mantido em uma orientação substancialmente vertical quando é movido pelo sistema de roldanas.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o substrato (700, 702) é mantido em uma orientação substancialmente horizontal quando é movido pelo sistema de roldanas.

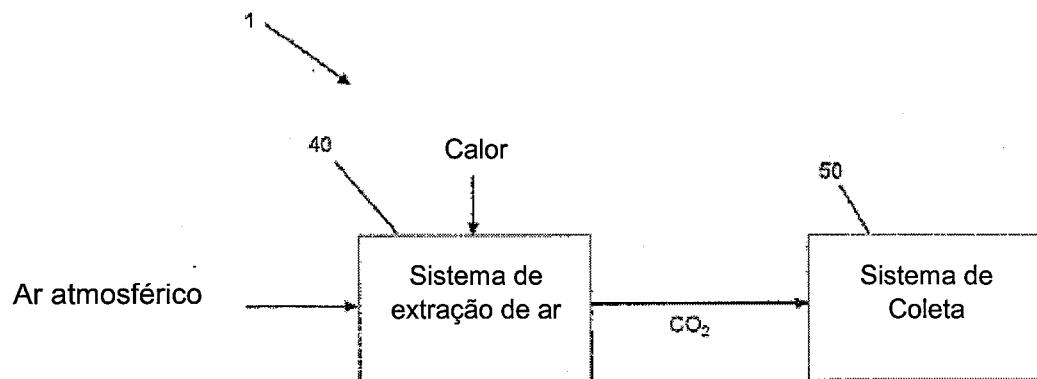


FIG. 1

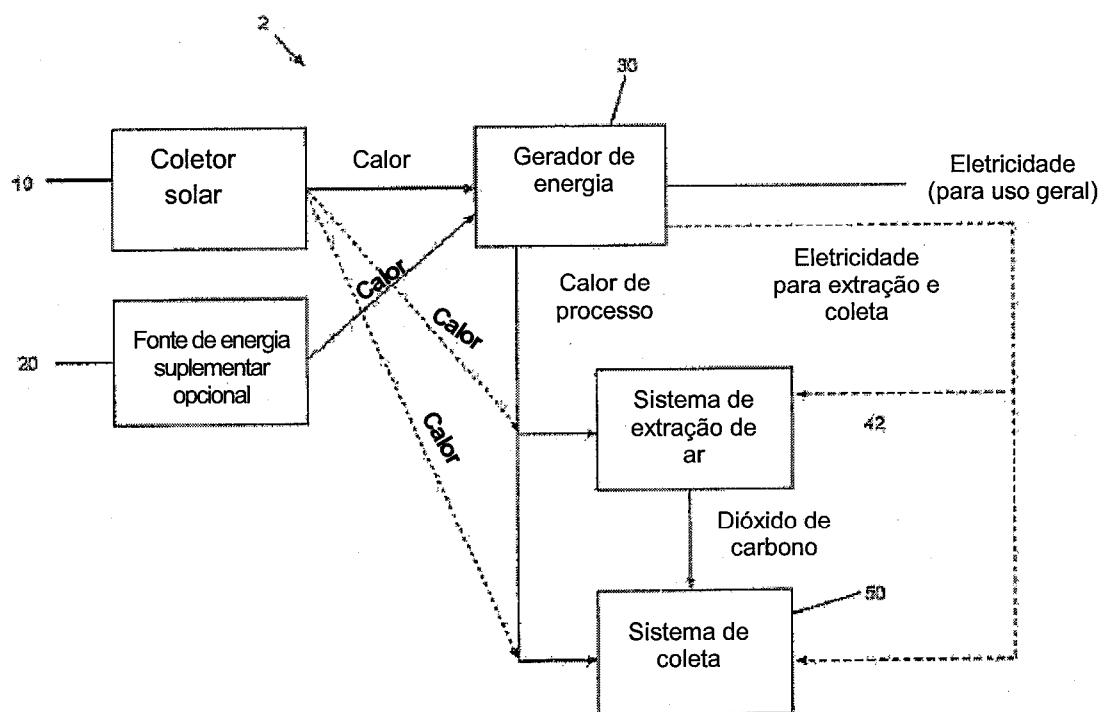


FIG. 2

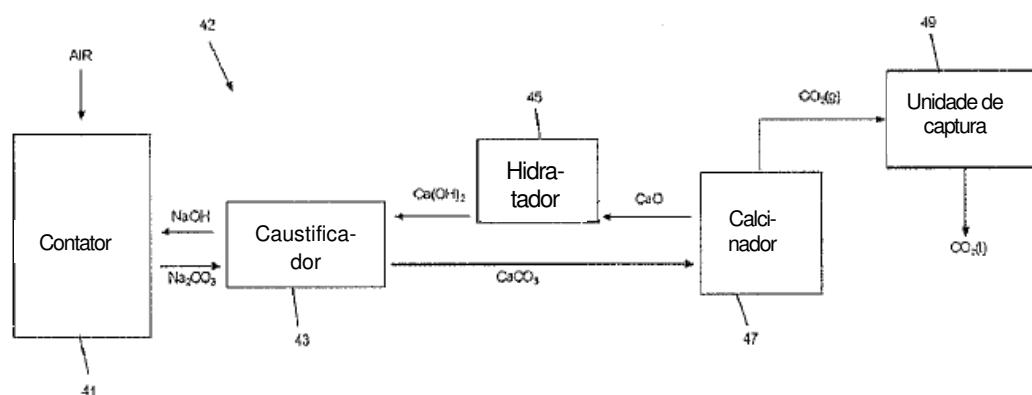


FIG. 3

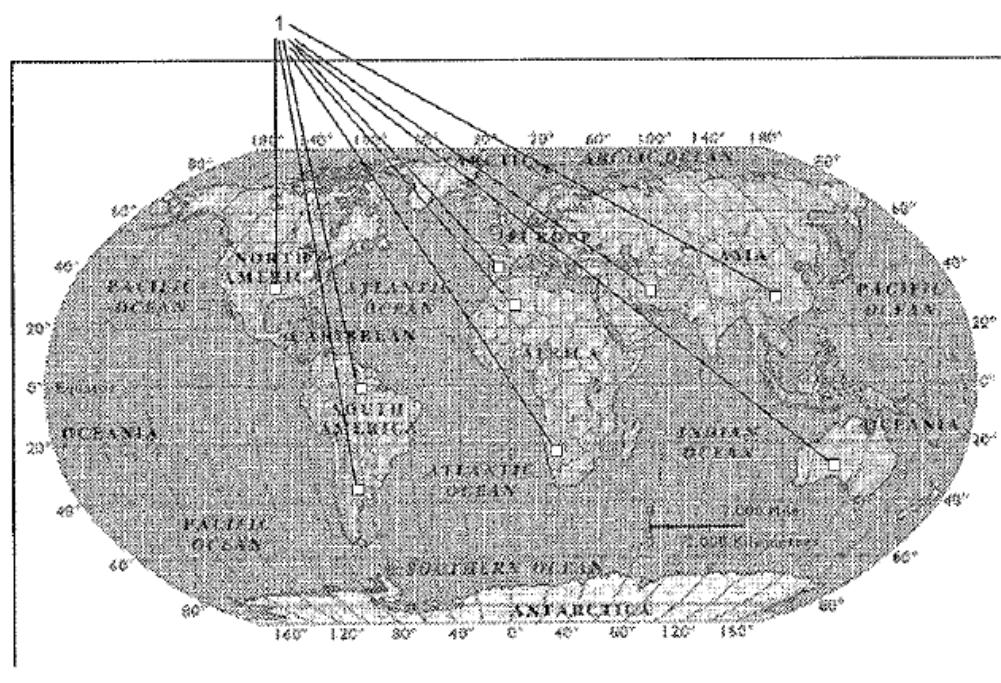


FIG. 4

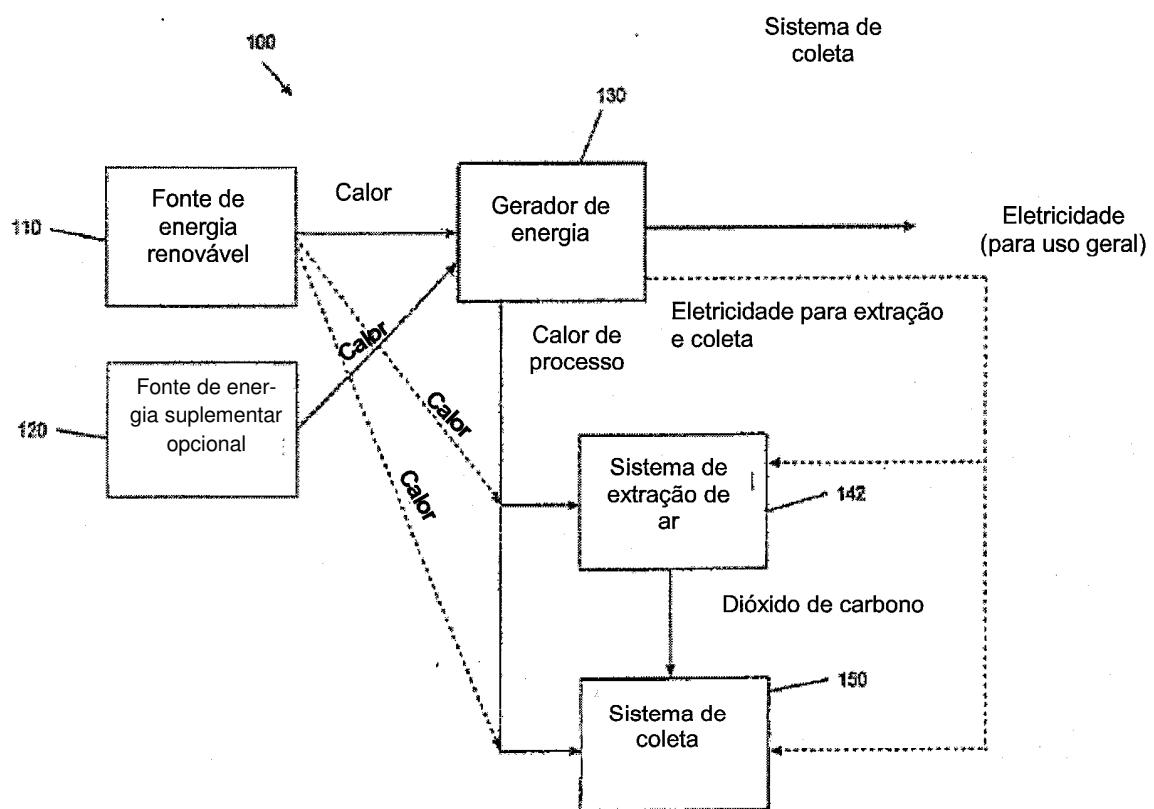


FIG. 5

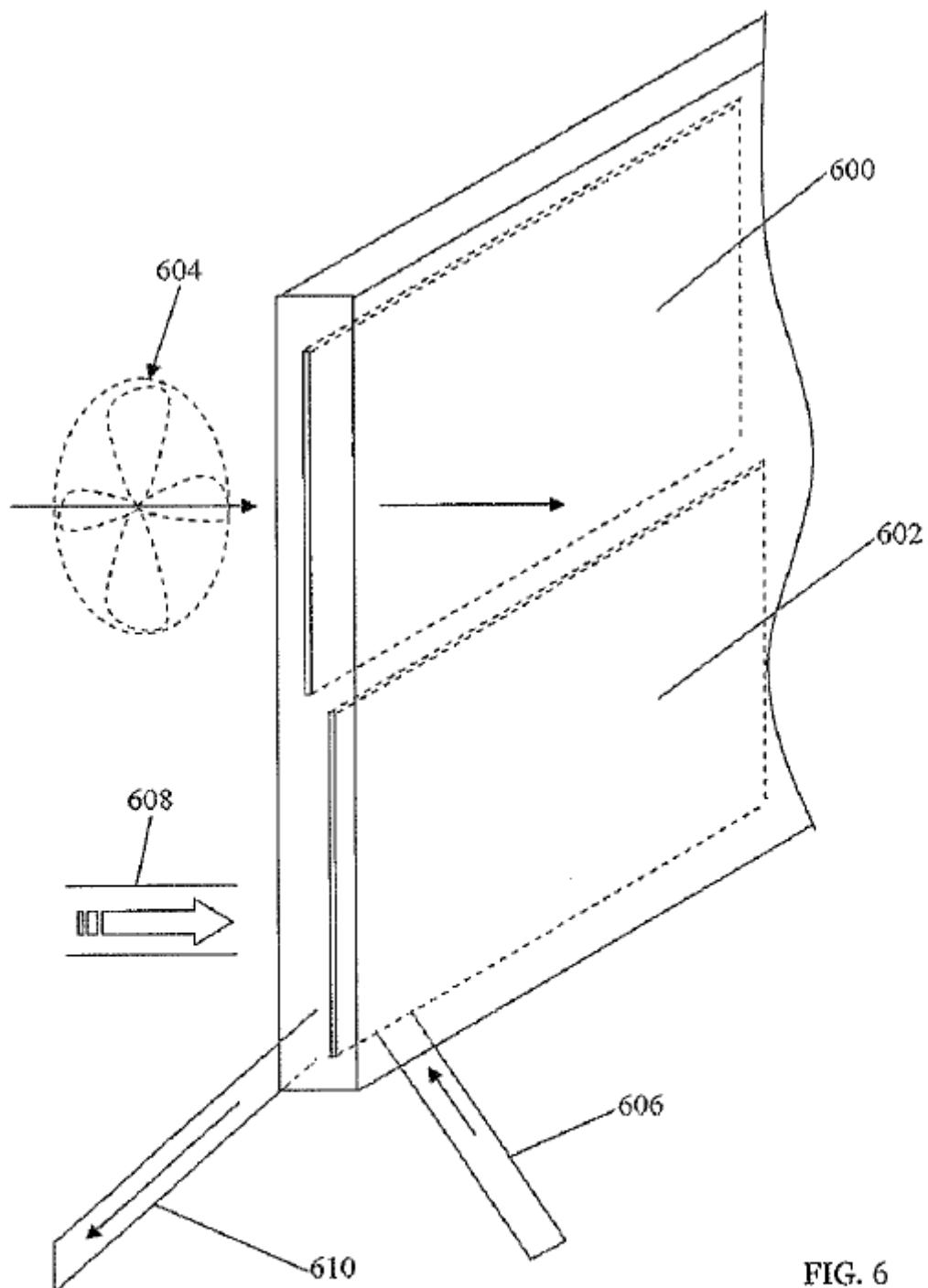


FIG. 6

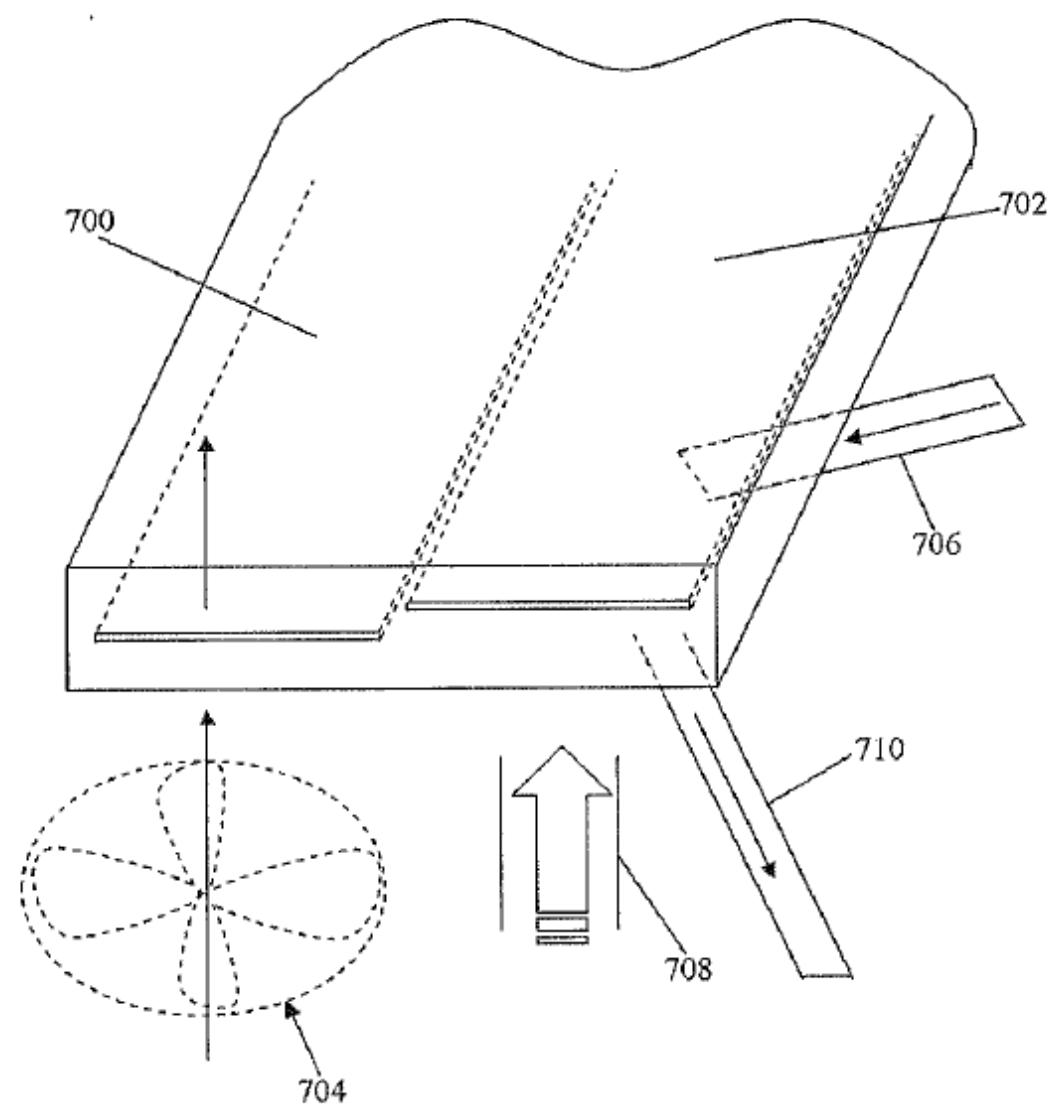
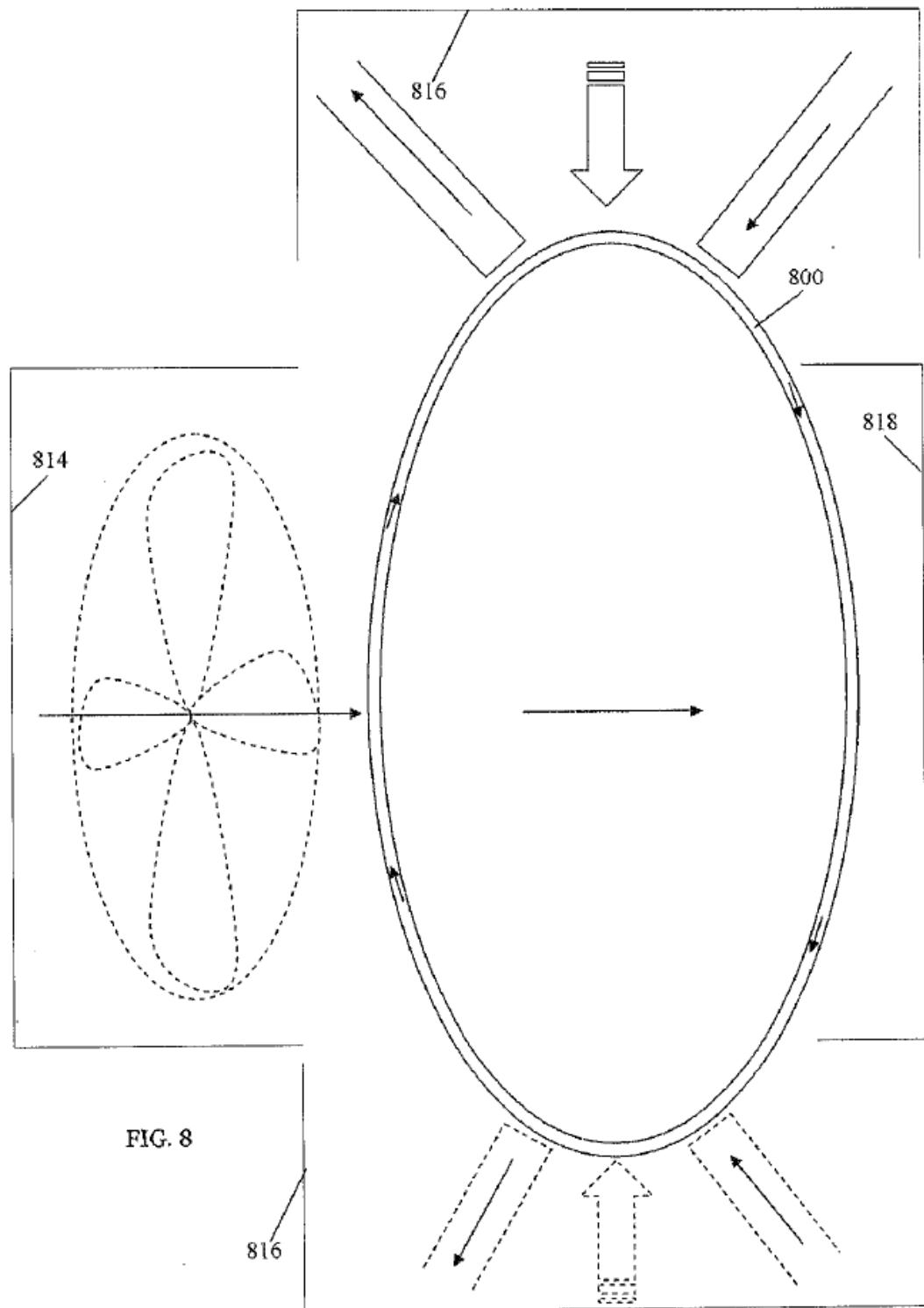


FIG. 7



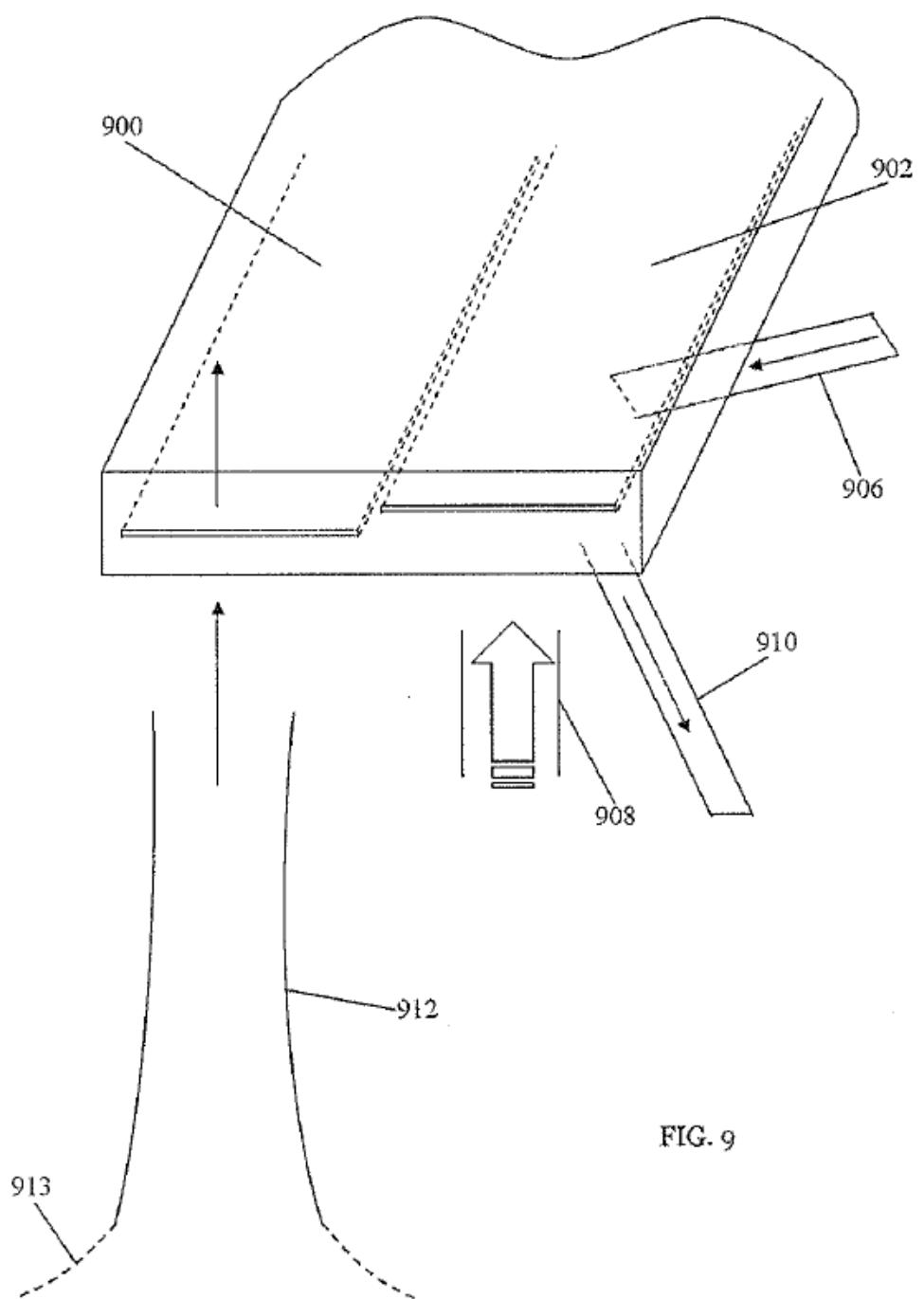


FIG. 9