



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

(21) **PI 0714427-0 A2**

(22) Data de Depósito: 04/06/2007  
(43) Data da Publicação: 13/02/2013  
(RPI 2197)



(51) *Int.Cl.:*  
A01K 63/04  
C02F 1/20  
C02F 3/22

(54) **Título:** PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE AQUOSO, PROCESSO DE CULTURA DE ORGANISMO VIVO EM MEIO AQUOSO RECIRCULADO, PROCESSO DE AQUACULTURA E INSTALAÇÃO PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO

(30) **Prioridade Unionista:** 29/03/2007 FR 0702308, 13/07/2006 US 60/830.343, 13/07/2006 US 60/830.343, 29/03/2007 FR 0702308

(73) **Titular(es):** Gilles Lemarie, Institut National Des Sciences Appliquees, Jean-Yves Champagne, Robert Morel

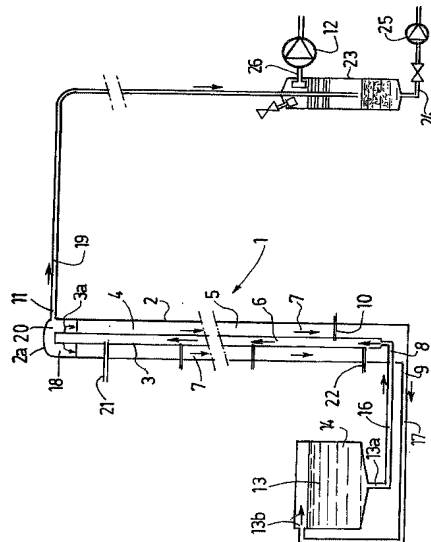
(72) **Inventor(es):** François Rene, Gilles Lemarie, Robert Morel

(74) **Procurador(es):** Bhering Advogados

(86) **Pedido Internacional:** PCT FR2007000920 de 04/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/006950de 17/01/2008

(57) **Resumo:** PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE AQUOSO, PROCESSO DE CULTURA DE ORGANISMO VIVO EM MEIO AQUOSO RECIRCULADO, PROCESSO DE AQUACULTURA E INSTALAÇÃO PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO. A presente invenção refere-se a um processo para tratar um efluente aquoso que compreende pelo menos um composto gasoso dissolvido, por exemplo, dióxido de carbono, consistindo pelo menos em parte na separação do composto do efluente, com a finalidade de obter uma fase aquosa tratada esgotada no composto, no qual o processo: (a) uma coluna líquida a montante do efluente aquoso é estabelecida, injetando em e distribuindo na coluna, na parte inferior, uma fase gasosa menos rica no composto do que o efluente aquoso, por exemplo, ar ou oxigênio, a fase gasosa que está sendo distribuída dentro da coluna sob a forma de bolhas, o volume da qual aumenta em direção ao topo, por meio do qual, no topo, um fluxo líquido misturado/gasoso é obtido; (b) o fluxo misturado líquido/gasoso é separado em um fluxo líquido que constitui a fase aquosa tratada e um fluxo do efluente gasoso enriquecido no composto gasoso, caracterizado pelo fato de que o fluxo misturado líquido/gasoso é separado sob pressão reduzida, estabelecendo uma sobrecarga gasosa entre o fluxo líquido e o fluxo gasoso, e extraído no último.



**PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE AQUOSO, PROCESSO DE CULTURA DE ORGANISMO VIVO EM MEIO AQUOSO RECIRCULADO, PROCESSO DE AQUICULTURA, INSTALAÇÃO PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO**

5 De maneira geral, a invenção se refere ao tratamento de efluentes aquosos, compreendendo um ou mais compostos gasosos dissolvidos, por exemplo, dióxido de carbono e/ou nitrogênio, a fim de separar todos ou alguns destes compostos, considerados, por exemplo, como poluentes, a fim de obter uma fase aquosa tratada, empobrecida de tais compostos gasosos, ou em qualquer caso em que a concentração desses compostos é controlada ou monitorada, por exemplo, abaixo ou acima de um limiar pré-determinado.

10 Em particular, mas a título de exemplo, o tratamento proposto pela presente invenção é parte de qualquer processo de cultura de um organismo vivo, como a aquicultura, em meio aquoso recirculado, segundo o qual em geral:

15 - é realizado um banho em meio aquoso, seja a céu aberto ou não, fracionado ou não em circuitos elementares em série ou em paralelos, dentro do qual os organismos vivos são cultivados, por exemplo, um peixe é submerso,

- uma corrente de efluente do qual se obtém um efluente aquoso a ser tratado, é retirada do banho para controlar a concentração de compostos gasosos dissolvidos nos efluentes aquosos,

20 - uma corrente de alimentação obtida a partir da fase aquosa tratada, isto é, empobrecida de compostos gasosos dissolvidos, é fornecida ou reinjetada no mesmo banho.

25 Por "organismo vivo" entende-se tanto os organismos do reino inferior, tais como microorganismos, algas, etc. como organismos vivos do reino superior, tais como peixes, crustáceos ou conchas.

Para fins de descrição, a presente invenção será apresentada, discutida e comentada com referência à aquicultura em meio aquoso recirculado.

30 De acordo com as condições da aquicultura em meio aquoso recirculado, para estimular o crescimento e o bem-estar dos peixes, sabe-se que é essencial hoje em dia controlar a concentração de gás dissolvido, para manter:

- o oxigênio dissolvido abaixo de certo limiar,
- o dióxido de carbono e nitrogênio dissolvidos.

35 Para reduzir também o efluente aquoso de aquicultura em pelo menos um composto gasoso dissolvido, por exemplo, dióxido de carbono dissolvido, é implementada uma coluna chamada coluna ventilada, constituída essencialmente por uma coluna com preenchimento que consiste de elementos discretos que favorecem a interface (ou dioptria)

de gás/líquido com uma grande área de superfície desenvolvida de acordo com a seção transversal e a altura da coluna. O gás residual a ser tratado é introduzido e distribuído no topo da coluna, acima do preenchimento, por exemplo, por pulverização, durante a fase gasosa de purificação ou separação, menos rica em compostos gasosos (dióxido de carbono) que o efluente aquoso, por exemplo, o ar comprimido, é introduzido na base da coluna, por exemplo, no preenchimento. Uma corrente líquida que constitui a fase aquosa tratada é extraído na base da coluna, e uma corrente de gás residual, rica em compostos gasosos dissolvidos, é extraído do topo da coluna. A expressão "menos rico em composto gasoso" significa que, mantendo todos os outros itens (incluindo a pressão), a concentração desses compostos gasosos na fase aquosa que deve estar em equilíbrio com a concentração de compostos gasosos na fase gasosa é inferior à concentração efetiva nos compostos gasosos na fase aquosa tratada. Na maior parte dos casos, implementar uma coluna ventilada equivalente a circulação de água através de uma fase gasosa, neste caso, o ar, em termos gerais, em uma proporção de cerca de dez volumes de ar no fluxo da contracorrente de um volume de água tratada.

A implementação destas colunas ventiladas, que podem ser tratadas como torres de resfriamento refrigeradas a ar, tem vários inconvenientes.

O seu rendimento de extração de gás dissolvido é restrito. Tratando-se de dióxido de carbono, por exemplo, não é possível extrair mais de 25 a 30% de dióxido de carbono dissolvido. Isto ocorre em virtude da área de superfície desenvolvida limitada da interface gás/líquido, que se encontra ainda mais reduzida pelo desenvolvimento de biofilmes no preenchimento da coluna, por um lado, e pelo entupimento e caminhos preferenciais da água no preenchimento, por outro lado.

Qualquer coluna ventilada também consome uma grande quantidade de energia para seu funcionamento, especialmente porque o efluente aquoso a ser tratado deve ser bombeado até o topo da coluna.

No que diz respeito à manutenção da temperatura da fase aquosa tratada de saída, em comparação com o efluente aquoso de entrada, o que pode ser importante em um processo de aquicultura em meio aquoso recirculado, a implementação de uma coluna ventilada dissipa naturalmente a energia térmica, o que obriga, em alguns casos, a aquecer a fase aquosa tratada na saída da coluna ventilada.

Qualquer coluna ventilada representa uma câmara com volume não negligenciável, dado o volume de ar (fase gasosa circulante), o que leva a uma instalação relativamente volumosa, o que pode representar um investimento substancial em materiais e infraestrutura.

E, do ponto de vista da segurança biológica, a exemplo das torres de resfriamento

refrigeradas a ar, a implementação de uma coluna ventilada pode gerar aerossóis que podem entrar em contato com o meio ambiente, tendo em conta a sobrepressão que existe na coluna ventilada.

5 Esta invenção tem como objetivo solucionar os inconvenientes já citados sobre as colunas ventiladas.

### **DESCRIÇÃO DA TÉCNICA ANTERIOR**

10 Para oxigenar um meio aquoso, na aquicultura, são conhecidos os sistemas de compressão de ar, que, na prática, possuem diferentes formas de aplicação. De maneira geral, um compressor de ar consiste, qualquer meio adequado, por exemplo, em um conduto vertical pelo menos parcialmente imerso em um banho em meio aquoso ou um conduto colocado fora do banho, é usado para estabelecer uma coluna líquida ascendente.

15 Para este fim, uma fase gasosa pressurizada é injetada e distribuída na coluna, na prática, na base do conduto vertical, uma fase gasosa sob pressão, que se dispersa na coluna líquida em forma de bolhas, cujo volume aumenta até o topo, onde uma corrente de líquido/gás, mais ou menos homogênea é obtida no topo do conduto vertical uma corrente de líquido/gás misturada, que é, por exemplo, removida pela extremidade superior do conduto vertical.

20 O transporte aéreo parece ser, portanto, um sistema dinâmico, mas sem peças mecânicas do tipo de bomba, desenvolvido para levar um líquido a certa altura, através do uso de bolhas maiores ou menores, obtidas pela injeção e distribuição de gás pressurizado em um líquido contido em uma coluna vertical.

Esses sistemas são bem conhecidos e foram desenvolvidos por diferentes autores, cf. D.J. REINEMANN e M.B. TIMMONS, *Aquicultural Engineering* 8 (1989), 29-46.

25 Na aquicultura, tais sistemas são amplamente utilizados para oxigenar o banho de meio aquoso, em que os peixes são levados, no próprio banho, ou fora dele, para um meio aquoso recirculado, ao injetar e distribuir o ar atmosférico pressurizado.

30 Qualquer transporte aéreo é capaz não só de oxigenar um efluente aquoso tratado por meio deste, quando a fase aquosa distribuída e injetada é com ar ou oxigênio, mas também de separar os compostos gasosos dissolvidos, como dióxido de carbono, do efluente aquoso, conforme foi estabelecido e estudado por diversos autores, cf. J CLAY LOYLESS e R.F. MALONE, *Aquicultural Engineering* 18 (1998) 117-133. Portanto, qualquer transporte aéreo tem a capacidade de purificar ou separar os compostos gasosos dissolvidos no efluente aquoso contendo esses compostos, sob a condição de empregar uma fase gasosa adequada para o transporte aéreo, isto é, menos rica em compostos gasosos que o efluente aquoso tratado.

35

De acordo com a publicação de A. RICHMOND, S. BOUSSIBA, A. VONSHAK e

R. KOPEL, Journal of Applied Phycology 5-327-332, 1993 e Figura 1, é descrito um método de aquicultura de micro-algas em meio aquoso recirculado, segundo o qual:

5 - é realizado um banho de meio aquoso no qual são cultivadas microalgas, na prática, contidas em carretas horizontais, com um distribuidor de entrada, e um duto de saída,

- é retirada do banho, pelo duto de saída, uma corrente de efluente enriquecida ou saturada com oxigênio, constituindo o efluente tratado,

10 - tal efluente é tratado com um transporte aéreo, conforme descrito acima, operando sob pressão positiva. Para este fim, é estabelecida uma coluna líquida ascendente de efluentes aquosos tratados, o ar é injetado e distribuído nesta coluna, na sua base, esta fase gasosa distribuída na coluna sob a forma de bolhas, cujo volume aumenta até o topo, através do qual é obtida uma corrente de líquido/gás misturada no topo.

15 - uma corrente de líquido/gás misturada é separada em um separador/desgaseificador em uma corrente líquida que constitui a fase aquosa tratada, que é enriquecida com dióxido de carbono e retorna ao distribuidor de entrada do banho, e uma corrente de gás residual enriquecida com oxigênio.

Esse processo de tratamento apresenta, na prática, um rendimento de extração de gás dissolvido relativamente limitado.

20 Diferentes documentos têm também descrito alguns métodos de tratamento de efluente aquoso ou um meio aquoso utilizando um transporte aéreo com o ar injetado sob pressão atmosférica:

- C.E. Boyd e C.S. Tucker, na obra "Pond aquaculture water quality management", páginas 354-373, 1998, descrevem a utilização de um transporte aéreo em um banho de solução aquosa de aquicultura, a céu aberto,

25 - O documento US-C-4 972 801 descreve o uso de um transporte aéreo dentro de um poço de abastecimento de água ou tanques para aquicultura, permitindo aumentar o abastecimento de água a ser distribuída no tanque, e oxigenar o fluxo de abastecimento de água,

30 - Os documentos US-C-5 961 831 e US-C-6 171 480 descrevem um sistema completo de aquicultura que compreende um transporte aéreo para elevar um efluente aquoso, retirado da saída do banho de aquicultura, após a filtragem e antes da biofiltragem.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção se refere a uma determinada aplicação de um transporte aéreo para solucionar os inconvenientes das colunas ventiladas.

35 A invenção tem como objetivo aumentar o rendimento de extração de gases dissolvidos do transporte aéreo.

De maneira geral, a presente invenção diz respeito a um método de tratamento de um efluente aquoso que compreende pelo menos um composto gasoso dissolvido, por exemplo, dióxido de carbono, consistindo em separar, pelo menos parcialmente, o composto de tal efluente, a fim de obter uma fase aquosa tratada, empobrecida do composto, um processo segundo o qual:

(a) é estabelecida uma coluna líquida ascendente (6) do efluente aquoso, ao injetar e distribuir (10) na base de tal coluna, uma fase gasosa menos rica em compostos que o efluente aquoso, por exemplo, ar ou oxigênio, tal fase gasosa na coluna ventilada é distribuída em forma de bolhas, cujo volume aumenta em direção ascendente, pelo qual se obtém uma corrente de líquido/gás misturada (18) ,

(b) a corrente de líquido/gás misturada (17) é separada em uma corrente líquida constituindo a fase aquosa tratada e uma corrente de gás residual (19) enriquecida com os referidos compostos gasosos, processo caracterizado pelo fato de que a corrente de líquido/gás misturada é separada por vácuo ao estabelecer um espaço aéreo de gás entre as correntes gasosas e líquidas, e ao aspirar esta última.

O método, de acordo com a presente invenção, funciona ao contrário do descrito na publicação de A. RICHMOND et al, graças ao vácuo acima citada, servindo para empobrecer a fase aquosa tratada com dióxido de carbono, ao mesmo tempo em que enriquece o oxigênio dissolvido.

Mais particularmente, mas não exclusivamente, o método de tratamento de desgaseificação, faz parte de um processo de cultura de organismo vivo, em meio aquoso recirculado, segundo o qual:

- um banho em meio aquoso é realizado, no qual os organismos vivos são cultivados;

- uma corrente de efluente, da qual se obtém um efluente aquoso, é retirada do banho;

- e o banho é fornecido com uma corrente de efluente, obtida a partir da fase aquosa tratada;

- a fase aquosa tratada sendo obtida fora do banho em meio aquoso, por meio de desgaseificação como previamente definido.

Para "vácuo", com relação à separação de correntes de líquido/gás misturada, entende-se que qualquer pressão inferior ao valor obtido pela redução, por exemplo, em cm de água, a altura da coluna líquida ascendente da pressão atmosférica ou pressão hidráulica do efluente aquoso a ser tratado.

Preferencialmente, o processo de acordo com a invenção será implementado como um sifão, e, para este fim, a corrente líquida separada da corrente de gás residual constitui

uma coluna líquida descendente, obtida por derramamento da corrente de líquido/gás misturada acima do ponto alto. Nesse caso, por exemplo, a coluna líquida descendente e a coluna líquida ascendente são concêntricas uma em relação à outra.

Em comparação com uma desgaseificação com uma coluna ventilada, o processo de tratamento de acordo com a presente invenção proporciona os seguintes benefícios:

- seu funcionamento consome pouca energia, uma vez que necessita apenas de comprimir a fase gasosa injetada na coluna líquida e bombear a corrente de gás residual, para colocar a separação da corrente de líquido/gás misturada sob vácuo,

- seu funcionamento dissipa pouca energia térmica, pois sua implementação pode ser realizada de forma compacta e muito organizada, por exemplo, dois tubos concêntricos dispostos um dentro de outro,

- conforme dito anteriormente, a instalação necessária para o seu funcionamento é relativamente simples e compacta,

- seu funcionamento é seguro, do ponto de vista biológico, pois é confinado, e principalmente a vácuo e

- a corrente de gás residual, após a compressão, pode ser condensada para recuperar energia da condensação de compostos gasosos extraídos.

O tratamento, de acordo com a presente invenção, também serve para:

- reoxigenação da fase aquosa tratada por meio da injeção de oxigênio na coluna ascendente e/ou descendente

- ozonização da fase aquosa tratada por meio da injeção de ozônio na coluna ascendente,

- e extração de partículas sólidas da corrente de gás residual, quando este toma a forma de espuma.

## **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

A presente invenção faz agora referência aos desenhos anexos, segundo os quais:

- a Figura 1 representa esquematicamente um equipamento completo para a aquicultura, em um meio aquoso recirculado, no qual tem lugar e se integra a um tratamento de efluente aquoso, resultante principalmente do metabolismo e crescimento de organismos vivos superiores, por exemplo, peixes,

- a Figura 2 representa, esquematicamente e principalmente o tratamento de efluente aquoso de aquicultura.

- a Figura 3 representa uma montagem experimental usada para testar a presente invenção.

## **DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES PREFERIDAS**

O equipamento de aquicultura mostrado esquematicamente na figura 1 é organizado

em torno de um banho 13 em meio aquoso, no qual os organismos vivos de interesse, tais como peixes, são cultivados ou criados, e este banho 13 está contido, por exemplo, em um tanque 14. A partir do banho 13, extrai-se uma corrente de efluente 15, que é filtrada mecanicamente 27, em seguida, é enviada para um tanque amortecedor 28. A partir do tanque pulmão citado, é estabelecido um ciclo de recirculação 29, que permite converter o efluente com nitrogênio, pela via enzimática ou bacteriana, tal como, amônia, nitrito e nitrato. Para este efeito, uma corrente é removida do tanque amortecedor 28, eventualmente completado 33 com água potável, aquecido no trocador de calor 30, esterilizado por radiação UV 31 e, em seguida, filtrado através de um leito bacteriano 32, e finalmente reenviado para o tanque 28. O efluente aquoso 16 a ser tratado de acordo com a presente invenção é obtido a partir do tanque amortecedor 28.

A instalação do tratamento de acordo com a invenção, para extração ou remoção de gases dissolvidos 19, isto é, o dióxido de carbono, e até certo ponto, o nitrogênio, é representado esquematicamente como referência número 1. Depois, recebe os efluentes aquosos 16, e gera uma fase aquosa tratada, ou seja, desgaseificada, a partir da qual uma corrente de alimentação 17 é reintroduzida no banho 13. Ao passar pela instalação de tratamento 1, o gás dissolvido é removido do meio aquoso, com a corrente de gás 19, como resultado de purificação ou separação gerado pela injeção no meio da fase gasosa 10, no caso, ar, e, portanto, menos rico em dióxido de carbono e/ou nitrogênio. Parte do efluente aquoso 16 introduzido na instalação de tratamento 1 pode ser obtido diretamente a partir do banho 13, ou seja, sem passar pelo ciclo de filtragem bacteriana 29. E, de maneira tradicional, considerando o banho 13 como um meio fechado, além da corrente de alimentação 17 e da corrente de efluente 15, o banho recebe nutrientes 34 para o crescimento e/ou desenvolvimento de organismos vivos cultivados, estes organismos são regularmente coletados ou extraídos do tanque 14, e uma extração de nitratos é efetuada regularmente 35.

A instalação de tratamento de efluente aquoso, representada na Figura 2, juntamente com o banho de aquicultura 13 compreende essencialmente uma coluna chamada de coluna de vácuo, formada por, pelo menos:

- 30 - dois tubos concêntricos, um externo 2 e outro interno 3, posicionados verticalmente, dispostos em uma câmara tubular interna 4 para uma coluna líquida ascendente 6 ou uma coluna líquida descendente 7 e uma câmara tubular externa 5 para a coluna descendente 7 ou para a coluna ascendente 6; o tubo exterior 2 que é fechado 2a na sua parte superior, acima da extremidade superior aberta 3a do tubo interior 3, de modo 35 que a câmara externa 5 seja fechada e isolada do exterior
- um meio de introdução 8 de efluente aquoso 16 a ser tratado, disposto na base da

câmara interna 4 ou da câmara externa 5, um meio de remoção 9 da fase aquosa tratada na base da câmara externa 5 ou a câmara interna 4,

- um meio de injeção (10) e distribuição da fase gasosa, na presença ar comprimido, na coluna ascendente 6, conectada a uma fonte da fase de gás comprimido, não mostrada,

5 - um meio de remoção 11 da corrente de gás residual, enriquecido com compostos gasosos previamente dissolvidos no efluente aquoso, conectado indiretamente a um meio de sucção 12, constituído por uma bomba de ar.

10 Com esta instalação, é possível tratar o efluente aquoso 16 que compreende o(s) composto(s) gasoso(s) dissolvido(s), neste caso, de dióxido de carbono, separando pelo menos parcialmente os compostos do efluente, para obter a fase aquosa tratada 17, empobrecida destes compostos.

Com relação à Figura 2:

15 a) uma coluna líquida ascendente 6 do efluente aquoso é inserida na câmara interna 4, ao injetar e distribuir 10 em tal coluna, na base, uma fase gasosa menos rica em compostos citados que o efluente aquoso, neste caso, de ar comprimido ou oxigênio onde esta fase gasosa é distribuída nesta coluna, sob a forma de bolhas (não mostrada), cujo volume aumenta na direção ascendente, onde se obtém uma corrente de líquido/gás misturada 18 mais ou menos homogêneo no topo,

20 b) esta corrente de líquido/gás misturada é separada em uma corrente de líquido 17, formando uma coluna líquida descendente 7 na câmara externa 5, obtida pelo derramamento da corrente misturada 18 acima da borda ou ponto alto 3a do tubo interior 3, e um a corrente gasosa 19, enriquecida com compostos gasosos.

25 De acordo com a invenção, na parte superior da câmara externa 5, é estabelecido um espaço aéreo de gás 20 entre a corrente de líquido 17 e a corrente de gás 19, correspondente à separação da corrente de líquido/gás misturada 18 e este espaço aéreo de gás está sob vácuo, graças à sucção da corrente de gás 19 pela bomba 12.

30 Conseqüentemente, a coluna de vácuo anteriormente descrita funciona como um sifão, como mostrado na Figura 2, onde a coluna líquida descendente 7, e a coluna líquida ascendente 6 são concêntricas em relação à outra, sendo a coluna líquida ascendente 6 interna, e a coluna líquida descendente 7 externa, ou vice-versa.

A instalação representada na figura 2 apresenta ainda as seguintes características, podendo ser consideradas isoladamente ou em combinação com outras.

O efluente aquoso 16 é introduzido na base da coluna ascendente 6 e a fase aquosa tratada é separada, na base da coluna descendente 7 substancialmente no mesmo nível.

35 Além do ar injetado, o oxigênio 21 é injetado e distribuído na coluna ascendente 6 em um nível elevado, em qualquer caso, superior ao nível de introdução 10 da fase gasosa.

Esta injeção de oxigênio serve, se necessário, para concluir a oxigenação do meio aquoso de aquicultura.

Se for necessário, por exemplo, esterilizar o meio aquoso, decompor os ácidos húmicos, e restabelecer o potencial redox do meio aquoso, o ozônio pode ser injetado e distribuído na coluna descendente 7, a um nível abaixo do nível de introdução 10 da fase gasosa.

Se necessário, a seção transversal da coluna líquida descendente 7 aumenta em direção descendente.

Geralmente, a corrente de gás residual está na forma de espuma. Consequentemente, são fornecidos meios tradicionais de remoção de espuma 23, para obter um exsudado líquido 24, podendo incluir uma fração particulada, tal como matéria orgânica em suspensão ou sob forma coloidal, e um gás residual 26 livre da fase líquida e partículas sólidas. O exsudado líquido 24 é removido por uma bomba 25. O gás residual 26 é bombeado pela bomba 12, cuja sucção está conectada ao espaço aéreo de gás 20 da câmara tubular externa 5.

Conforme mostra a figura 2:

- retira-se do banho de aquicultura 13 uma corrente de gás residual 15, a partir do qual o efluente aquoso a ser tratado 16 é obtido;

- e tal banho 13 é fornecido com uma corrente de alimentação 17, obtido a partir de, ou idêntico à fase aquosa tratada, esta última obtida fora do banho 13 a partir do efluente aquoso 16, em conformidade com o processo de tratamento na coluna de vácuo 1.

O nível de remoção 13a do banho 13 é substancialmente o mesmo que o da base da coluna líquida ascendente 6. E o nível de alimentação 13b do banho 13 está acima da base da coluna descendente 7.

A presente invenção é agora descrita, a título experimental, com referência à montagem experimental mostrada na Figura 3, e comentada a seguir:

51: bomba de vácuo

52: oxigenador

53: tanque equivalente ao banho de aquicultura 13

30 1: coluna de vácuo

10: fase aquosa injetada

54: tanque amortecedor ou de recuperação

### 1. Montagem experimental

1.1 Coluna de vácuo 1

35 A coluna de vácuo 1 consiste de dois tubos de PVC concêntricos 2, 3 com 4,5 m de altura e 25 cm de diâmetro para o tubo exterior 2 e com 4 metros de altura e 16 cm de

diâmetro para o tubo interior 13 formando um tubo em formato de U. O princípio desta coluna consiste na injeção de ar 10 no tubo interior de modo a carregar uma corrente de água 6 por transporte aéreo, em seguida, criar um vácuo pela aspiração do ar no topo da coluna 20 utilizando uma bomba de vácuo 12. Enquanto o ar 19 é aspirado para o topo da

5 coluna, a água levada por transporte aéreo desce 7 para o tubo externo 3. Para obter um sistema mantido em condições dinâmicas estáveis, foi criada uma aspiração ligeiramente superior à injeção. O excesso de água aspirado é armazenado em um tanque amortecedor 34 à frente da bomba 12, a fim de protegê-la. Essa água está carregada de finas partículas que foram carregadas até o topo da coluna por transporte aéreo. O sistema permite

10 observar a qualidade da água recuperada. A área da superfície desenvolvido por microbolhas de ar injetado possui cerca de  $9 \text{ m}^2 \cdot \text{L}^{-1}$ . A coluna opera com uma bomba de 175 W 12 para a aspiração. Para a injeção, o consumo de energia varia, dependendo do volume de ar que se pretende injetar. Este não deve ser superior a 35 W.

### 1.2 Restante da instalação

15 O tanque 53 tem uma capacidade volumétrica de  $1,5 \text{ m}^3$ . O  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  são fornecidos por cilindros pressurizados. O tanque amortecedor 54 tem capacidade volumétrica de aproximadamente 100 L. Uma válvula na parte inferior permite esvaziar o tanque ao final do experimento. Isso pode facilmente ser feito de forma automática para operação

20 contínua. Para reoxigenar a água, uma parte do fluxo de saída da coluna é circulada no oxigenador 52, no qual é injetado  $\text{O}_2$  puro.

## 2. Experimento

### 2.1 Experimento de degaseificação de $\text{CO}_2$

#### 2.1.1 Adição de $\text{CO}_2$

25 Para medir a eficácia da coluna de vácuo para degaseificar o  $\text{CO}_2$ , foi fixada uma quantidade de  $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $\pm 2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) de  $\text{CO}_2$  no tempo inicial ( $T_{0\text{min}}$ ). Para acrescentar gás  $\text{CO}_2$ , foi utilizado um cilindro de  $\text{CO}_2$  comprimido, difundindo dióxido de carbono através de um micro oxigenador para facilitar a dissolução do gás na água do tanque 53. Ao final do experimento ( $T_{60 \text{ min}}$ ) foi medida a quantidade de  $\text{CO}_2$  restante.

#### 2.1.2 Experimentos na coluna de vácuo com profundidade de injeção de ar variável

30 Microbolhas de cerâmica foram colocadas no tubo central 3 da coluna de vácuo 1 em diferentes profundidades (1, 2, 3 e 4 m), a fim de medir o efeito da profundidade da injeção de ar sobre a eficiência do transporte aéreo e degaseificação de  $\text{CO}_2$ .

#### 2.1.3 Experimentos na coluna de vácuo para vazão variável de ar e água

35 Para uma determinada vazão de ar ( $0,5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ), a vazão de água varia de 0,3 a  $3 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ , com uma válvula para medir o seu efeito sobre a eficiência da degaseificação. Do mesmo modo, para a vazão fixa de água ( $2 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ), a vazão de ar injetado varia de 0,03 a  $0,55 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

utilizando uma válvula.

## 2.2 Dimensionamento da função da bomba da coluna de vácuo

Para avaliar a eficácia da função bomba, mede-se a vazão de água, em função da altura manométrica total (hmt), para diferentes vazões de ar injetado (0,15, 0,3, 0,45 e 0, 6 L.s<sup>-1</sup>). O hmt corresponde à pressão que a bomba 112 deve fornecer para transferir um líquido de um local para outro. Para variar, aumentou-se a queda de pressão através da alteração do nível de saída de água no tanque 53 (0 a 40 cm).

## 2.3 Experimentos sobre as perdas térmicas da coluna de vácuo

Para calcular a perda de calor na coluna de vácuo, foi utilizado um resistor de aquecimento que ajudou a elevar a temperatura da água em pelo menos 5° C acima da temperatura do ar. A temperatura ambiente do ar não foi monitorada, e variou durante o experimento. A diferença de temperatura indicada corresponde, portanto, ao início do experimento. A perda de calor em W foi calculada considerando o número de calorías perdidas com relação ao volume de água no tanque. Foi validado através do cálculo da energia consumida pelo resistor ao calor do mesmo volume de água em um dado momento. No entanto, a umidade relativa não foi levada em conta.

## 2.4 Experimentos sobre a eficiência da extração de micropartículas

Para calcular a capacidade de extração de micropartículas pela coluna de vácuo 1, foi fornecida uma floração de algas proveniente de um tanque para preencher 2/3 do volume do tanque 53 com água do reservatório. Em seguida, a coluna de vácuo 1 foi operada, enquanto amostras de água são retiradas do tanque a T<sub>0</sub>, T<sub>30</sub> e T<sub>60</sub> min, e do tanque amortecedor 54 a T<sub>60</sub> min, a fim de quantificar a extração de microalgas.

## 3. Medição dos parâmetros mecânicos

### 3.1 Vazão de água

As vazões de água foram medidas por um medidor de vazão eletrônico Endress Hauser Promag W, no qual a medida é dada em L.min<sup>-1</sup> ± 10<sup>3</sup> L.min<sup>-1</sup>.

### 3.2 Vazão de ar

A vazão de ar foi medida por um medidor de vazão Brook Tube size R16-15-B. A medida é dada em mm ± 1 mm. Foi convertida em L.s<sup>-1</sup>, utilizando uma curva padrão.

## 4. Medição de parâmetros químicos

### 4.1 Dióxido de Carbono

Uma sonda CO<sub>2</sub> (analisador de dióxido de carbono Oxyguard) fornece diretamente o valor mg.L<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (em mg.L<sup>-1</sup> aproximado), através da medição de diatermanismo dos gases na água por radiação infravermelha. No entanto, uma vez que o aparelho exige uma utilização relativamente longa, foi marcada uma curva de referência da concentração de CO<sub>2</sub> como função do pH em água do mar. Isso foi utilizado para determinar os valores de

CO<sub>2</sub>, ao monitorar o pH no tanque com um medidor de pH mais próximo de 10<sup>-2</sup> (Instrumentos Ecospan Eutech pH 5). Os valores obtidos com o medidor de pH no início e no final do experimento foram validados com a sonda CO<sub>2</sub>.

#### 4.2 Oxigênio

5 O oxigênio foi medido utilizando um oxímetro (medidor de oxigênio dissolvido YSI 52), que fornece diretamente o valor em mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, e a porcentagem de saturação de O<sub>2</sub> na água. Sua precisão é de ± 0,1 mg.L<sup>-1</sup> ou ± 0,1%.

#### 4.3 Outros parâmetros

10 A temperatura da água foi monitorada com o termômetro imerso do medidor de pH mais próximo de 0,1°C. A salinidade foi monitorada com um refratômetro ATAGO a ± 1%. Para medir a pressão total de todos os gases dissolvidos na água (nitrogênio, oxigênio, CO<sub>2</sub>, etc), um saturômetro (Tensiômetro 300E ALPHA DESIGN) forneceu um valor aproximado em mmHg.

#### 5. Medição da quantidade de microalgas extraídas

15 A concentração de microalgas não foi determinada, no entanto, a medição da densidade óptica (OD) utilizando um espectrômetro a ± 10<sup>-4</sup> (Espectrômetro Beckman DU 640) forneceu uma medida aproximada da capacidade de extração de microalgas.

### 6. Resultados

#### 6.1 Caracterização de funcionamento da coluna de vácuo

##### 20 6.1.1 Função da bomba

Os experimentos serviram para caracterizar a capacidade do transporte aéreo ao carregar a água para dentro do sistema. A vazão de água variou em função da quantidade de ar injetado, a profundidade da injeção e do hmt. De fato, quanto mais ar injetado, maior a vazão de água resultante, quanto mais profundo o ar for injetado, maior a vazão de água, 25 e quanto maior o hmt, menor a vazão. Foram obtidos durante esta fase de experimentos vazões máximas de água em torno de 12 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pela simples utilização de transporte aéreo a 0,6 L.s<sup>-1</sup> de ar injetado.

##### 6.1.2 Função de desgaseificação da coluna de vácuo

Os dados totais sobre os experimentos foram usados para marcar os gráficos. As 30 imprecisões e diferenças entre os métodos de medição de CO<sub>2</sub> foram acrescentadas nos desvios padrões observados nos gráficos sobre a desgaseificação de CO<sub>2</sub>.

##### 6.1.2.1 Efeitos da profundidade da injeção na extração de CO<sub>2</sub>

A desgaseificação é mais eficaz quando a injeção é feita em uma profundidade superior a 2 metros. No entanto, não há diferença entre uma injeção a 2, 3 ou 4 m.

##### 35 6.1.2.2 Efeito da vazão de água na extração de CO<sub>2</sub>

A vazão de água tem um efeito sobre a eficiência da desgaseificação. Na verdade,

quanto maior a vazão de água, mais eficaz será a desgaseificação até atingir um patamar em torno de  $2 \text{ L.s}^{-1}$ . A eficiência máxima da desgaseificação parece ocorrer quando a vazão de água é de aproximadamente  $2,5 \text{ L.s}^{-1}$  para  $0,55 \text{ L.s}^{-1}$  de ar injetado, o que corresponde a uma proporção de água/ar igual a 5.

#### 5 6.1.2.3 Efeito da vazão de ar sobre a extração de $\text{CO}_2$

A quantidade de ar injetado tem um efeito claro sobre a ação de desgaseificação. Quanto à vazão de água, a extração de  $\text{CO}_2$  aumenta com a vazão de ar, mas a sua eficiência de desgaseificação reduzirá após atingiu um patamar. O patamar atingiu  $0,4 \text{ L.s}^{-1}$  do ar injetado por  $2 \text{ L.s}^{-1}$  de água de circulação correspondendo a uma proporção de água/ar igual a 5.

#### 10 6.1.3 Função da escumadeira na coluna de vácuo

O experimento demonstrou que, em uma hora de funcionamento, a densidade óptica da água do tanque cheio com  $2/3$  de água altamente concentrada com microalgas diminuiu na metade do seu volume. O concentrado extraído pela sucção da espuma é 120 vezes mais turvo que a água do tanque 53 no final do experimento.

### 15 7. Discussão

#### 7.1 Função da bomba da coluna a vácuo

Muitos estudos desenvolveram descrições empíricas e teóricas sobre a retenção de água para diferentes transportes aéreos. No entanto, as características dos transportes aéreos dependem das configurações específicas de cada sistema como as condições de entrada de ar e do tipo de injetor utilizado. Para o transporte aéreo testado aqui, a quantidade de água retida aumentou logicamente com a injeção de ar e a profundidade, e diminuiu com a altura manométrica total. No entanto, é importante notar que foram obtidos vazões de água bastante surpreendentes, até seis vezes maiores do que a vazão de ar injetado. Estes resultados são interessantes e podem ser explicados pelo vácuo na coluna testada.

#### 7.2 Otimização da coluna de vácuo

##### 7.2.1 Escolha da profundidade de injeção de ar

Os resultados do experimento mostram que a profundidade adequada para injeção de ar para a desgaseificação é acima de 2 m. No entanto, para obter simultaneamente uma vazão de água substancial sem utilizar mais energia, é necessário operar em maiores profundidades de injeção para ter uma vazão maior de água. Por isso, propõe-se injetar ar na coluna a 3 ou 4 m de profundidade. Desta forma, resultaria em uma vazão de água superior a  $10 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ , que poderia ser utilizado para outras funções sem ter que bombear a água.

##### 35 7.2.2 Escolha da vazão de água

Ao operar com baixa vazão de água, o tempo de permanência na coluna é maior, e a desgaseificação de  $\text{CO}_2$  é maior também, pois o volume de água de circulação é reduzido em relação ao volume de ar e vice-versa. No entanto, se o objetivo for a desgaseificação de um volume em um dado tempo, ao invés da desgaseificação instantânea, foi demonstrado que a melhor desgaseificação ocorre em uma vazão em torno de  $2,5 \text{ L.s}^{-1}$ , quando a injeção de ar fixa é de  $0,55 \text{ L.s}^{-1}$ . Além disso, a eficiência da desgaseificação não aumenta mais e parece mesmo diminuir. Com efeito, a  $2,5 \text{ L.s}^{-1}$ , obtemos a melhor relação entre o tempo de permanência da água na coluna e o tempo de renovação da água no tanque, para um proporção de água/ar em torno de 5.

### 7.2.3 Escolha da vazão de ar

Foi observado que, quanto mais ar é injetado, maior a desgaseificação, até um patamar em que a vazão de ar é de  $0,4 \text{ L.s}^{-1}$ , para uma vazão de água de  $2 \text{ L.s}^{-1}$ . A eficiência de desgaseificação diminui com o aumento da injeção de ar. A vazão de ar de  $0,4 \text{ L.s}^{-1}$ , para uma vazão de água fixa é de  $2 \text{ L.s}^{-1}$ , uma vez que demonstramos anteriormente que foi a melhor relação entre o tempo de permanência de água na coluna e da renovação da água no tanque para uma proporção semelhante, ou seja, com uma vazão de ar de  $0,5 \text{ L.s}^{-1}$ .

No entanto, ao variar a vazão de ar, o consumo de energia também varia. Desta forma, operar com uma vazão menor de ar pode aumentar consideravelmente a eficiência da desgaseificação. A extração de  $\text{CO}_2$  por  $\text{kW.h}^{-1}$  é muito mais eficiente com injeções de ar mais baixas. Isto significa, na teoria, que, para reduzir substancialmente os custos energéticos, é melhor operar com uma baixa vazão de ar, mesmo se a desgaseificação de  $\text{CO}_2$  for menos eficaz, mas suficiente para a segurança do organismo vivo. No entanto, operar com baixa vazão de ar não permite que o transporte aéreo forneça vazão de água a  $2,5 \text{ L.s}^{-1}$ .

Existem várias maneiras, portanto, de escolher a quantidade de ar injetada, embora tenha uma vazão de água suficientemente alta.

- ou através de uma coluna de vácuo que opera com uma proporção de água/ar de 5. A eficiência de desgaseificação é ótima, mas o consumo de energia é alto;

- ou para economizar energia, usam-se duas colunas de vácuo que operam com uma injeção de ar muito baixa ( $0,03 \text{ L.s}^{-1}$ ), mas que serve para obter uma vazão de água de  $2 \text{ L.s}^{-1}$ , ao acrescentar a vazão de água ( $0,96 \text{ L.s}^{-1}$ ). O custo da energia é aproximadamente 30% inferior a única coluna de vácuo que produz uma vazão de água de  $2 \text{ L.s}^{-1}$ , apesar das suas exigências com relação ao espaço adicional e manutenção.

Uma última alternativa, provavelmente mais econômica, seria a de alterar a geometria da coluna. De fato, ao aumentara seção transversal do tubo interior 3 da coluna,

a vazão de água será maior do que aquela para a mesma injeção de ar e, portanto, com o mesmo custo energético.

#### 7.2.4 Função da escumadeira

5 Ao mesmo tempo em que remove o  $\text{CO}_2$  da água, a coluna de vácuo é capaz de  
operar de forma muito eficaz como uma escumadeira para micropartículas, principalmente  
para microalgas. Após uma hora, a coluna foi capaz de retirar cerca de metade das algas do  
tanque. Os resultados obtidos foram inesperados. Com efeito, neste momento, estima-se  
que 80% do consumo de  $\text{O}_2$  dos filtros biológicos são utilizados para a degradação das  
10 materiais que contém carbono particulado, e apenas 20% serve para o tratamento de  
materiais que contém nitrogênio. Ao eliminar este material particulado, os filtros  
biológicos serão utilizados principalmente para o tratamento de material que contém  
nitrogênio, assim poderia não só reduzir o seu tamanho em 80%, mas também economizar  
em termos de adição de  $\text{O}_2$  no circuito reciclado. Além disso, dado que o tamanho dos ovos  
de parasitas (50 UM) é maior que a de microalgas (2 UM), se a coluna pode remover as  
15 microalgas, também pode remover os ovos de parasitas. Isto é uma grande vantagem em  
termos de biossegurança, em particular, para eliminar todas as formas de parasitismo em  
animais.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Processo de tratamento de efluente aquoso, compreendendo pelo menos um composto gasoso dissolvido, por exemplo, dióxido de carbono, consistindo em separar pelo menos parcialmente o composto do efluente, a fim de obter uma fase aquosa tratada, empobrecida no composto, processo segundo o qual:

(a) se estabelece uma coluna líquida (6) a montante do efluente aquoso, injetando e distribuindo (10) na coluna, no lado debaixo, uma fase gasosa menos rica no composto que o efluente aquoso, por exemplo em ar ou oxigênio, a fase gasosa se repartindo dentro da coluna sob a forma de bolhas, cujo volume aumenta em direção ao topo, em vista do que se consegue do lado do topo um fluxo misto (18) líquido/gás;

(b) se separa o fluxo misto líquido/gás em um fluxo líquido (17) que constitui a fase aquosa tratada e um fluxo gasoso (19) efluente enriquecido no composto gasoso,

o processo **caracterizado** pelo fato de que compreende separar sob depressão o fluxo misto (18) líquido/gás, estabelecer um fluxo gasoso (20) entre o fluxo líquido e o fluxo gasoso, e sugar (12) o último.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o fluxo líquido (17) separado do fluxo de efluente gasoso (19) constitui uma coluna líquida descendente (7), obtida por derramamento do fluxo misto (18) líquido/gás acima de um ponto alto (3a).

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a coluna líquida descendente (7) e a coluna líquida a montante (6) são concêntricas uma em relação à outra.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a coluna líquida a montante (6) é interior e a coluna líquida descendente (7) exterior, ou inversa.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o efluente aquoso (16) é

introduzido ao pé da coluna a montante (6), e a fase aquosa extraída ao pé da coluna descendente (7), aproximadamente ao mesmo nível.

5 6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o oxigênio é injetado e distribuído na coluna a montante (6), um nível superior ao nível de introdução da fase gasosa.

10 7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a seção da coluna descendente (7) aumenta em direção ao fundo.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o ozônio é injetado (22) e distribuído na coluna descendente (7) a um nível inferior ao nível de introdução (10) da fase gasosa.

15 9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o fluxo gasoso (19) efluente, sob a forma de espuma, é separado (23) em um exsudado líquido (24), compreendendo uma fração particulada, evacuada (25), e um efluente gasoso (26) aspirado (12).

20 10. Processo de cultura de organismo vivo em meio aquoso recirculado, **caracterizado** pelo fato de que:

dispor de um banho (13) de meio aquoso dentro do qual o organismo vivo é cultivado,

25 extrair do banho um fluxo de efluente (15) a partir do qual se obtém o efluente aquoso (16), e

alimentar o banho com um fluxo de alimentação, obtido a partir da fase aquosa tratada, a fase aquosa tratada sendo obtida fora do banho a partir do efluente aquoso conforme o processo segundo qualquer uma das reivindicações 1 a 9.

30 11. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o nível de extração (13a) do banho (13) é substancialmente o mesmo que aquele ao pé da coluna a montante (6).

35 12. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o nível de alimentação (13b) do banho (13) está acima do pé da coluna descendente (7).

13. Processo de aquacultura, **caracterizado** pelo fato de ser segundo qualquer uma das reivindicações 10 a 12.

14. Instalação para execução do processo, segundo a reivindicação 2, **caracterizada** pelo fato de que inclui:

5       dois tubos concêntricos, um externo (2) e o outro interno (3), arranjados verticalmente, proporcionando uma carcaça tubular interna (4) para a coluna a montante (6) ou a coluna descendente (7), e uma carcaça tubular externa (5) para a coluna descendente (7) ou a coluna a montante (6); o  
10       tubo externo (2) estando fechado (2a) em sua parte superior, acima da extremidade superior (3a) do tubo interno (3),

      um meio de introdução (8) do efluente aquoso (16) ao pé da carcaça interna (4) ou da carcaça externa (5); um meio de evacuação (9) da fase aquosa tratada ao pé da carcaça externa  
15       (5) ou da carcaça interna (4),

      um meio de injeção (10) e distribuição da fase gasosa na coluna a montante (6), unido a uma fonte da fase gasosa sob pressão,

      um meio de evacuação (11) do fluxo gasoso de efluente,  
20       conectado a um meio de aspiração (12) do último.

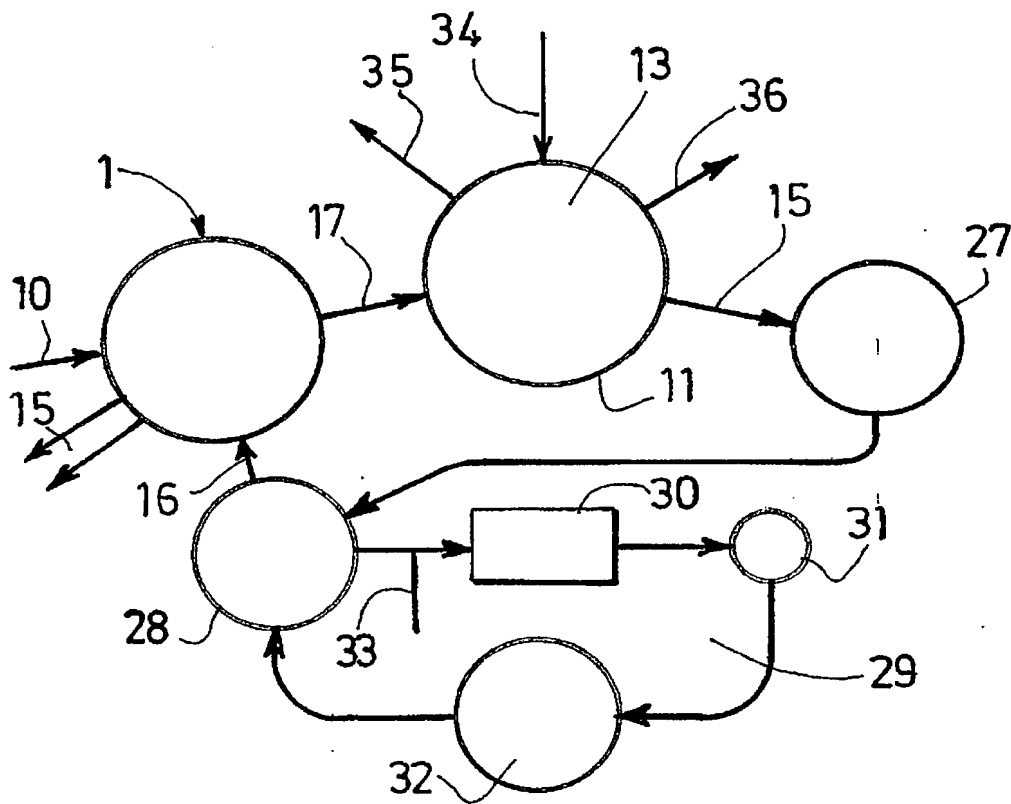


FIG. 1.

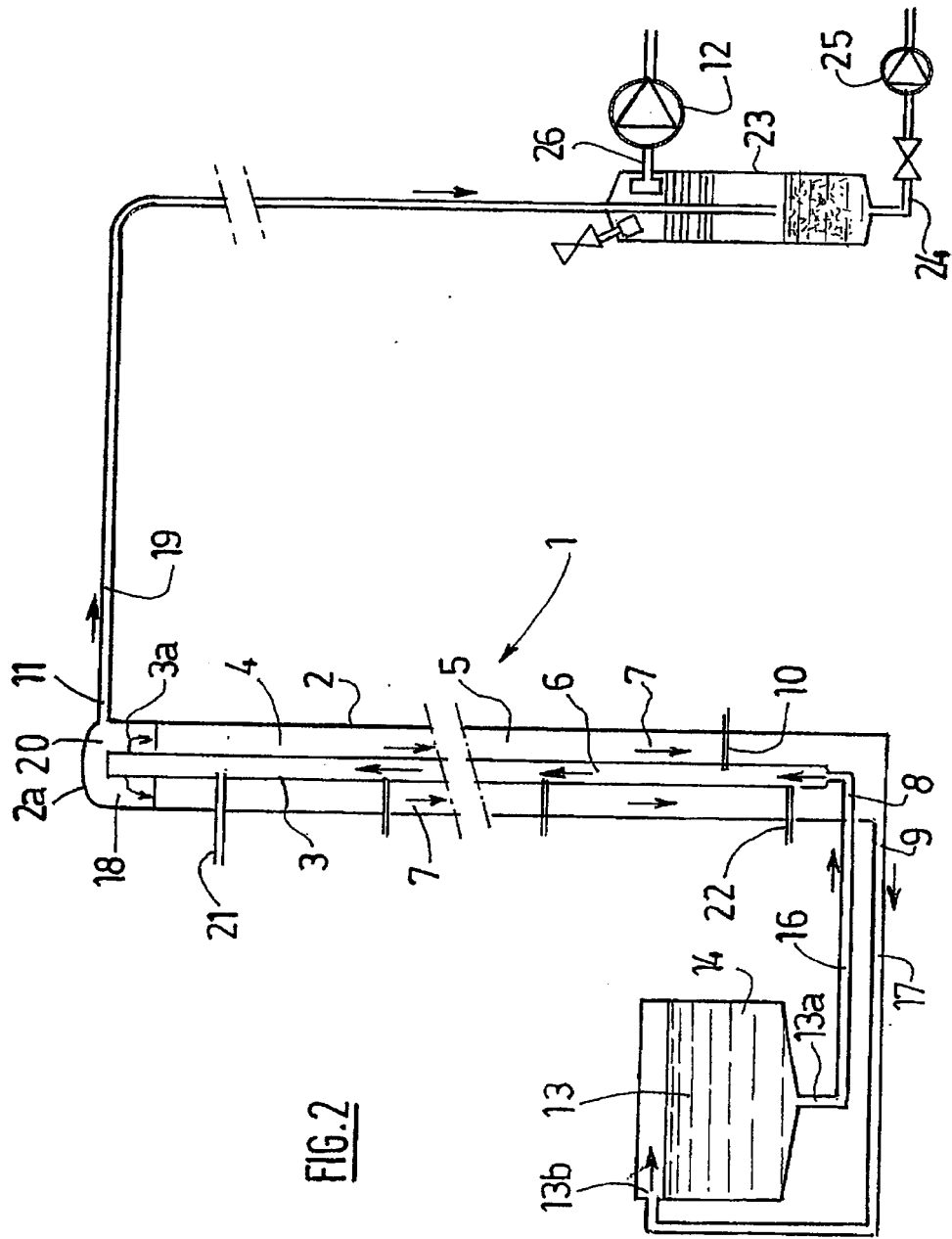


FIG. 2

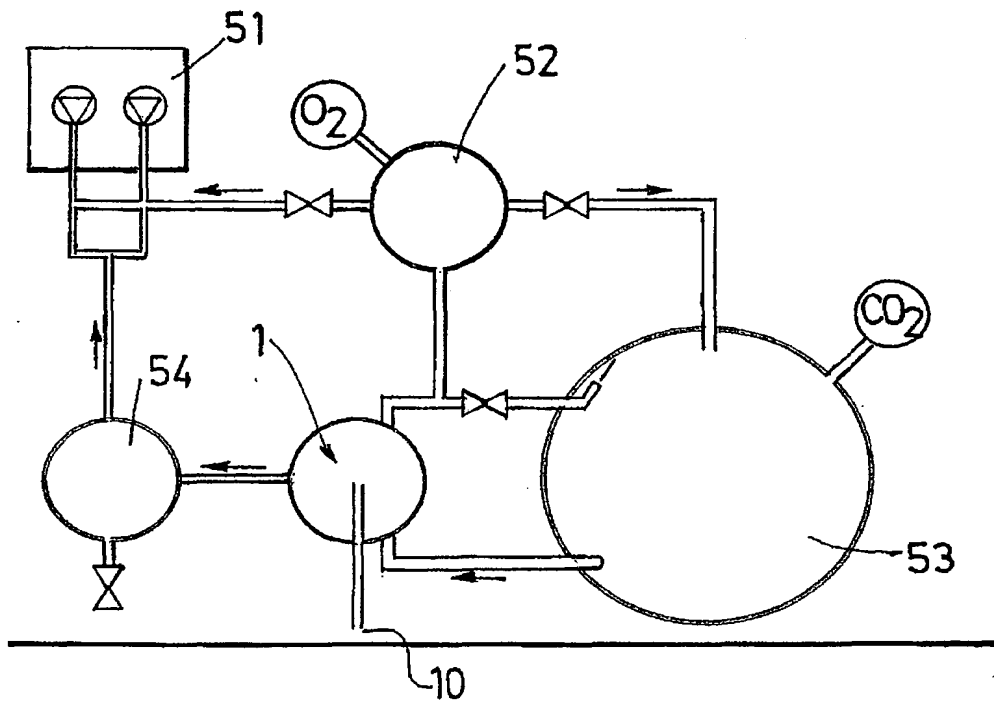


FIG.3

**PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE AQUOSO, PROCESSO DE CULTURA DE ORGANISMO VIVO EM MEIO AQUOSO RECIRCULADO, PROCESSO DE AQUACULTURA E INSTALAÇÃO PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO**

5 A presente invenção relaciona-se a um processo para tratar um efluente aquoso que compreende pelo menos um composto gasoso dissolvido, por exemplo, dióxido de carbono, consistindo pelo menos em parte na separação do composto do efluente, com a finalidade de obter uma fase aquosa tratada  
10 esgotada no composto, no qual o processo: (a) uma coluna líquida a montante do efluente aquoso é estabelecida, injetando em e distribuindo na coluna, na parte inferior, uma fase gasosa menos rica no composto do que o efluente aquoso, por exemplo, ar ou oxigênio, a fase gasosa que está sendo  
15 distribuída dentro da coluna sob a forma de bolhas, o volume da qual aumenta em direção ao topo, por meio do qual, no topo, um fluxo líquido misturado/ gasoso é obtido; (b) o fluxo misturado líquido/gasoso é separado em um fluxo líquido que constitui a fase aquosa tratada e um fluxo do efluente  
20 gasoso enriquecido no composto gasoso, caracterizado pelo fato de que o fluxo misturado líquido/gasoso é separado sob pressão reduzida, estabelecendo uma sobrecarga gasosa entre o fluxo líquido e o fluxo gasoso, e extraíndo no último.