República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

BR102019006913B1

(11) BR 102019006913-9 B1

(22) Data do Depósito: 04/04/2019

(45) Data de Concessão: 05/08/2025

(54) Título: PROCESSO DE REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DE AMBIENTES CONFINADOS UTILIZANDO CONTACTORES COM MEMBRANAS

(51) Int.Cl.: B01D 53/14; B01D 53/62.

(52) CPC: B01D 53/14; B01D 53/62.

(73) Titular(es): DIRETORIA-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA; INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

(72) Inventor(es): FELIPE BRANDÃO DE SOUZA MENDES; CRISTIANO PIACSEK BORGES; ALBERTO CLÁUDIO HABERT.

(57) Resumo: PROCESSO DE REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DE AMBIENTES CONFINADOS UTILIZANDO CONTACTORES COM MEMBRANAS A presente invenção tem como objeto um processo de remoção de contaminantes de correntes gasosas, especificamente da remoção de CO2 do ar atmosférico de ambientes confinados, utilizando contactores com membranas e água salgada como líquido extrator, principalmente água do mar. O ar contaminado é direcionado por um soprador através dos contactores com membranas onde ocorre a remoção dos contaminantes. A corrente líquida contaminada, que pode ser pressurizada, é descartada em ambiente aquático, sendo que o ar purificado retorna para o ambiente confinado. O processo tem também como vantagem a eliminação de etapas de regeneração de um líquido absorvedor comumente usado em processos convencionais, que ocupam mais espaço e que podem ser fontes de vazamentos nocivos. O processo pode ser integrado com um sistema de filtração e/ou purificação, como a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração ou a osmose inversa.

PROCESSO DE REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DE AMBIENTES CONFINADOS UTILIZANDO CONTACTORES COM MEMBRANAS

CAMPO DA INVENÇÃO

[1] O presente pedido de patente está relacionado a um **processo** integrado de remoção de contaminantes gasosos em espaços confinados, com média e alta complexidade, por meio de contactores com membranas integrados ou não a um sistema de filtração e/ou processo de purificação, podendo ser um processo de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração ou osmose inversa, com a utilização de água salgada ou salobra.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[2] Segundo a Norma Reguladora nº. 33 (NR-33) de Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados, publicada pelo Ministério do Trabalho em 2006, "Espaço Confinado é qualquer área ou ambiente não projetado para ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio".

[3] Espaços confinados com alta complexidade são característicos de ambientes onde não há possibilidade de renovação natural de ar, há a contaminação por gases, aerossóis e/ou vapores, além da presença humana constante neste tipo de ambiente por até centenas de dias. Os principais poluentes presentes neste tipo de ambiente são o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), o hidrogênio (H_2), aerossóis (desodorantes) e vapores orgânicos (COV). Espaços confinados desta natureza ocorrem tipicamente em submarinos.

[4] Diversas soluções tecnológicas são adotadas para a remoção do dióxido de carbono em submarinos, a saber: absorção utilizando aminas líquidas (monoetanolamina – MEA) ou aminas sólidas (benzil amina) e adsorção por meio de peneira molecular (zeólitas).

[5] A tecnologia de absorção utilizando aminas líquidas, principalmente monoetanolamina – MEA, consiste em passar o ar contaminado com CO_2 através de uma coluna de recheio em contracorrente ou concorrente com o líquido absorvedor. O gás carbônico é quimicamente absorvido pela amina líquida em temperatura ambiente e, portanto, removido do ar. A amina rica em CO_2 passa por um processo de regeneração que consiste no aquecimento do líquido em um refervedor. O CO_2 liberado é então descartado da atmosfera do submarino. Essa tecnologia envolve o risco potencial de vazamento de vapores de MEA na atmosfera confinada do submarino, o que pode ocasionar danos à tripulação. Além disso, o processo de aquecimento consome bastante energia (US2592762 e US3042497).

[6] A planta de remoção de CO_2 baseada em aminas sólidas é composta por dois ou mais reatores de leito fixo, um operando na remoção do contaminante e outro sendo regenerado com altas temperaturas, principalmente por vapor d'água superaquecido. Apesar de operar de forma semelhante à planta de aminas líquidas, essa tecnologia utiliza amina sólida incorporada a um polímero em vez de uma amina líquida. O consumo de energia com a regeneração do absorvente é elevado, porém menor do que quando comparado ao utilizado na planta de aminas líquidas. Além disso, o risco de contaminação por vapores tóxicos de amina é minimizado, uma vez que ao absorvente encontra-se no estado sólido (US5061455).

[7] Outra solução tecnológica para a remoção do CO_2 de ambientes confinados é a utilização de peneiras moleculares. Industrialmente, zeólitas microporosas com elevada área e poros com tamanhos regulares ou carvão ativado são utilizadas como peneiras moleculares. O processo consiste na adsorção do CO_2 nos poros do adsorvente, ao passar a corrente gasosa contaminada por uma coluna de leito fixo. Quando ocorre a saturação dos sítios ativos do adsorvente, a corrente gasosa é direcionada para outra coluna e a primeira passa por um processo de regeneração.

[8] Os processos convencionais apresentam como desvantagens a possibilidade de contaminação da atmosfera do submarino por vapores tóxicos do absorvente, o elevado consumo energético para a recuperação do absorvente, a complexa operação para a regeneração do adsorvente e o elevado grau de investimento inicial (US2545194).

[9] Foi verificado que a absorção de CO_2 utilizando contactores com membranas consiste em um processo para remover o CO_2 de uma corrente gasosa utilizando uma corrente de líquido através de uma membrana, que tem como papel fundamental criar uma interface entre os dois fluídos. Esse tipo de processo apresenta como vantagem, em relação aos processos convencionais de absorção, a independência de operação entre a corrente líquida e gasosa, maior área de contato entre os fluídos, o que leva a redução do volume do equipamento, e maior economia de espaço, devido a elevada razão área/volume (m^2 de membrana/m^3 de equipamento), o que é característico aos processos de separação com membranas.

[10] O processo aqui proposto utiliza contactores com membranas e água do mar como absorvente para a remoção do CO_2 de ambientes confinados, não sendo necessária a etapa de regeneração do absorvente, gerando uma evidente economia de energia. Quando o líquido absorvedor utilizado deve ser regenerado o equipamento que realiza esta operação ocupa um espaço valioso do ambiente confinado, além de inevitavelmente, consumir energia e poder gerar vapores tóxicos, dependendo da natureza do líquido (ex: aminas), contaminando consequentemente o ar atmosférico do espaço confinado.

[11] O processo de remoção de contaminantes em espaços confinados de que trata o presente evento, apresenta como vantagens em relação aos processos convencionais, tanto a diminuição de volume de equipamento, quanto a diminuição do risco de contaminação do ambiente.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[12] A Figura 1 apresenta um fluxograma de processo em que o ar contaminado do espaço confinado é conduzido para o contactor com membranas (20) através da tubulação (2). No Contactor com Membranas (20) ocorre a transferência de massa do CO_2 da corrente gasosa para a corrente líquida e o ar purificado retorna para o espaço confinado através da corrente (4). O líquido absorvedor é conduzido pela corrente (6) para o equipamento (20) onde captura o CO_2 da corrente gasosa e sai contaminado através da corrente (8) e é descartado no mar.

[13] A Figura 2 apresenta um fluxograma de processo em que o ar contaminado do espaço confinado é conduzido para o contactor com membranas (20) através da tubulação (2). No Contactor com Membranas (20) ocorre a transferência de massa do CO_2 da corrente gasosa para a corrente líquida e o ar purificado retorna para o espaço confinado através da corrente (4). O líquido absorvedor é conduzido pela corrente (10) para o sistema de purificação/filtração (22) onde é purificado. O líquido absorvedor purificado é conduzido pela corrente (6) para o equipamento (20) onde captura o CO_2 da corrente gasosa e sai contaminado através da corrente (8) e é descartado no mar. O rejeito do processo de purificação/filtração é descartado por meio da corrente (12).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[14] O sistema pode compreender um ou mais contactores com membranas, onde ocorrerá o contato entre o gás contaminado e o líquido absorvedor, que podem ser precedidos de um sistema de filtração e/ou purificação, podendo ser uma microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração ou osmose inversa, de modo a purificar o líquido absorvedor antes de entrar no contactor. Além disso, o sistema pode compreender bombas, compressores, sopradores, conectores, válvulas e sensores;

[15] Um dos objetos da presente invenção é um método de separação que compreende as seguintes etapas:

(a) Injeção de ar contaminado nos contactores com membranas por meio de um soprador ou não;

(b) Injeção do líquido absorvedor nos contactores com membranas por meio de uma bomba ou não;

(c) Contato do gás contaminado com o líquido absorvedor no interior do contactor;

(d) Reinjeção do ar purificado no ambiente;

(e) Descarte ou não do líquido absorvedor;

[16] O dito método de separação pode, opcionalmente, incluir pelo menos uma etapa de filtração e/ou purificação, podendo ser microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração ou osmose inversa, integrada à remoção de contaminantes realizada nos contactores com membranas;

[17] O dito método de separação pode ainda ser integrado, em uma configuração específica, com um monitoramento *online* da qualidade do ar através de, pelo menos, dois sensores *online* de CO_2 localizados a montante e a jusante dos contactores com membranas;

[18] A tecnologia desenvolvida pelos inventores da presente invenção permite empregar o mesmo sistema de remoção de contaminantes em diferentes campos, tais como, a purificação da atmosfera de ambientes confinados, a purificação de biogás e a remoção de CO_2 de metano;

TESTE DE DESEMPENHO

[19] A eficiência e o desempenho dos contactores com membrana na remoção de CO_2, no processo aqui proposto, foram comprovados em testes laboratoriais conforme descrito a seguir.

[20] As condições de operação selecionadas para a caracterização de contactores com membrana na remoção de CO_2, de uma mistura de 10% de CO_2 e de 90% de N_2, são relacionadas na Tabela 1;

TABELA 1: CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS UTILIZADAS PARA REMOÇÃO DE CO2 POR CONTACTORES COM MEMBRANAS

#EXPERIMENTO	PRESSÃO (BAR)	COMPOSIÇÃO DE NACL (%)	TEMPERATURA (°C)	VAZÃO (L/H)
1	2	3,5	10	20
2	2	3,5	30	20
3	2	3,5	10	50
4	2	3,5	30	50

[21] O processo de remoção de CO_2 utilizando uma solução salina como líquido absorvedor se mostrou viável, com um fluxo médio de CO_2, para as condições da Tabela 1, foi de $2,5 \times 10^{-5}$ mol/m^2/s.

[22] O fluxo de CO_2 aumenta com a vazão de líquido, passando de 2,0 x 10^{-5} mol/m^2/s para 3,5 x 10^{-5} mol/m^2/s quando a vazão aumenta de 20 L/h para 50 L/h;

[23] O fluxo de CO_2 diminui com o aumento da temperatura, passando de 2,0 x 10^{-5} mol/m^2/s para 1,5 x 10^{-5} mol/m^2/s quando a temperatura aumentou de 10 ºC para 30 ºC;

[24] As membranas utilizadas nesses testes foram fibras ocas anisotópicas porosas de polipropileno.

[25] Cálculos computacionais foram efetivados a partir dos parâmetros experimentais obtidos e permitem avaliar o desempenho do processo de remoção de CO_2 para uma faixa ampla de concentração de NaCl (0,1 a 4 %), temperatura (0 ºC a 50 ºC), vazão de líquido (7 a 100 L/h) e para dois níveis de concentração inicial de CO2 no ambiente confinado (1 e 10 % de CO_2)

[26] Confirma-se que o fluxo de CO_2 aumenta mais significativamente com a vazão do líquido absorvedor, e diminuiu mais significativamente com o aumento da temperatura. Entretanto, do ponto de vista operacional, esta redução pode ser contornada com aumento da vazão do líquido absorvedor; O processo se mostrou viável para remover CO_2 utilizando água salgada.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para remoção de gás carbônico (CO_2), **caracterizado pelo** fato da atmosfera pertencer a espaços confinados de média e/ou alta complexidade, bem como por utilizar contactores com membranas de fibras ocas e água salgada como líquido absorvedor, dispensando a etapa de regeneração do absorvente.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** não necessitar de estoque de líquido absorvedor.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 2, **caracterizado por** utilizar contactores com membranas de fibras ocas microporosas, densas e/ou compostas.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 3, **caracterizado pelo** fato de que adicionalmente compreende contactores com membranas de fibras ocas isotrópicas e/ou anisotrópicas.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 4, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água com pH superior a 7,0.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 5, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água salgada.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 6, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água salgada, podendo esta ser oriunda de sistema de purificação e/ou filtração.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 7, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água salgada, podendo esta ser oriunda de sistema de purificação, filtração, microfiltração, nanofiltração ou osmose inversa.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água salgada, podendo esta ser oriunda diretamente do sistema de circulação principal de uma embarcação aquática ou subaquática.

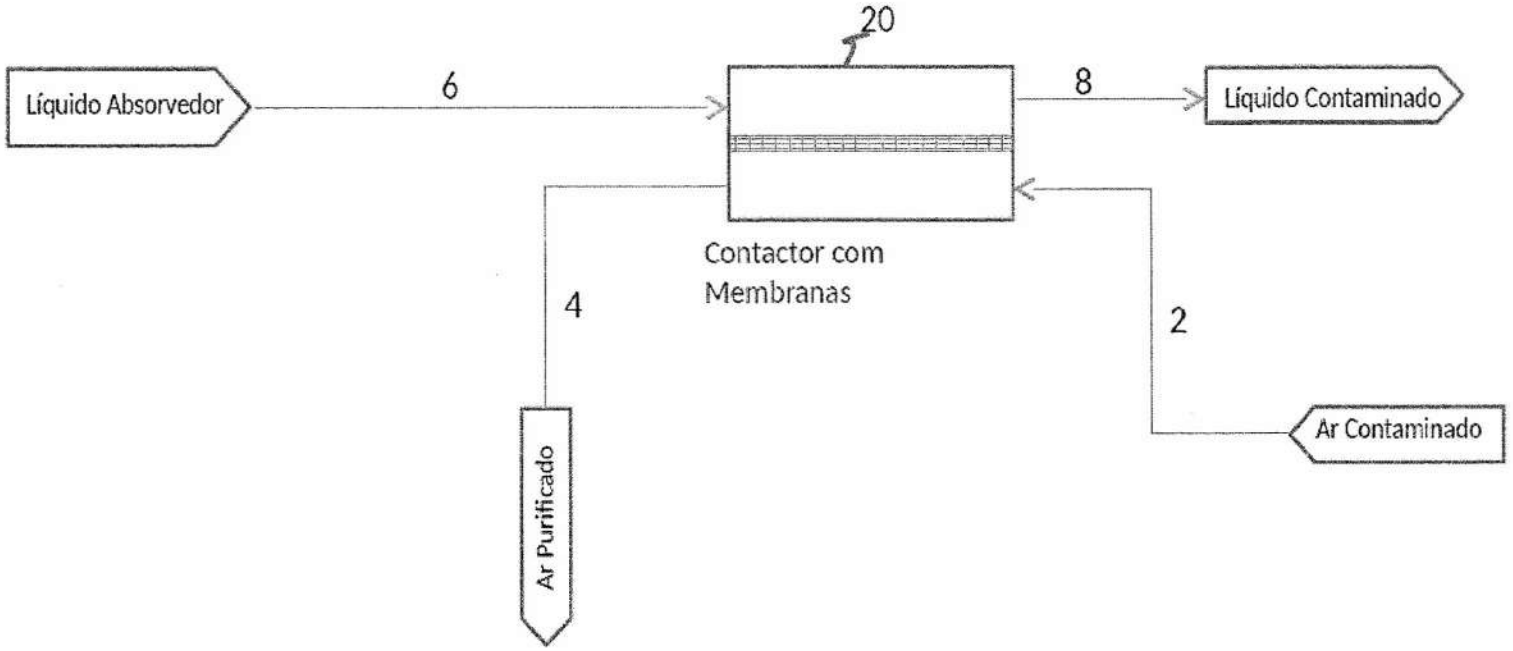
10. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 9, **caracterizado pelo** fato de que utiliza como líquido absorvedor água salgada, podendo esta ser oriunda de qualquer outra origem, principalmente do mar.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 10, **caracterizado pelo** fato de que utiliza a integração energética por meio do uso de válvulas redutoras de pressão e bombas elevadoras de pressão para regular a pressão do líquido, além de sopradores de ar.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 1 a 11, **caracterizado pelo** fato de ser integrado a um sistema de monitoramento online, com sensores a montante e a jusante do sistema de remoção de contaminantes, de modo a verificar e controlar a qualidade do ar.

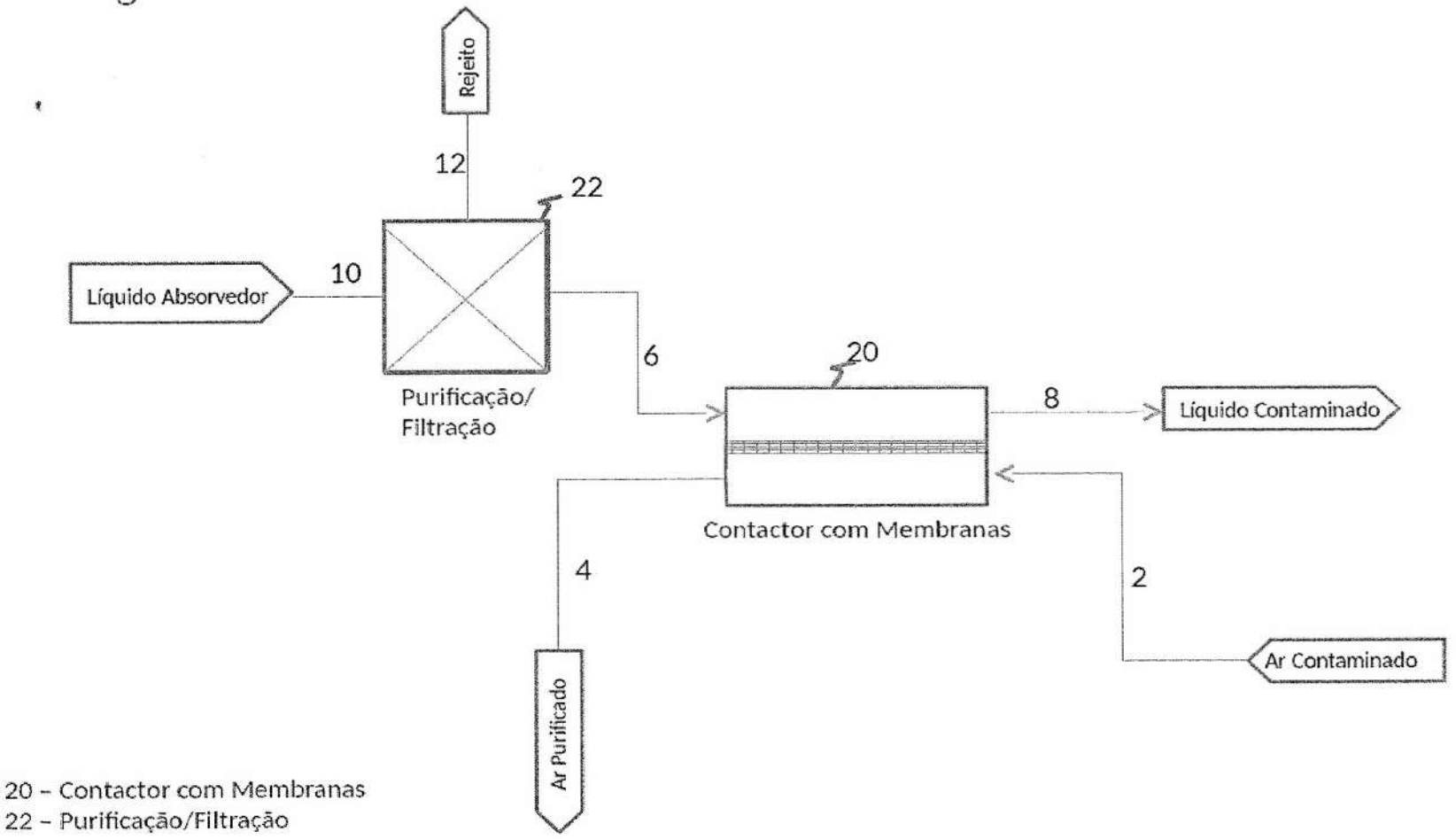
DESENHOS

Figura 1



20 – Contactor com Membranas

Figura 2


Rejeito
12
22
Líquido Absorvedor
10
Purificação/
Filtração
6
20
8
Líquido Contaminado
Contactor com Membranas
4
2
Ar Contaminado
Ar Purificado
20 – Contactor com Membranas
22 – Purificação/Filtração