



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102015028797-6

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102015028797-6

(22) Data do Depósito: 17/11/2015

(43) Data da Publicação Nacional: 05/09/2017

(51) Classificação Internacional: G01F 1/708; G01N 21/05; G01N 21/78.

(54) Título: MÉTODO, E DISPOSITIVOS, PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE PH

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 75095679000149. Endereço: RUA JOÃO NEGRÃO, 280 2ºANDAR, CURITIBA, PR, BRASIL(BR), 80010-200

(72) Inventor: CYRO KETZER SAUL; FÁBIO ADHEMAR DA SILVA RAHAL.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 17/11/2015, observadas as condições legais

Expedida em: 01/06/2021

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



MÉTODO, E DISPOSITIVOS, PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH

[001]. A presente patente de invenção refere-se a "MÉTODO, E DISPOSITIVOS, PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", mais especificamente um método que emprega a geração de uma alteração de coloração numa solução líquida contendo um indicador de pH, associada a aplicação de um pulso tensão, e a detecção desta alteração de coloração, por sensores ópticos, para realizar medidas de vazões em canais de dimensões micrométricas.

[002]. Dentre as principais características dos sistemas microfluídicos destaca-se a capacidade de controle preciso de volumes muito pequenos de fluidos (amostras, reagentes, etc). Essa característica, por sua vez, tem grande importância em determinadas aplicações que incluem: sistemas de dosagem de medicamentos, reações químicas controladas, mimetização de escoamentos de sistemas biológicos, células combustíveis e sistemas do tipo "lab-on-chip" aplicados a diagnósticos em saúde. As vazões envolvidas nestes sistemas podem variar de mililitros por minuto (mL/min) a nanolitros por minuto (nl/min). No contexto do controle de pequenos volumes de fluidos, os sensores de vazão são fundamentais, pois fazem parte do processo de aquisição dos dados. Esses dados, além de quantificarem a medida de vazão, podem servir de "feedback" para sistemas de bombeamento, o que é fundamental para um controle preciso de fluxo.

[003]. A maioria dos métodos tradicionais para a determinação de vazão em sistemas macrométricos, não é adequada para aplicação em sistemas que envolvem escoamentos em canais com dimensões micrométricas. Isso está associado ao fato de que os sensores de vazão aplicados no primeiro caso, em grande parte, são dependentes de fenômenos inerciais que não são eficientes na escala micrométrica. Além

disso, os sensores de vazão aplicados em escoamentos em macroescala muitas vezes utilizam elementos de difícil miniaturização, o que inviabiliza sua integração em sistemas microfluídicos. O desenvolvimento de sensores de vazão eficientes, precisos, de baixo custo e principalmente adequados à escala micrométrica, tem sido alvo de pesquisa nas últimas décadas. Estes novos sensores visam atender as necessidades específicas das várias aplicações que demandam desse tipo de medida.

[004]. Encontra-se na literatura uma variedade de sensores de vazão para sistemas microfluídicos. Estes se diferenciam basicamente pelo princípio de medição utilizado, que pode envolver: medidas mecânicas de elementos sob influência do fluxo (deflexão, tensão de cisalhamento); diferença de pressão entre pontos do sistema; Injeção de marcadores (tintas, bolhas, íons); transferência de calor (Calorimetria, Anemometria, pulso térmico); força de Coriolis; medidas de propriedades ópticas (índice de refração) e elétricas (Admitância, Impedância e Resistência).

[005]. Apesar do crescente número de dispositivos propostos para medição de vazão em sistemas microfluídicos, empregando os mais variados métodos, a maioria se torna inviável para a aplicação devido a alguns fatores como: a dificuldade de integração com sistemas microfluídicos devido à dificuldade de miniaturização de seus componentes; o elevado grau de complexidade na sua fabricação além da necessidade de uso de equipamentos auxiliares e softwares complexos para aquisição e análise dos dados.

[006]. O método descrito na presente patente de invenção é não-obstrutivo, ou seja, a sua influência na vazão do sistema é ínfima, podendo ser desconsiderada. As dimensões e geometrias utilizadas são adequadas e de fácil integração com sistemas microfluídicos. A construção dos dispositivos não envolve peças móveis. E por fim, permite

a possibilidade de utilização de um sistema de aquisição de dados simples e de baixo custo associados ao método desenvolvido.

[007]. Na presente patente de invenção o método de medição de vazão envolve ao menos uma entrada de fluido (11,11a,11b) , um canal de dimensões mili/micrométricas (2), uma saída de fluido (12,12a,12b) , um par de eletrodos condutores (3), um sensor de luz (15), um emissor de luz (17) e uma solução líquida contendo um indicador de pH solúvel na mesma, que pode ser por exemplo o vermelho de fenol. A figura 1a ilustra um detalhamento uma das possíveis configurações contendo um canal (2), dois eletrodos (3) e um conjunto sensor/emissor de luz (4).

[008]. A aplicação de uma diferença de potencial adequada entre os eletrodos (3), mostrada na figura 1b, resulta em variações locais de pH nas regiões próximas aos eletrodos (3). Estas variações locais de pH, por sua vez, induzem alterações locais na coloração da solução que escoam pelo canal, representadas pelas setas sólidas/tracejadas nas figuras 1b e 1c. As alterações na coloração da solução podem ser detectadas por um ou mais conjuntos sensor/emissor de luz (4) mostrada na figura 1c. As grandezas empregadas para a detecção dessas alterações, e conseqüentemente para determinar a vazão no canal (2), podem ser o intervalo de tempo entre dois níveis de intensidade luminosa e/ou a taxa de variação da intensidade luminosa.

[009]. Para gerar a alteração de coloração (sinal) da solução líquida contendo o indicador de pH são utilizados pelo menos um par de eletrodos. A alteração de coloração do fluido com indicador de pH ocorre em ambos os eletrodos, apresentando características ópticas diferentes em cada um deles. Em um dos eletrodos a reação de eletrólise da solução produz um meio ácido que vai produzir a alteração de coloração respectiva no indicador de pH em meio ácido (representado por setas cheias (7) nas figuras 1b e 1c). No outro eletrodo a reação de eletrólise produz um meio alcalino que também vai produzir a alteração

de coloração respectiva do indicador de pH em meio básico (representado por setas vazadas (8) nas figuras 1b e 1c). Estes eletrodos podem ser feitos utilizando quaisquer materiais condutores e técnicas de construção disponíveis no estado da técnica, compatíveis com os sistemas microfluídicos. As dimensões, formas e disposições dos eletrodos em relação ao canal, influenciam diretamente nas características da alteração de coloração da solução contendo o indicador de pH.

[010]. A intensidade e a duração temporal da diferença de potencial aplicada entre os eletrodos deve ser suficiente para gerar alterações locais de pH e conseqüentemente as alterações de coloração da solução líquida contendo o indicador de pH. O processo de geração das alterações de coloração deve ocorrer preferencialmente sem formação de bolhas visíveis. Qualquer fonte (5) que forneça diferença de potencial com as características mencionadas pode ser utilizada.

[011]. Para a detecção óptica da alteração de coloração do fluido contendo indicador de pH que escoar através do canal, pode ser utilizado qualquer sensor de luz (15) sensível à faixa de comprimento de onda do emissor de luz e da alteração de coloração gerada. As dimensões do sensor de luz devem preferencialmente ser compatíveis com as dimensões do canal (2) microfluídico, principalmente com a largura.

[012]. A posição do sensor de luz (15) em relação ao eletrodo onde a alteração de coloração é gerada influencia diretamente na intensidade do sinal detectado. Quanto mais próximo o sensor de luz (15) do eletrodo (3) maior a intensidade do sinal, devido à minimização dos efeitos da difusão.

[013]. A utilização de um emissor de luz (17) com intensidade constante, como um LED por exemplo, fornece um valor de intensidade luminosa de referência para o sensor de luz (15), que por sua vez é muito

importante no processo de detecção das referidas alterações. Este emissor de luz (17) pode ser qualquer fonte luminosa com dimensões adequadas ao sistema microfluídico e que preferencialmente não transfira calor à parte fluídica. O sensor de luz (15) e o emissor de luz (17) devem preferencialmente ser posicionados em oposição, de modo que luz emitida atravessasse o canal (2), perpendicularmente a direção de escoamento do fluido (6), e chegue ao sensor de luz (15).

[014]. O canal (2) onde a medida de vazão é realizada deve ter dimensões compatíveis com as dimensões dos eletrodos (3) e dos elementos emissor (17) e sensor de luz (15), em uma faixa que vai preferencialmente de alguns micrometros até alguns milímetros no caso da altura e da largura do canal (2), e de micrometros até alguns centímetros no caso do comprimento do canal (2), mantidas as proporções adequadas. O canal (2) envolvido no referido método de medição de vazão necessita de uma janela óptica, transparente ao comprimento de onda da luz emitida pelo emissor de luz, para que a luz atravessasse o canal e seja detectada pelo sensor de luz.

[015]. As técnicas e os materiais empregados na construção do canal podem ser quaisquer dentre os disponíveis no estado da técnica, desde que sejam adequadas aos requisitos necessários para o funcionamento do sensor de vazão. Um ponto importante é a relação entre as dimensões do canal (2) e a faixa de medida de vazão. Ajustando as dimensões e as formas dos canais, é possível alterar a faixa de vazão detectável pelo dispositivo sensor de vazão.

[016]. A medição de vazão envolvendo o método em questão exige a utilização de uma solução líquida que contenha pelo menos um indicador de pH, que seja preferencialmente translúcida, e apresente uma condutividade adequada as reações eletroquímicas que provocam as alterações locais de pH. O indicador de pH deve ser físico-quimicamente compatível com a solução líquida e deve apresentar

variação de coloração nas faixas de pH produzidas pela aplicação de tensão elétrica nos eletrodos. A condutividade elétrica da solução pode ser ajustada através da adição de quaisquer eletrólitos sólidos ou líquidos compatíveis (ex: sais, ácidos ou bases).

[017]. No caso do fluido, utilizado para medida de vazão, conter o indicador de pH e apresentar a condutividade adequada, o processo de medição torna-se mais simples tendo em vista que o fluido já possui as características necessárias para garantir o seu funcionamento. A vantagem dessa simplificação é especialmente interessante em aplicações como a caracterização prévia de sistemas de bombeamento microfluídicos. Um exemplo de solução de caracterização pode utilizar 1mM de Vermelho de Fenol e 10mM de NaCl em 50ml água bidestilada.

[018]. Em casos onde o fluido no qual se deseja medir a vazão não tenha as características de condutividade e/ou não possa conter o indicador de pH, a medida de vazão pode ser feita utilizando a confluência de dois fluidos diferentes em um canal (2) de análise. Nesta confluência, um dos fluidos é a solução que tem condutividade adequada e contém o indicador de pH, que será tratado como fluido de referência, e o outro é o fluido do qual se deseja medir a vazão, que será tratado como fluido principal.

[019]. Neste caso o processo de medição ocorre em uma etapa posterior ao uso fim do líquido principal. O líquido de referência circula por um canal paralelo contendo um sistema completo de medida de fluxo (1, 1a), descrito nesta patente, que determina sua vazão (Φ_R). Posteriormente, o fluido principal já utilizado é combinado com o fluido de referência e ambos passam por um segundo sistema completo de medida de fluxo (19, 19a, 23), descrito nesta patente, que determina a vazão da combinação de fluidos (Φ_C). Com o valor da vazão da combinação de fluidos e o valor da vazão do fluido de referência

medido anteriormente é possível determinar a vazão do fluido principal (ϕ_P) algebricamente, conforme a equação 1.

$$\phi_P = \phi_C - \phi_R \quad (1)$$

[020]. O método descrito nessa patente de invenção é caracterizado por permitir a medição de vazão de líquidos em canais (2) micrométricos através da geração e detecção de alterações de coloração em soluções contendo indicadores de pH. Uma das grandezas associadas à detecção da alteração de coloração que pode ser utilizada para determinar a vazão no canal (2) microfluídico é o tempo. Nesse caso, utiliza-se o intervalo de tempo (tempo de voo), relativo à passagem de uma alteração de coloração por um ou mais pontos do canal, para determinar a velocidade média linear do líquido. Conhecendo esta velocidade e a secção transversal do canal (2) é possível calcular a vazão. Essa técnica é conhecida na literatura como determinação de vazão por tempo de voo.

[021]. É importante ressaltar que nesse contexto a aplicação da tensão entre eletrodos (3) deve ser preferencialmente pulsada, para que a alteração de coloração também o seja. Outra característica importante do pulso de tensão é a sua duração temporal deve ser conhecida e preferencialmente controlável.

[022]. A medição do intervalo de tempo entre a geração da alteração de coloração da solução em um dos eletrodos e a detecção dessa alteração de coloração pelo sensor de luz, é uma das alternativas para determinar a vazão. Essa técnica exige o monitoramento do pulso de tensão para a obtenção do valor do tempo inicial e o monitoramento da passagem da alteração de coloração (sinal) para determinar o valor do tempo final.

[023]. Se a duração temporal do pulso de tensão for mantida constante, é possível adotar qualquer valor de tempo deste pulso como valor de tempo inicial e qualquer valor de tempo relativo à detecção da alteração de coloração pelo sensor como valor do tempo final. Por exemplo, a diferença de tempo pode ser calculada utilizando como tempo inicial o valor do instante de tempo do início do pulso de tensão nos eletrodos e como tempo final o valor de tempo associado ao valor máximo de intensidade (pico) da variação de coloração detectado pelo sensor de luz, esquematizado na Figura 1d. Uma vez definidos os pontos de referência para os tempos inicial e final estes devem ser mantidos inalterados ao longo do processo de medida.

[024]. Variações dessa técnica incluem a medida da diferença de tempo entre a passagem de uma alteração de coloração por dois sensores de luz consecutivos, dispostos ao longo do canal ou ainda o tempo de passagem de uma alteração de coloração completa pelo sensor de luz. A vantagem nesses casos é que o monitoramento do pulso de tensão aplicado não é necessário.

ESTADO DA TÉCNICA

[025]. As patentes citadas abaixo foram localizadas na busca efetuada pelo INPI e definem o estado da técnica sem representar arte prévia para a presente patente de invenção.

[026]. A patente US7004184 intitulada "*Compositions and methods for liquid metering in microchannels*" está relacionada ao movimento de microgotículas no interior de microcanais, e mais especificamente das composições, dispositivos e métodos empregados para controlar o movimentos e tamanhos destas microgotículas.

[027]. A patente US7225683 intitulada "*Composition pulse time-of-flight mass flow sensor*" está relacionada a um dispositivo capaz de operar em altas pressões para a detecção de vazões de fluidos em uma

ampla faixa de vazões (<1 nL/min to >10 µL/min) para medida de vazões em dispositivos microfluídicos. O referido dispositivo produz pulsos elétricos através de eletrodos para modificar a composição do fluido sob medida e detecta estas alterações eletricamente por meio de medidas eletroquímicas da alteração da condutividade. A vazão é determinada pelo tempo de voo entre a produção da variação composicional e a detecção da variação de condutividade elétrica do fluido.

[028]. A patente WO 2002057721A3 intitulada "Non-invasive time of flight flow measurement in a capillary" está relacionada a um sistema não invasivo de medida de fluxo de fluidos empregando tempo de voo, que pode empregar um elemento que promova uma mudança de fase, uma perturbação térmica, eletroquímica ou óptica no fluido que posteriormente será detectada mediante uma variação da condutividade elétrica do meio para definir a taxa de vazão do fluido em questão.

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DESENHOS

[029]. As configurações dos dispositivos apresentadas a seguir são meras ilustrações de possíveis configurações da arte associada a esta patente de invenção, e não podem ser consideradas como limitações à abrangência da mesma.

[030]. A figura 1 apresenta um diagrama esquemático de funcionamento do dispositivo, sendo que na figura 1a estão representados o canal (2), os eletrodos (3), o conjunto emissor/sensor de luz (4), a fonte de tensão (5) responsável pela geração do pulso de tensão, a seta indicadora da direção do fluxo do fluido (6), a alteração de coloração provocada pelo pH ácido representado por setas cheias (7), a alteração de coloração provocada pelo pH alcalino representado por setas vazadas (8), a representação gráfica em função do tempo do pulso de tensão (9) aplicado para produzir as alterações de coloração

no indicador de pH e a representação gráfica em função do tempo do sinal de intensidade luminosa (10) detectada pelo sensor óptico (15) devido à alteração de coloração no indicador de pH.

[031]. Ao aplicar uma diferença de potencial (9) entre os eletrodos (3), com intensidade e duração temporal adequadas, são geradas alterações de coloração do fluido (7 e 8) sobre os eletrodos (3). Estas alterações de coloração percorrem o canal no mesmo sentido do escoamento do fluido (6). Adotando o sentido do escoamento do conector de entrada de fluido (11) para a o conector de saída de fluido (12), a alteração de coloração (7) gerada no eletrodo (3) da esquerda segue o sentido do escoamento passando pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15). A passagem da alteração de coloração (7) pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15) gera uma variação no sinal registrado pelo sensor (10). Como mencionado anteriormente, o intervalo de tempo (Δt) associado ao deslocamento da alteração de coloração (7) (sinal registrado no sensor (10)) é utilizado para determinar a vazão.

[032]. A figura 2 mostra a configuração mais simples de um dispositivo para medição de vazão, com base no método descrito nessa patente de invenção. Nesta figura estão evidenciadas uma visão do topo, uma visão em corte A-A, uma visão detalhada B (do corte A-A) e uma visão de um segundo corte C-C. A configuração desse dispositivo envolve um conector de entrada de fluido (11), um canal com diâmetro hidráulico de dimensões micrométricas (2), um par de eletrodos condutores em contato com o fluido (3), um sensor de luz (15), um emissor de luz (17) e um conector de saída de fluido (12). O emissor de luz (LED)(17) está acoplado a um suporte (18) que permite o correto posicionamento do emissor em relação ao canal. O sensor de luz (15) também está acoplado a um suporte (16) que permite o correto posicionamento em relação ao canal. A camada superior do canal (14)

e a camada inferior (13) são compostas preferencialmente de materiais transparentes ao comprimento de onda do emissor de luz (17), por exemplo PMMA transparente. Essa configuração exige que o fluido utilizado seja uma solução líquida contendo um indicador de pH e condutividade adequada.

[033]. A simetria na configuração do dispositivo da figura 2 e o fato da alteração de coloração (7 e 8) ser gerada em ambos os eletrodos (3), permite que a medida da vazão seja realizada para qualquer sentido do escoamento do fluido no canal (6). Adotando o sentido de escoamento do conector (12) para o conector de entrada (11), a alteração de coloração gerada no eletrodo (3) da direita segue o sentido do escoamento passando pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15). A passagem da alteração de coloração (8) pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15) gera uma variação no sinal registrado pelo sensor e permite a determinação da vazão.

[034]. A figura 3 ilustra uma outra configuração dos dispositivos que possibilitam medir a vazão de fluidos líquidos que não contenham o indicador de pH. Nesta figura estão evidenciadas uma visão do topo, uma visão em corte A-A, uma visão detalhada B (do corte A-A) e uma visão de um segundo corte C-C. Essa configuração envolve dois conectores de entrada de fluido (11a e 11b) e seus respectivos canais (2a e 2b), um canal de confluência (2), um par de eletrodos condutores em contato com o fluido (3), um sensor de luz (15), um emissor de luz (17), dois canais de saída de fluido (2c e 2d) e dois conectores de saída (12a e 12b).

[035]. Ainda na figura 3, o emissor de luz (LED)(17) está acoplado a um suporte (18) que permite o correto posicionamento do emissor em relação ao canal. O sensor de luz (15) também está acoplado a um suporte (16) que permite o correto posicionamento em relação ao canal (2). A camada superior do canal (14) e a camada inferior (13) são

compostas preferencialmente de materiais transparentes ao comprimento de onda do emissor de luz (17), assim como no dispositivo descrito anteriormente. Nesse dispositivo o fluido alvo de medição da vazão entra pelo conector (11a) e escoam pelo canal de entrada (2a), enquanto a solução com indicador de pH entra pelo conector (11b) e escoam pelo canal de entrada (2b). Os fluidos encontram-se e escoam paralelamente através do canal de confluência (2) em direção aos canais de saída (2c e 2d) e seus respectivos conectores de saída (12a e 12b).

[036]. O funcionamento do dispositivo ilustrado na figura 3, conta com o fato de que líquidos diferentes escoando em um microcanal de confluência (2) praticamente não se misturam, apenas por efeitos de difusão. Isso está diretamente relacionado aos baixos valores do número de Reynolds para escoamentos em canais (2) de dimensões micrométricas. Sendo assim, os dois fluidos que escoam pelo canal de confluência (2) praticamente não se misturam possibilitando a distinção óptica entre eles. Essa característica do escoamento também possibilita a separação dos fluidos na saída do canal de confluência (2), ou seja, o fluido que entrou pelo canal de entrada (2a) sai pelo canal de saída (2c) e o fluido que entrou pelo canal de entrada (2b) sai pelo canal (2d). No entanto, essa separação depende diretamente dos valores de vazão nos canais de entrada (2a e 2b).

[037]. Ao aplicar uma diferença de potencial (9) entre os eletrodos (3), com intensidade e duração temporal adequadas, são geradas alterações na coloração do fluido (7 e 8) sobre os eletrodos (3). As alterações (7 e 8) percorrem o canal no mesmo sentido do escoamento do fluido (6). É importante destacar que nessa configuração, apesar de ter dois fluidos diferentes escoando pelo canal de confluência (2) as alterações na coloração são geradas apenas no fluido que contém o indicador de pH. Adotando o sentido do escoamento dos conectores de

entrada de fluido (11a e 11b) para os conectores de saída do fluido (12a e 12b), a alteração de coloração (7) gerada no eletrodo (3) segue o sentido do escoamento (6) passando pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15). A passagem da alteração de coloração (7) pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15) gera uma variação no sinal registrado pelo sensor (10). O intervalo de tempo (Δt) associado ao deslocamento da alteração de coloração (7) (sinal registrado no sensor (10)) é utilizado para determinar a vazão no canal de confluência (2).

[038]. A determinação da vazão do fluido líquido que não contém o indicador de pH leva em consideração a conservação da massa em um escoamento incompressível. Nesse contexto, a vazão no canal de confluência (2) é dada pela soma das vazões dos canais de entrada (2a e 2b). Subtraindo o valor da vazão no canal de entrada (2b) do valor da vazão no canal de confluência (2) é possível obter o valor da vazão no canal de entrada (2a), ou seja, a vazão do fluido que não contém o indicador de pH.

[039]. A figura 4 ilustra uma configuração para emprego de dois fluidos distintos dos quais um contém o indicador de pH e o outro não. Esta figura ilustra um reservatório contendo o fluido com o indicador de pH (20), um sensor de vazão auxiliar (1a), que permite determinar a vazão do fluido de referência, um reservatório contendo o fluido em análise (21), um sensor de vazão principal (19a) e um reservatório de descarte (22). Nesta configuração a saída do sensor vazão auxiliar (1a) está ligada no conector de entrada (11b), já o fluido em análise, que não contém o indicador de pH e proveniente do reservatório do fluido em análise (21), entra no sensor de vazão principal (19a) pelo conector de entrada (11a). Após passar pela região do emissor de luz (17) e do sensor de luz (15) do sensor de vazão principal (19a), a vazão no canal de confluência (2) pode ser determinada. De maneira alternativa, o valor da vazão do fluido

que contém o indicador de pH pode ser pré-definido por um sistema de bombeamento ligado ao conector de entrada (11b) do sensor de vazão principal (19a).

[040]. A figura 5 apresenta uma possível variação do dispositivo (23), representado na figura 3, que também possibilita medir a vazão de fluidos sendo que um contém o indicador de pH e o outro não. Neste caso foram incluídos misturadores fluídicos (24) no canal de confluência (2) antes e depois de passar pela região entre o emissor de luz (17) e o sensor de luz (15). Nos misturadores fluídicos (24) ilustrados, a mistura ocorre de forma passiva e está associada à forma dos canais. Existem diversos formatos de misturadores disponíveis no estado da técnica. O misturador de saída tem apenas função de simetria, permitindo a medida de vazão no sentido reverso preservando as mesmas características de funcionamento.

REINVINDICAÇÕES

1- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", caracterizado pelo fato de empregar pulsos de tensão (9), aplicados entre dois eletrodos (3), produzindo alterações localizadas de coloração (7 e 8) em uma solução contendo um indicador de pH, de forma de forma que o intervalo de tempo (tempo de voo), relativo à passagem de uma alteração de coloração por um ou mais pontos do canal, possa ser empregado para determinar a velocidade média do escoamento do fluido num dado ponto.

2- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizado pelo fato da diferença de potencial aplicada entre dois eletrodos (3) ser responsável por alterações locais de pH na solução, em contato com os mesmos, e consistir preferencialmente de um pulso com intensidade e duração temporal adequados (9) para promover as alterações locais de pH (7 e 8), mas preferencialmente sem a formação de bolhas visíveis.

3- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 2, é caracterizado pelo fato da diferença de potencial aplicada entre os eletrodos (3) poder ser proveniente de qualquer tipo de fonte que forneça pulsos com as características adequadas (9).

4- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizado pelo fato da detecção da óptica da alteração de coloração do fluido (7 e 8), contendo indicador de pH, que escoo através do canal (2), poder ser realizada utilizando qualquer sensor de luz (15) sensível à faixa de comprimento de onda do emissor de luz (17) e da alteração de coloração gerada.

5- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 1, é caracterizado pelo fato da fase líquida que compõe a solução ser preferencialmente incolor, antes da adição do indicador de pH, e possuir preferencialmente pH neutro.

6- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 5, é caracterizado pelo fato da fase líquida poder ser misturada a qualquer indicador de pH físico-quimicamente compatível, de forma que a solução resultante apresente variação de coloração (7 e 8) nas faixas de pH produzidas pela diferença de potencial aplicada nos eletrodos.

7- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 5, é caracterizado pelo fato da fase líquida, contendo o indicador de pH, ter uma condutividade adequada às reações eletroquímicas que provocam as alterações locais de pH.

8- "MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 5, é caracterizado pelo fato da condutividade da fase líquida, contendo o indicador de pH, poder ser ajustada através da adição de quaisquer eletrólitos sólidos ou líquidos compatíveis.

9- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", caracterizado por empregar pelo menos uma entrada de fluido (11, 11a, 11b), um canal (2) de dimensões mili/micrométricas, uma saída de fluido (12, 12a, 12b), um par de eletrodos condutores (3), um sensor de luz (15), um emissor de luz (17) e uma solução líquida contendo um indicador de pH.

10- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo

com a reivindicação 9, é caracterizado pelo fato do canal (2) empregado ter diâmetro hidráulico da ordem de micrometros, comprimento variando de milímetros a centímetros e que possua uma janela óptica transparente aos comprimentos de onda da luz proveniente do emissor.

11- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 10, é caracterizado pelo fato das dimensões e formas do canal (2) poderem ser ajustadas de modo a alterar a faixa de vazão detectável pelo sensor.

12- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 9, é caracterizado pelo fato do sensor de luz (15) ter dimensões preferencialmente compatíveis com as do canal microfluídicos, principalmente com a largura.

13- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 9, é caracterizado pelo fato de utilizar um emissor de luz (17), com intensidade luminosa constante, para auxiliar no processo detecção da óptica da alteração de coloração do fluido (7 e 8) contendo indicador de pH.

14- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 13, é caracterizado pelo fato do emissor de luz (17) poder ser qualquer fonte luminosa com dimensões adequadas ao sistema microfluídico e que preferencialmente não transfira calor ao fluido.

15- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato do sensor de luz (15) e do

emissor de luz (17) estarem preferencialmente posicionados em oposição, de modo que luz emitida atravessasse o canal (2) perpendicularmente à direção do escoamento (6) e chegue ao conjunto sensor/emissor de luz (4).

16- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 9, é caracterizado pelo fato de poder ser empregado em configuração simples (1 e 1a)), com uma entrada (11) e uma saída de fluido (12), ou compostas (19, 19a, 23) com múltiplas entradas (11a e 11b) e saídas (12a e 12b) de fluido para medidas indiretas de vazão.

17- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 16, é caracterizado pelo fato da configuração simples (1 e 1a) com uma entrada (11) e uma saída (12) de fluido permitir medidas diretas de vazão, onde o fluido principal do sistema contém o indicador de pH.

18- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 16, é caracterizado pelo fato das configurações compostas (19, 19a, 23), com múltiplas entradas (11a e 11b) e saídas (12a e 12b), permitir medidas indiretas de vazão onde o fluido principal não contém o indicador de pH e o secundário contém o indicador de pH. Podendo empregar a confluência de pelo menos dois líquidos em um canal (2), empregar um sistema de bombeamento auxiliar ou um sensor de vazão auxiliar (1a).

19- "DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS MICROFLUÍDICOS EMPREGANDO INDICADORES DE pH", que de acordo com a reivindicação 9, é caracterizado pelo fato de que uma das configurações possíveis (23) para o dispositivo sensor de vazão incluir uma

etapa de mistura de fluidos (24) colocada de forma simétrica para permitir a medida de vazão em qualquer sentido do escoamento do fluido.

FIGURAS

Figura 1

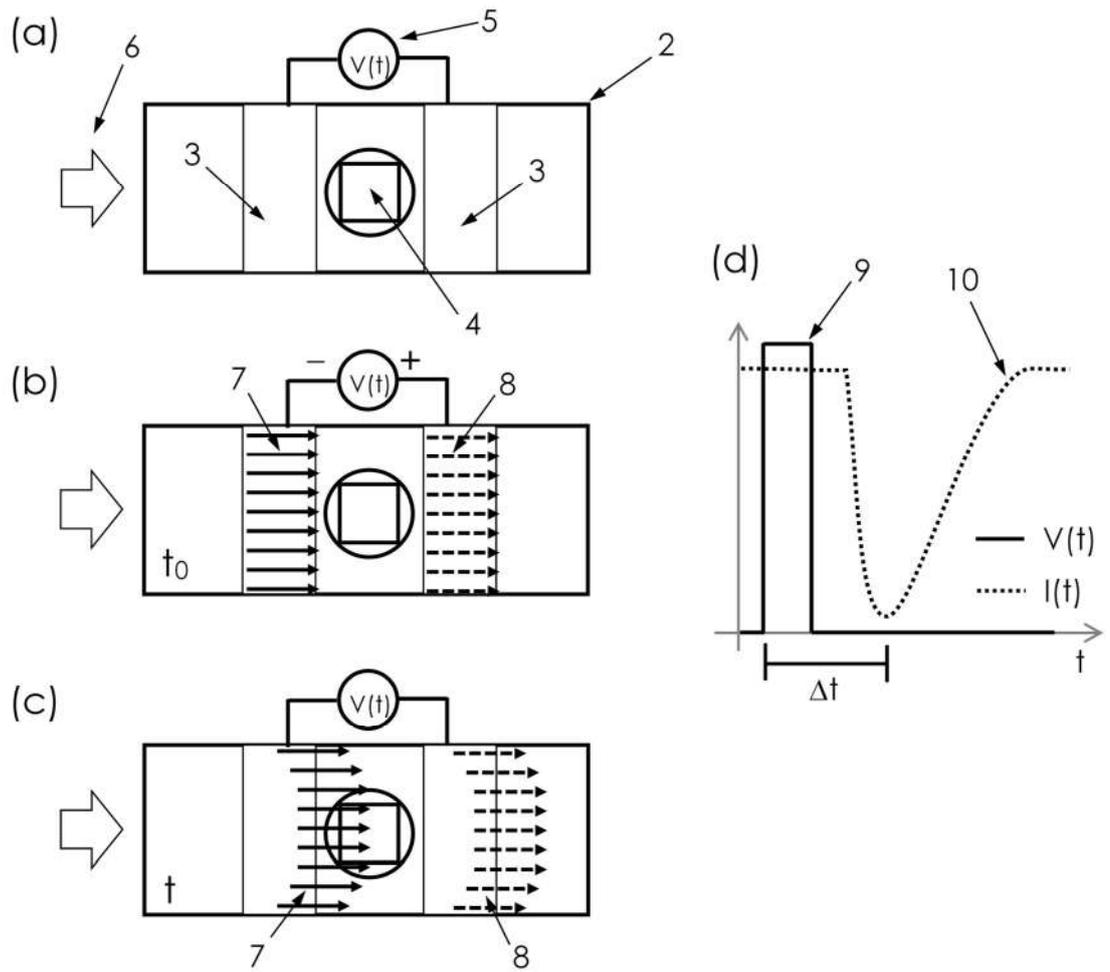


Figura 2

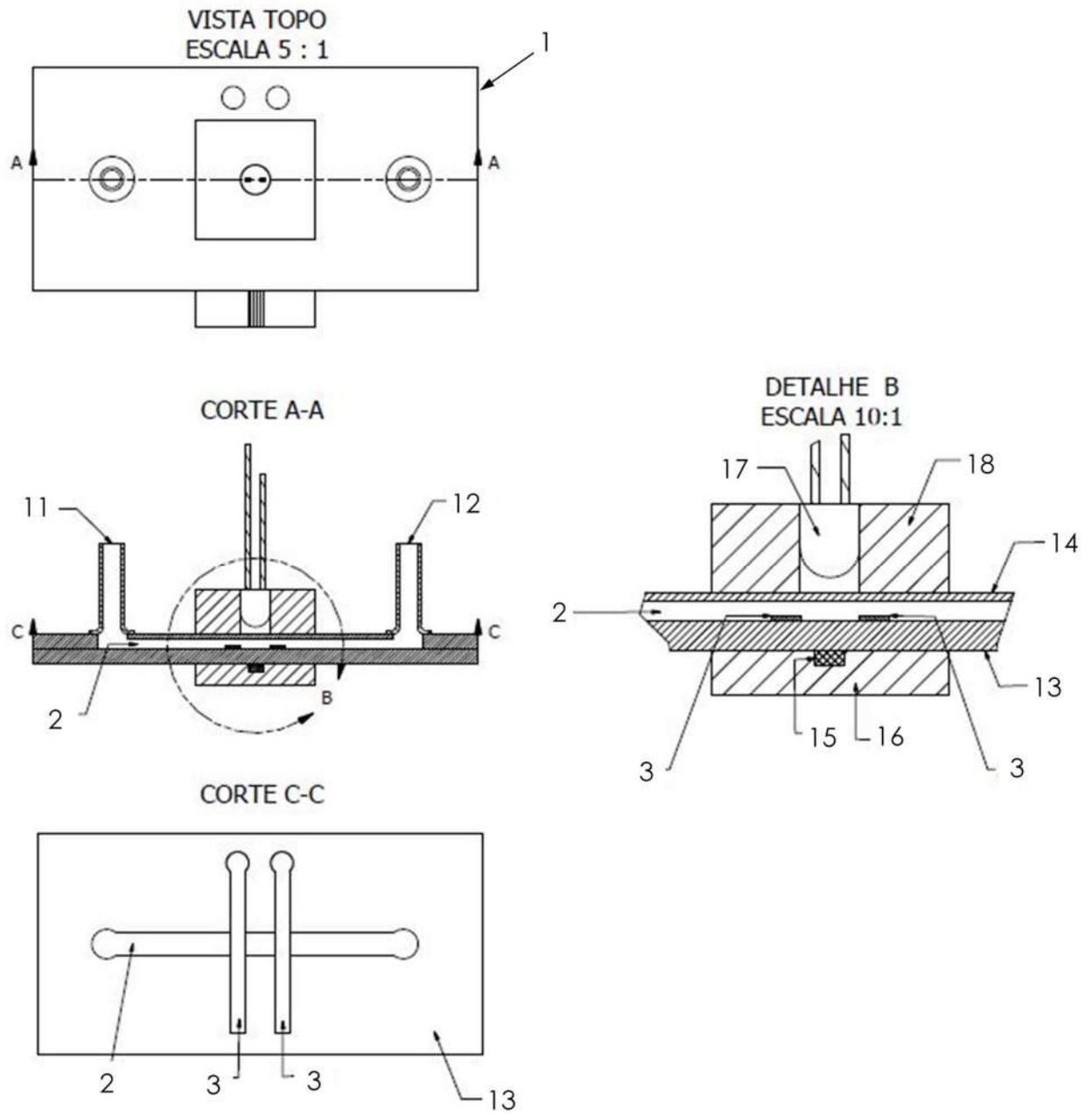


Figura 3

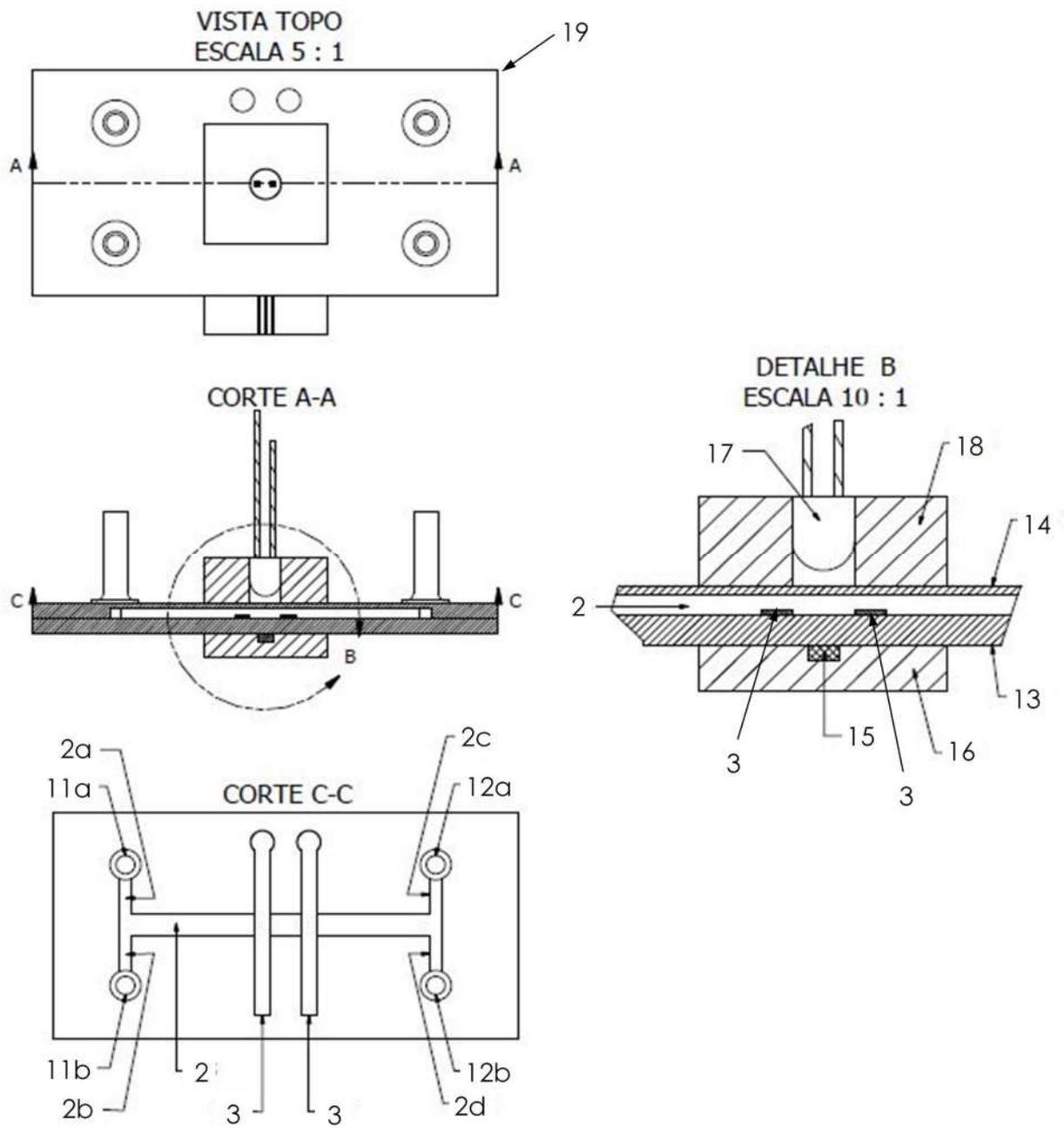


Figura 4

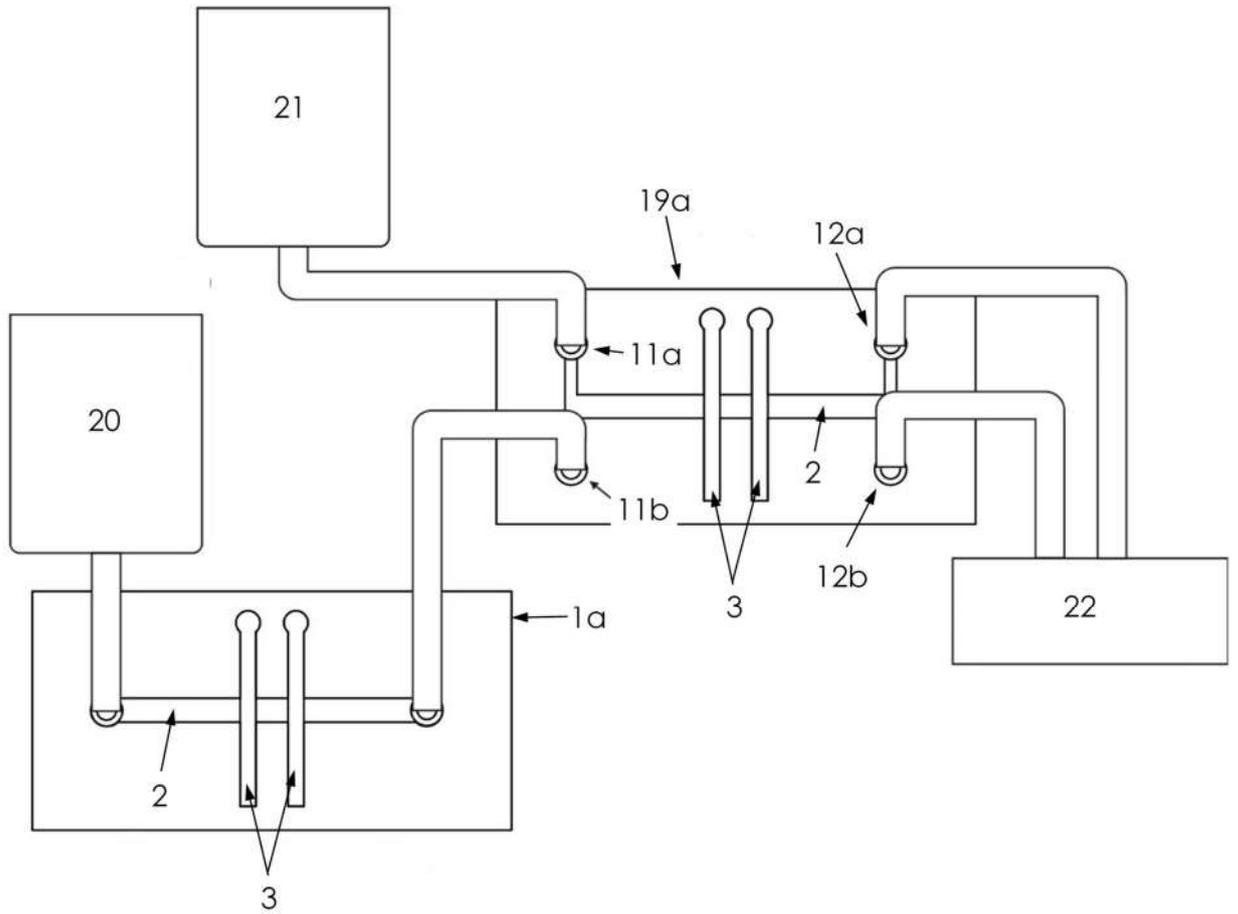


Figura 5

