



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

(21) BR 102020001683-0 A2



(22) Data do Depósito: 27/01/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 19/05/2020

(54) **Título:** SISTEMA E PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR DE FLUIDO EM FLUXO CONTÍNUO

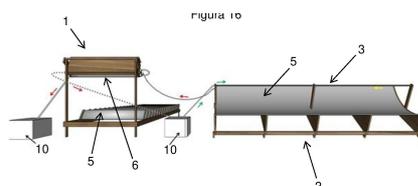
(51) **Int. Cl.:** C02F 1/30; C02F 1/32; F24S 23/79; F24S 23/71; F24S 23/74.

(52) **CPC:** C02F 1/30; C02F 1/32; C02F 2303/04; C02F 2201/3228; F24S 23/79; (...).

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) **Inventor(es):** BENI JEQUICENE MUSSENGUE CHAÚQUE; MARILISE BRITTES ROTT; ANTÔNIO DOMINGUES BENETTI.

(57) **Resumo:** SISTEMA E PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR DE FLUIDO EM FLUXO CONTÍNUO A presente invenção descreve uma solução para tratamento de fluidos por meio de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo. Especificamente, a presente invenção compreende um conjunto de aquecedor e irradiador solar, onde por meio de concentradores e reatores, calor e radiação UVA e UVB são incididos no fluido, de tal forma que os microrganismos presentes no fluido são inativadas e um maior volume de fluido por unidade de tempo pode ser tratado. A presente invenção se situa nos campos de controle da poluição da água, tratamento de águas residuais, tratamento de fluidos, saneamento básico, desinfecção solar, engenharia mecânica, distribuição de água potável, provisão de água potável e acondicionamento de água segura para consumo.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

SISTEMA E PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR DE FLUIDO EM FLUXO

CONTÍNUO

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção apresenta uma solução que realiza a desinfecção solar de fluidos por meio de um sistema compreendendo aquecedor, irradiador de ultravioleta e conformação geométrica que possibilita maior aproveitamento térmico, aumenta a quantidade de volume de fluido tratado por tempo, que realiza a inativação de microrganismos mais resistentes, possui simplicidade e baixo custo de produção e manutenção. Mais especificamente, a presente invenção é aplicável nos campos de controle de despoluição da água, tratamento de águas residuais, saneamento básico, desinfecção solar, tratamento de fluidos, engenharia mecânica, distribuição de água potável, provisionamento de água potável e acondicionamento de água segura para consumo.

Antecedentes da Invenção

[0002] Uma das maiores dificuldades encontradas por comunidades de países em desenvolvimento é a falta de sistemas convencionais de distribuição de água potável. Ainda que a cerca das comunidades possa haver rios, lagos, poços, represas, etc., muitas vezes os mesmos estão poluídos, inviabilizando seu consumo. Uma das formas alternativas para solucionar esta dificuldade é a desinfecção solar (SODIS), sendo a SODIS uma técnica eficaz de tratamento microbiológico de água, além de ser provida de baixo custo de aplicabilidade e ser de fácil acesso. Porém, uma desvantagem da SODIS é que seu processo convencional possui limitação quanto ao volume de água tratado por dia, sendo um menor volume em frente aos sistemas convencionais de tratamento de água.

[0003] Outra dificuldade encontrada é que, mesmo após o tratamento de água tanto por sistemas convencionais quanto pela SODIS, alguns

microrganismos possuem natureza recalcitrante, ou seja, são mais resistentes, persistem na água mesmo após tratamento, onde em alguns casos, resistem até mesmo ao cloro.

[0004] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0005] O documento BR1020170166015 revela um dispositivo solar acoplado com filtro para desinfecção de água, em que essencialmente é um reservatório com uma das faces transparentes à radiação solar e seu funcionamento é por batelada, isto é, a água permanece estática nos reservatórios, exposta a radiação por um tempo necessário, que geralmente varia entre 5 a 6 horas. Isto limita a eficiência do documento BR1020170166015, uma vez que a espessura do corpo de água em SODIS deve ser menor possível e, em dias menos ensolarados, mais tempo de exposição se faz necessário.

[0006] O documento CN105540735 revela um tanque de armazenamento de água de desinfecção solar que possui, como o documento BR102017016601, um reservatório (tanque) com uma das faces transparentes à radiação solar e que também funciona em batelada. Sua eficiência é limitada uma vez que a espessura do corpo de água em SODIS deve ser menor possível e, em dias menos ensolarados, mais tempo de exposição se faz necessário.

[0007] O documento US20100314306A1 revela um contêiner para purificação de água por luz solar, possuindo como o documento CN105540735 e o documento BR102017016601, um reservatório (contêiner) com uma das faces transparentes à radiação solar e que também funciona em batelada. Sua eficiência, também, é limitada uma vez que a espessura do corpo de água em SODIS deve ser menor possível e, em dias menos ensolarados, mais tempo de exposição se faz necessário.

[0008] O documento US20160251238 revela desinfecção solar de fluido, onde o presente documento US20160251238 possui essencialmente o mesmo funcionamento dos documentos citados anteriormente, porém possuindo como

diferencial o funcionamento de forma semiautônoma e possuir um programa que monitora a turbidez, a temperatura e o tempo de exposição ao sol. Como os documentos citados anteriormente, o documento US20160251238 também possui sua eficácia limitada bem como sua produtividade, uma vez que a espessura do corpo de água em SODIS deve ser menor possível e, em dias menos ensolarados, mais tempo de exposição se faz necessário.

[0009] O documento CN101769607 revela um dispositivo de coleta suave de calor e desinfecção solar, onde este é um pasteurizador solar de água em fluxo direto que consiste de uma pluralidade de canais de fluxo de tubos metálicos em forma de U colocados no interior de tubos vítreos de coleta de calor a vácuo.

[0010] O documento EP1287300 revela um concentrador de dupla reflexão solar, em que consiste de um concentrador solar linear que utiliza uma porção de um arco parabólico para uma primeira superfície de reflexão, e uma superfície de reflexão plana horizontal para concentrar energia solar de uma maneira substancialmente linear sobre um concentrador secundário plano. Embora permita a facilitação de fabricação de concentradores lineares parabólicos, sua configuração permite uma reflexão difusa da radiação podendo permitir que haja perdas de energia.

[0011] O documento CN103234286 revela um concentrador solar Fresnel de rastreamento bidimensional que compreende uma estrutura de suporte, um grupo de refletores retangulares em conexão rotativa com a estrutura de suporte, e um dispositivo de concentração secundário triangular onde fica o absorvedor de calor. Embora o presente documento CN103234286 aumente o rendimento de concentração de energia, o fato de o concentrador Fresnel estar acoplado a um concentrador secundário triangular limita o número de absorvedores a ser colocado em sua abertura para 1, onde isto não permite maximizar o aproveitamento da energia concentrada. Além disso, o concentrador apresentado no documento CN103234286 não foi habilitado para concentrar radiação ultravioleta do Sol.

[0012] O documento WO2008134999 revela um sistema e método para purificação de água usando um coletor solar consistido de pelo menos um coletor solar, um evaporador e um condensador conectado ao evaporador. Porém, o documento WO2008134999 é um destilador solar de água e um aparato de filtração baseada na eletricidade, sendo sua aplicabilidade como alternativa de abastecimento de água em larga escala limitada ou muito dispendiosa, pois além de ser muito complexo, seu mecanismo de funcionamento não permite concentrar muita energia solar ao mesmo tempo e, a limitada energia solar captada deve ser direcionada (por consecutivas reflexões) para o fundo do poço para aquecer água que está em contato com o solo, isto diminui o seu rendimento em termos de custo-benefício da tecnologia.

[0013] O documento CN209468259 revela um dispositivo de purificação de água de poço, onde através da destilação pelo calor solar associada a filtração por membrana de osmose reversa, permite a purificação de água de poço. Porém, o documento CN209468259 à semelhança do documento WO2008134999 é um destilador solar de água e um aparato de filtração baseada na eletricidade. Sua aplicabilidade como alternativa de abastecimento de água em larga escala poderá ser limitada ou muito dispendiosa, pois além de ser muito complexo, o seu mecanismo de funcionamento não permite concentrar muita energia solar ao mesmo tempo e, a limitada energia solar captada deve ser direcionada (por consecutivas reflexões) para o fundo do poço para aquecer água que está em contato com o solo, isto diminui o seu rendimento em termos de custo-benefício da tecnologia.

[0014] O documento CN103201567 revela um coletor de calha e um tubo absorvedor disposto na área focal, onde o tubo absorvedor tem uma área isolante que se estende de sua superfície externa para o interior, encerrando um canal de transporte que atravessa o seu comprimento e é transportado por um meio de transporte de calor. A camada isolante possui pelo menos uma abertura térmica que se estende do lado de fora através da área de isolamento até o canal de transporte. Porém, por possuir um absorvedor complexo, não permite

aumentar a superfície de absorção da radiação e não minimiza perdas que pode surgir por eventuais imprecisões de produção em larga escala, ou ainda pela imprecisão do encaixe dos tubos absorvedores, onde poderia ser necessária a intervenção profissional para efetivar a manutenção do sistema no campo. Ademais, isto faz com que o absorvedor tenha custo elevado, podendo excluir o acesso da tecnologia pela população de baixa renda.

[0015] O documento PI 0406869-6 revela um dispositivo para aquecer um recipiente e seu conteúdo por energia solar, e, método para posicionar um dispositivo coletor solar, onde o dispositivo consiste de um concentrador solar parabólico com foco ajustado para o vértice da parábola. Nesta linha de foco é colocado um recipiente contendo um líquido, que será aquecido até atingir a temperatura de desinfecção. Ademais, o documento PI 0406869-6 essencialmente é um pasteurizador solar por batelada contendo um concentrador solar, possuindo sua eficácia limitada bem como sua produtividade, uma vez que a espessura do corpo de água em SODIS deve ser menor possível e, em dias pouco ensolarados, mais tempo de exposição se faz necessário.

[0016] O documento US005505917 revela um sistema com troca de calor solar e tubo de retroalimentação concêntrico para desinfetar água, que é essencialmente um pasteurizador solar (utiliza calor) de água em fluxo. O documento US005505917 refere-se especialmente a um absorvedor de calor, que é um tubo com dois compartimentos concêntricos que permite o aquecimento e o preaquecimento da água que flui dentro de si. Porém, o absorvedor do documento US005505917 não recebe irradiação com uma intensidade similar em seus compartimentos concêntricos e o tempo de residência da água no absorvedor não é tão longo, tendo como consequência um menor rendimento térmico.

[0017] O documento WO2013150165 que é um aperfeiçoamento do documento WO2011076963, e que o documento WO2011076963 revela um disco coletor de radiação solar, que concentra uma pluralidade de feixes

independentes de raios refletidos de maneira especular em um plano de recepção estacionário, que inclui: uma estrutura em forma de lente provida de anéis tubulares circulares montados concêntricamente com a mesma diferença entre seus raios, uma pluralidade de superfícies de espelhos planares, cada uma com movimento de focalização independente, e um único plano de reflexão especular oposto à estrutura lenticular. O coletor está provido de capacidade de rastreamento da radiação em um eixo. Já no invento do documento WO2013150165, otimizou-se o concentrador WO2011076963 para pasteurizar água em fluxo contínuo funcionando de forma autônoma. O sistema consiste de um disco parabólico de tipo Fresnel, medindo 3,8m de diâmetro que reflete a radiação sobre um concentrador secundário de 1,3 metros de diâmetro que por sua vez a concentra na superfície do reator de aço inoxidável no interior do qual a água circula, atingindo em média entre 58°C a 65°C em dias com radiação solar média de 150Wm². Porém, por ser do tipo Fresnel com espelhos planos distribuídos em forma de um disco, e utilizar somente o calor para inativar microrganismos (pasteurização), em suas condições de funcionamento, a inativação de microrganismos resistentes como cistos de protozoários não seria obtida com estabilidade ao longo do dia.

[0018] O documento WO2013/033144 revela um sistema para desinfecção por radiação solar ultravioleta B (UVB) de água em fluxo contínuo. O sistema do documento WO2013033144 consiste de um concentrador composto por duas paredes laterais planas revestidas por folhas refletoras de alumínio. No foco do concentrador está colocado um tubo de quartzo transparente com um diâmetro interno de 2,25 cm e um comprimento de 127 cm. A água contaminada era bombeada e um fluxo constante de 9 mL por min através do reator resultando em um tempo médio de residência de 54,5 min. Porém, o sistema utiliza a radiação UVB somente, onde a inativação de estruturas de resistência ambiental de parasitas protozoários, por exemplo, não seria alcançada, o que significa que a água tratada por este sistema não é ainda segura, uma vez que estes são resistentes ao efeito isolado da ultravioleta (UV).

[0019] No artigo “*Preliminary observations of a continuous flow solar disinfection system for a rural community in Kenya*”, L.Gill et al implementaram um sistema de desinfecção solar da água em fluxo contínuo. O sistema consiste de coletores parabólicos que refletem a radiação solar direta e difusa em reatores tubulares de vidro transparente através dos quais a água flui percorrendo 128m de comprimento total do reator, posicionado no foco de 8 painéis de refletores. O sistema foi projetado para funcionar num limiar mínimo de 25W/m², por pelo menos 8 horas por dia, ajustando a uma vazão de 10,4 litros/minuto e um tempo de residência médio de 20 minutos, citando que uma inativação de coliformes foi obtida. Porém, o sistema citado pelo presente artigo utiliza somente radiação ultravioleta A (UVA), onde a inativação de estruturas de resistência ambiental de parasitas protozoários, por exemplo, não seria alcançada, isso significa que a água tratada por este sistema ainda não é segura, uma vez que estes são resistentes ao efeito isolado da UV.

[0020] O documento WO2010/099516 revela um coletor solar, com um receptor linear e uma matriz de espelhos lineares posicionados para concentrar a luz solar no receptor linear, com o dito receptor linear incorporando um concentrador secundário de luz. Apesar da configuração do sistema do documento WO2010099516 permitir aumentar a capacidade concentração e aproveitamento da radiação, os espelhos descritos neste documento não estão habilitados para concentrar radiação UV do sol e, além do absorvedor linear ser apenas um, ele não é permeável a radiação UV solar.

[0021] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0022] Dessa forma, é possível observar que o estado da técnica carece de uma solução que realize a desinfecção solar de fluidos capaz de inativar formas de resistência de parasitas protozoários como, por exemplo, o caso de cistos de *Acanthamoeba castellanii*, com menor tempo necessário para o

tratamento do fluido e melhor aproveitamento da radiação térmica e ultravioleta.

Sumário da Invenção

[0023] Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir de uma solução que se utiliza de um sistema que utiliza efeito sinérgico da UVA, UVB e do calor do sol para desinfetar fluidos em fluxo contínuo, onde este dito fluido seja suficientemente transparente à radiação UV, de modo a permitir que a radiação atinja os microrganismos dispersos no fluido, por meio de ao menos um aquecedor solar e um irradiador UV solar. O presente sistema ainda é capaz de inativar microrganismos resistentes aos processos convencionais de tratamento de água, como é o caso dos cistos de *Acanthamoeba castellanii*, além de bactérias.

[0024] Ademais, o presente sistema compreende superfícies refletoras planas revestidas por adesivos com alta refletância para o espectro UVA, UVB e infravermelho (IV), tendo como consequência a inativação de contaminantes microbianos. Além disso, o presente sistema possui simplicidade em sua estrutura e permite ajustes em função da demanda hídrica e/ou as características climáticas típicas de cada região.

[0025] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo compreendendo: um aquecedor compreendendo: um bocal de saída; e um concentrador principal compreendendo um absorvedor, onde o dito absorvedor compreende associação com ao menos um tubo canalizador de fluido; e um irradiador solar compreendendo: um bocal de entrada recebendo fluido que passa pelo bocal de saída do aquecedor; concentrador primário compreendendo uma pluralidade de superfícies refletoras e um concentrador secundário compreendendo uma reatores, onde o concentrador primário é associado ao concentrador secundário por meio de tubo canalizador de fluido.

[0026] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um processo de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo que compreende

implementação em ao menos um sistema de desinfecção solar, que compreende aquecedor e irradiador solar, e por compreender as etapas de: transferência de fluido por ao menos um tubo revestido de um absorvedor do aquecedor solar para ao menos um reator de um concentrador primário do irradiador solar; e transferência de fluido do reator do irradiador solar para ao menos um tanque isotérmico.

[0027] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0028] São apresentadas as seguintes figuras:

[0029] A figura 1 mostra uma concretização do sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo e seus constituintes.

[0030] A figura 2 mostra uma concretização do concentrador secundário (6) do irradiador (1) mostrando os seus reatores (7).

[0031] A figura 3 mostra uma concretização do sistema de desinfecção solar de fluidos em fluxo contínuo.

[0032] A figura 4 mostra uma concretização do concentrador do aquecedor.

[0033] A figura 5 mostra uma concretização do irradiador de UV mostrando seu concentrador primário (4) e secundário (6).

[0034] A figura 6 mostra uma concretização do sistema de desinfecção solar de fluidos em fluxo contínuo.

[0035] A figura 7 mostra uma concretização do aquecedor (2) solar, mostrando seu absorvedor (3) e concentrador.

[0036] A figura 8 mostra uma concretização do irradiador (1) UV mostrando o concentrador primário (4) e secundário (6).

[0037] A figura 9 mostra uma concretização do concentrador secundário (6) do irradiador (1) UV e seus reatores (7).

[0038] A figura 10 mostra uma concretização de um gráfico da refletância

de possíveis materiais a serem usados como superfícies refletoras (5), onde o gráfico é de Refletância (0 a 100%) por Comprimento de onda (0 a 3000nm).

[0039] A figura 11 mostra uma concretização de um gráfico da refletância comparada dos possíveis materiais para o espectro UV, onde o gráfico é de Refletância (0 a 100%) por comprimento de onda (200 a 450nm).

[0040] A figura 12 mostra uma concretização do gráfico de transmitância da parede do reator (7) do irradiador (1) de UVA e UVB, onde o gráfico é de Transmitância (60 a 100%) por Comprimento de onda (200 a 450nm).

[0041] A figura 13 mostra uma concretização de um gráfico da temperatura da água por tempo, onde o gráfico é de Temperatura (0 a 100°C) por Tempo (0 a 25 minutos).

[0042] A figura 14 mostra uma concretização do concentrador secundário (6), mostrando seus reatores (7).

[0043] A figura 15 mostra uma concretização da vista lateral do concentrador primário (4) do aquecedor (2)

[0044] A figura 16 mostra uma concretização da armação de sustento da parábola do concentrador primário (4) do aquecedor (2).

[0045] A figura 17 mostra uma concretização do sistema de desinfecção solar de fluidos de fluxo contínuo.

Descrição Detalhada da Invenção

[0046] As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[0047] Muitas comunidades em especial as de países em desenvolvimento, não possuem um sistema de distribuição de água potável. Uma das alternativas aos sistemas convencionais de distribuição de água potável é a técnica de desinfecção solar (SODIS). A SODIS, entretanto, trata uma baixa quantidade de volume de água por período de tempo. Além disso, microrganismos de natureza recalcitrante não são inativadas mesmo após o

tratamento da água com cloro.

[0048] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo compreendendo: um aquecedor (2) compreendendo: um bocal de saída; e um concentrador principal compreendendo um absorvedor (3), onde o dito absorvedor (3) compreende associação com ao menos um tubo canalizador de fluido; e um irradiador (1) solar compreendendo: um bocal de entrada recebendo fluido que passa pelo bocal de saída do aquecedor (2); concentrador primário (4) compreendendo uma pluralidade de superfícies refletoras (5); e um concentrador secundário (6) compreendendo reatores (7), onde o concentrador primário (4) é associado ao concentrador secundário (6) por meio de tubo canalizador de fluido.

[0049] A desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo é aplicável para a desinfecção de fluidos que sejam suficientemente transparentes à radiação UV, de modo que a radiação UV atinja os microrganismos dispersos no fluido. Em uma concretização, o fluido é água.

[0050] Para fornecer calor ao sistema, usa-se um aquecedor (2), onde esse dito aquecedor (2) consiste de um concentrador principal compreendendo um absorvedor (3) como exemplificado na figura 4 e 7. A luz solar incidida no concentrador principal é refletida e então absorvida pelo absorvedor (3). O concentrador principal do aquecedor (2) compreende geometria cilíndrica-parabólica, onde esta geometria permite que quando a face espelhada se volta para a luz solar, a radiação incidida seja refletida para uma linha focal onde os feixes de radiação se interceptam.

[0051] Por conta desta propriedade do concentrador principal, o absorvedor (3) do aquecedor (2) compreende ao menos dois tubos paralelos revestidos posicionados abaixo do vértice da linha focal do concentrador primário (4). Em uma concretização, o absorvedor (3) do aquecedor (2) compreende dois tubos paralelos revestidos com material preto, transformando a energia da radiação infravermelha (IV) da luz solar em energia térmica interna.

[0052] O absorvedor (3) é associado com um tubo canalizador de fluido,

onde o fluido que passa por este tubo recebe o calor armazenado do absorvedor (3). Em uma concretização, tubo canalizador de fluido é uma mangueira transparente. Este tubo canalizador de fluido é então associado a um bocal de saída para que possa ocorrer transferência de fluido para o irradiador (1) solar.

[0053] Para fornecer radiação UVA e UVB para o sistema, usa-se um irradiador (1) solar, onde este dito irradiador (1) compreende um concentrador primário (4). Este concentrador primário (4) compreende uma pluralidade de superfícies refletoras (5) com ângulo incidente com a inclinação da luz solar, onde a luz solar incide nas superfícies refletoras (5) e então são refletidas para o concentrador secundário (6).

[0054] Para isso, o concentrador primário (4) que é do tipo Fresnel, compreende ao menos dois suportes de superfícies refletoras (5) movimentáveis, onde as ditas superfícies refletoras (5) destes suportes são superfícies capazes de refletir radiação e têm sua superfície revestida com material de alta refletância para o espectro UV, de modo que as radiações UVA e UVB sejam refletidas para o concentrador secundário (6).

[0055] Para fins da presente invenção, material de alta refletância para o espectro UV é qualquer material que possua refletância acima de 80% e assim permita mais facilmente a refletância de radiação UVA e UVB como, por exemplo, poliéster metalizado de alumínio, espelhos de quartzo, alumínio polido, prata polida, zinco polido, espelho de vidro comum com uma película refletora colocada na superfície frontal e aço inoxidável. É cabível notar que poucos materiais refletem com alta eficiência a radiação UV, onde muitos materiais absorvem-na.

[0056] Para que o fluido receba a radiação UVA e UVB, é utilizado um concentrador secundário (6) do irradiador (1) solar, onde este concentrador secundário (6) também compreende geometria cilíndrico-parabólica. Da mesma forma que o concentrador principal do aquecedor (2), esta geometria permite que quando a face espelhada se volta para a radiação refletida pelo concentrador primário (4), a radiação incidida é refletida para uma linha focal onde os feixes

de radiação se interceptam, onde no caso do concentrador secundário (6), encontram-se os reatores (7).

[0057] Além disso, o concentrador secundário (6) compreende superfície revestida com material de alta refletância para o espectro UV, de tal forma que a radiação UVA e UVB sejam refletidas com maior rendimento possível para um tratamento mais eficaz do fluido.

[0058] Os ditos reatores (7) são localizados no foco dos concentradores primário e secundário (6) de funcionamento semelhante ao concentrador principal do aquecedor (2). Os reatores (7) são interligados por meio de tubos canalizadores de fluido e no primeiro reator (7) se encontra o bocal de entrada. Além disso, os reatores (7) são fabricados com material de alta permissividade à radiação ultravioleta de tipo A e de tipo B, para que o tratamento seja efetivo. Em uma concretização, os reatores (7) são tubulares e de quartzo.

[0059] Para fins da presente invenção, material de alta permissividade à radiação ultravioleta de tipo A e de tipo B é todo material que permita uma quantidade acima de 85% de radiação UVA e UVB ser incidida em seu interior como, por exemplo, o quartzo, o boro-silicato e o acrilato. É cabível notar que os filmes plásticos finos transparentes, como os que são feitos de Polietileno tereftalato (PET) são permeáveis apenas a UVA.

[0060] Deste modo, o bocal de saída do aquecedor (2) é associado ao bocal de entrada do irradiador (1) solar, onde o fluido recebe não só o calor do aquecedor (2) como também radiação UVA e UVB do irradiador (1) solar.

[0061] Adicionalmente, o bocal de saída do aquecedor (2) é associado ao bocal de entrada do irradiador (1) solar através de ao menos um tanque (10) isotérmico por meio de tubo canalizador de fluido. Em uma concretização, o bocal de saída do aquecedor (2) é associado a um tanque (10) isotérmico de aquecimento e este tanque (10) isotérmico é associado à entrada do irradiador (1) solar.

[0062] Por fim, o reator (7) final do irradiador (1) solar é associado a ao menos um tanque (10) isotérmico, podendo ser tanque (10) de aquecimento ou

tanque (10) de arrefecimento.

[0063] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um processo de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo que compreende implementação em ao menos um sistema de desinfecção solar, que compreende aquecedor (2) e irradiador (1) solar, e por compreender as etapas de: transferência de fluido por ao menos um tubo revestido de um absorvedor (3) do aquecedor (2) para ao menos um reator (7) de um concentrador primário (4) do irradiador (1) solar; e transferência de fluido do reator (7) do irradiador (1) solar para ao menos um tanque (10) isotérmico.

[0064] Antes das etapas de transferência de fluido, é realizado o ajuste de ângulo de ao menos uma superfície refletora, onde o dito ângulo possui incidência com a inclinação da luz solar, aumentando a efetividade do tratamento proposto da presente invenção.

[0065] Após a etapa de transferência de fluido do irradiador (1), é realizada uma das subetapas de: transferência de fluido para ao menos um tanque (10) de aquecimento; ou transferência de fluido para ao menos um tanque (10) de arrefecimento, onde estas subetapas são dependentes do tipo de aplicação desejada da presente invenção.

[0066] Dessa forma, é possível observar que a presente invenção é vantajosa em frente ao estado da técnica por permitir o tratamento de fluido como, por exemplo, da água para o consumo humano a baixo custo, tratar um grande volume de água por unidade de tempo comparado a SODIS do estado da técnica, permitir o tratamento *in situ* da água (isto é, no local de captação da água como, por exemplo, rios, lagos, poços, represas, etc), não necessitar de energia elétrica, dispensar a utilização de desinfetantes químicos, eliminar microrganismos resistentes, incluindo os que são resistentes ao cloro, ser de fácil manuseio, possuir longo período de funcionamento sem necessitar de manutenção, além da sua manutenção não depender de mão-de-obra especializada.

Exemplo 1 – Sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo, com tanque de aquecimento no irradiador solar

[0067] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[0068] Foi utilizado o sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo e uma bomba submersa. A bomba utilizada foi ajustada para ter vazão de 500 litros por minuto. Quando o aquecedor (2) se voltou para o sol, a radiação que incidiu sobre ele foi refletida e convergiu para a linha focal, incidindo sobre o absorvedor (3) tubular que a transformou em calor interno. Este calor interno foi então transferido para água que circulava dentro do absorvedor (3), aquecendo-a. A água chegou, então, ao aquecedor (2) através de um tubo canalizador de fluido, que nesta exemplificação era uma mangueira transparente, impulsionada por uma bomba submersa de 13W. No aquecedor (2), a água percorreu 6 m de extensão do absorvedor (3), e foi conduzida de volta para o irradiador (1) solar de UVA e UVB.

[0069] Quando o irradiador (1) solar de UVA e UVB foi alinhado na direção do sol, com faces das superfícies refletoras (5) orientadas e ajustadas ao ângulo de inclinação do sol, a radiação que incidiu sobre cada uma das superfícies refletoras (5) foi refletida para dentro do concentrador secundário (6), incidindo sobre seus reatores (7) com parede composta de material de alta transmitância sendo, por exemplo, transmitância acima de 85%, onde nesta exemplificação foram utilizados reatores (7) com paredes de quartzo. O material da parede dos reatores utilizado foi o quartzo, pois, embora o boro-silicato e acrilato poderiam ser utilizados para o mesmo fim, suas transmitâncias não são tão altas quanto a do quartzo. A radiação que atingiu a superfície espelhada da parábola foi, por sua vez, concentrada sobre o reator (7) número 3.

[0070] A água chegou ao irradiador (1) solar de UVA e UVB trazida através da mangueira que conectou a saída do absorvedor (3) (no aquecedor (2)) e a entrada do reator (7) de quartzo. No irradiador (1) de UVA e UVB a água

percorreu 4 m de extensão total dos reatores (7) que receberam a radiação que chega do concentrador primário (4). Por fim, a água passou pelo reator (7) número 3 e recebeu além da radiação que chega do concentrador primário (4), a radiação concentrada pelo concentrador secundário (6). A água foi então irradiada pela UVA e UVB, e foi conduzida de volta ao tanque (10) isotérmico de aquecimento.

Exemplo 2 – Sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo com tanque de aquecimento no aquecedor

[0071] Foi utilizado o sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo e uma bomba submersa. A bomba foi ajustada para ter vazão de 500 litros por minuto.

[0072] Quando o aquecedor (2) se voltou para o sol, a radiação que incidiu sobre ele foi refletida e convergiu para a linha focal, incidindo sobre o absorvedor (3) tubular que a transformou em calor interno. Este calor interno foi então transferido para água que circulava dentro do absorvedor (3), aquecendo-a. A água chegou, então, ao aquecedor (2) através de um tubo canalizador de fluido, que nesta exemplificação era uma mangueira transparente, impulsionada por uma bomba submersa de 13W. No aquecedor (2), a água percorreu 6 m de extensão do absorvedor (3), e foi conduzida para o tanque (10) isotérmico de aquecimento.

[0073] Desta forma, a água foi conduzida do tanque (10) isotérmico de aquecimento para o aquecedor (2) novamente pela extensão do absorvedor, de forma contínua, até quando a água alcançou a temperatura desejada, sendo então bombeada para o irradiador (1) solar de UVA e UVB, permitindo a mesma eficiência exceto nas condições de dias poucos ensolarados.

[0074] Quando o irradiador (1) solar de UVA e UVB foi alinhado na direção do sol, com faces das superfícies refletoras (5) orientadas e ajustadas ao ângulo de inclinação do sol, a radiação que incidiu sobre cada uma das superfícies refletoras (5) foi refletida para dentro do concentrador secundário (6), incidindo

sobre seus reatores (7) com paredes de materiais de alta transmitância, onde nesta exemplificação foram utilizados reatores (7) com paredes de quartzo. A radiação que atingiu a superfície espelhada da parábola foi, por sua vez, concentrada sobre o reator (7) número 3.

[0075] A água chegou ao irradiador (1) solar de UVA e UVB trazida através da mangueira que conectou a saída do absorvedor (3) (no aquecedor (2)) e a entrada do reator (7) de quartzo. No irradiador (1) de UVA e UVB a água percorreu 4 m de extensão total dos reatores (7) que receberam a radiação que chega do concentrador primário (4). Por fim, a água passou pelo reator (7) número 3 e recebeu além da radiação que chega do concentrador primário (4), a radiação concentrada pelo concentrador secundário (6). A água foi então irradiada pela UVA e UVB, e foi conduzida de volta ao tanque (10) isotérmico de aquecimento.

Exemplo 3 – Sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo com tanque de resfriamento no irradiador solar

[0076] Foi utilizado o sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo e uma bomba submersa. A bomba foi ajustada para ter vazão de 500 litros por minuto.

[0077] Quando o aquecedor (2) se voltou para o sol, a radiação que incidiu sobre ele foi refletida e convergiu para a linha focal, incidindo sobre o absorvedor (3) tubular que a transformou em calor interno. Este calor interno foi então transferido para água que circulava dentro do absorvedor (3), aquecendo-a. A água chegou, então, ao aquecedor (2) através de um tubo canalizador de fluido, que nesta exemplificação era uma mangueira transparente, impulsionada por uma bomba submersa de 13W. No aquecedor (2), a água percorreu 6 m de extensão do absorvedor (3), e foi conduzida para o irradiador (1) solar de UVA e UVB.

[0078] Quando o irradiador (1) solar de UVA e UVB foi alinhado na direção do sol, com faces das superfícies refletoras (5) orientadas e ajustadas ao ângulo

de inclinação do sol, a radiação que incidiu sobre cada uma das superfícies refletoras (5) foi refletida para dentro do concentrador secundário (6), incidindo sobre seus reatores (7) com paredes de materiais de alta permissividade, onde nesta exemplificação foi utilizado um reator (7) com paredes de quartzo. A radiação que atingiu a superfície espelhada da parábola foi, por sua vez, concentrada sobre o reator (7) de número 3.

[0079] A água chegou ao irradiador (1) solar de UVA e UVB trazida através da mangueira que conectou a saída do absorvedor (3) (no aquecedor (2)) e a entrada do reator (7) de quartzo. No irradiador (1) de UVA e UVB a água percorreu 4 m de extensão total dos reatores (7) que receberam a radiação que chega do concentrador primário (4). Por fim, a água passou pelo reator (7) de número 3 e recebeu além da radiação que chega do concentrador primário (4), a radiação concentrada pelo concentrador secundário (6). A água foi então irradiada pela UVA e UVB, e foi conduzida de volta ao tanque (10) isotérmico de resfriamento.

Exemplo 4 – Processo de desinfecção solar de água em fluxo contínuo, pelo efeito sinérgico da radiação ultravioleta e calor

[0080] Para realizar o processo de desinfecção solar de água em fluxo contínuo foi necessário, primeiramente, determinar os componentes e materiais do sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo da presente invenção. Os componentes do sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo foram construídos e dispostos da seguinte forma:

[0081] Aquecedor solar

[0082] O aquecedor (2) consistiu de um concentrador solar cilíndrico-parabólico, e o princípio de funcionamento foi baseado nas propriedades óticas das superfícies refletoras (5) cilíndrico-circulares em que essas superfícies refletoras (5) são superfícies capazes de refletir radiação UVA e UVB, sendo, , neste exemplo, utilizados espelhos cilíndrico-circulares. Quando a face espelhada do concentrador se volta para o sol, a radiação que incide sobre si é

refletida para uma linha focal onde os feixes de radiação se interceptam (foco), neste foco foi colocado um tubo de alumínio pintado de preto (absorvedor) como ilustrado na figura 16 que transforma a energia da radiação Infravermelha (IV) do sol em energia térmica interna.

[0083] A estrutura do aquecedor (2) solar foi feita essencialmente de madeira compensada, e madeira de cedro, medindo 3,0 m de comprimento e 1,173 m de largura como ilustrado na figura 15, as medidas da abertura e altura da parábola foram calculadas como descrito na literatura, usando um arco de 1,25 m e um ângulo de abertura (α) de 70° , por ser o ângulo de borda com maior concentração mesmo quando se altera os desvios.

[0084] A parábola cilíndrica como ilustrado na figura 15 foi feita de chapa madeira compensada de 3 mm de espessura e a sua superfície foi revestida dum adesivo de poliéster metalizado de alumínio. Este material foi escolhido por possuir uma refletância média de 79,2% para o espectro infravermelho (IV) e por ser acessível e fácil de manusear.

[0085] Na linha de foco, foi colocado um absorvedor constituído de dois tubos de alumínio pintados de preto fosco, medindo 1 cm de diâmetro interno. O alumínio foi escolhido por possuir alta condutividade e por ser um bom trocador de calor. Os tubos de alumínio foram interconectados com tubos canalizadores de fluido (mangueiras plásticas transparentes) medindo 1,2 cm de diâmetro interno.

[0086] Irradiador de UV solar

[0087] O irradiador (1) de UVA e B combinou um concentrador cilíndrico-parabólico (concentrador secundário (6)) e um concentrador do tipo Fresnel (concentrador primário (4) como ilustrado na figura 2, 9 e 14), que consistiu de uma série de superfícies refletoras (5) planas ajustadas individualmente a um ângulo específico, normalmente ajustável (em função da sua distância e posição em relação ao absorvedor e do sol) de modo que toda a radiação que incidiu sobre si pôde ser refletida para um determinado ponto ou linha focal, onde normalmente se localiza o reator (7) como ilustrado na figura 5 e 8. O irradiador

(1) de UVA e UVB consistiu de dois suportes (maior e menor) horizontais de espelhos medindo 3,0 m e 2,0 m de comprimento e 1,05 m de largura, respetivamente, nas quais superfícies refletoras (5) planas medindo 1,0 m x 20 cm foram encaixadas através de presilhas (8) móveis fixadas por elementos de fixação (9), possibilitando a movimentação bidirecional das superfícies refletoras (5) para se ajustar ao ângulo de inclinação do sol ao longo do dia.

[0088] A superfície frontal das superfícies refletoras (5) de vidro foi revestida de adesivo de poliéster metalizado de alumínio. Este material foi selecionado por possuir uma refletância média (74,7%) maior em relação a outros materiais considerados para o espectro UV. Embora haja materiais de maior rendimento de refletância para o espectro UV, este foi escolhido por ser mais barato, permitindo acesso à tecnologia para comunidades menos favorecidas. O concentrador Fresnel construído possuía 25 superfícies refletoras (5), cobrindo uma superfície de incidência de 4,5 m².

[0089] Na extremidade do suporte maior, na direção para a qual as faces dos espelhos estão voltadas se encontram dois braços verticais com 0,92 m de altura que sustentam um concentrador secundário (6) cilíndrico parabólico medindo 1,0 m de comprimento e 27,0 cm de largura.

[0090] As medidas da abertura e altura da parábola do concentrador secundário (6) foram calculadas como descrito em estudos prévios, usando um arco de 0,40 m e um ângulo de abertura (α) de 70°.

[0091] Medição das propriedades ópticas do sistema

[0092] As medições óticas foram realizadas no Centro de Espectroscopia Óptica de Materiais, situado no Laboratório Laser e Óptica no Instituto de Física da UFRGS. As medições da transmitância e refletância foram realizadas com auxílio de um espectrofotômetro *Cary 5000*.

[0093] Para a medição da transmitância, uma amostra da parede do tubo de quartzo medindo 3,5 cm² foi obtida. Feixes de radiação comportando diferentes faixas incidiram sobre a amostra e as fracções de radiação que atravessavam a amostra foram medidas. Além da amostra da parede do tubo de

quartzo, realizou-se a medição de uma janela de quartzo de alta pureza a fim de estabelecer comparação.

[0094] Para a medição da refletância, foram obtidas amostras de aproximadamente 3 cm² de todos os materiais reflexivos considerados para a construção do protótipo (adesivo de poliéster metalizado de alumínio, espelhos de vidro comum e chapa de aço inoxidável (galvanizado). Feixes de radiação comportando diferentes faixas espectrais foram feitos incidir sobre as amostras e, os feixes de refletidos eram captados e quantificados por um sensor.

[0095] Estimativa da radiação de UV no interior dos reatores

[0096] Foi estimada a irradiância de UV no interior dos reatores (7) (I_{UVr1} e 2 ($I_{UVr1;2}$)) que é expressa pela equação:

$$I_{UVr1;2} = (I_{UVD} \cdot A_{SC} \cdot R_{CP}) \frac{1}{8} \cdot T_r \quad (1)$$

[0097] onde I_{UVD} é a irradiação ultravioleta direta mensurada, A_{SC} é a área da superfície de concentração, R_{CP} é a refletância do concentrador primário (4) do irradiador (1) e T_r é a transmitância da parede do tubo de quartzo.

[0098] A irradiação ultravioleta direta foi mensurada na hora do processo na Estação 83971 do INPE. A área da superfície de concentração corresponde a área ocupada pelas superfícies refletoras (5) do concentrador primário (4) do irradiador (1), que foi de 4,5 m². A refletância do concentrador primário (4) corresponde à refletância do adesivo poliéster serigráfico a base de alumínio.

[0099] Foi considerada a média das refletâncias do adesivo para a faixa do espectro UVA e UVB. A refletância para UVA foi determinada calculando a média aritmética da refletância incluindo cada ponto desde o limite superior até o inferior da faixa espectral (315 nm a 400 nm). O mesmo se fez para UVB considerando a faixa espectral de 280 nm e 315 nm. Foi considerada a média de transmitância para faixa UVA e UVB, usando os mesmos procedimentos previamente descritos para a refletância.

[0100] O valor do divisor (1/8) corresponde à área ocupada pelo reator (7) dentro da espessura da linha de foco (20 cm) do concentrador primário (4). É

produto da espessura da linha de foco do concentrador primário (4) pelo diâmetro do reator (7) de quartzo (2,5 cm).

[0101] A irradiância de UV no interior do reator (7) de número 3 (I_{UVr3}) foi estimada com base na equação:

$$I_{UVr3} = [(I_{UVD} \cdot A_{SC} \cdot R_{CP})R_{CS}] \cdot T_r + I_{UVr1;2} \quad (2)$$

[0102] onde R_{CS} representa a refletância do concentrador secundário (6), que corresponde à refletância do adesivo poliéster serigráfico a base de alumínio que foi usado para revestir a superfície da parábola do concentrador secundário (6). Foi considerada a média das refletâncias para UVA e UVB como descrito anteriormente para equação (1).

[0103] Preparação da água

[0104] Nos testes foi usada água deionizada por osmose reversa. Foi usada água de baixa (<1 UNT (Unidade Nefelométrica de Turvação)) e de alta turbidez (50 UNT). A água de alta turbidez foi obtida pela suspensão de caulim; o caulim foi adicionado gradualmente sob agitação vigorosa monitorando-se da turvação utilizando-se um turbidímetro (HACH 2100), quando a turvação desejada foi obtida, a adição de caulim foi interrompida. A água foi esterilizada em autoclave (121°C por 15 minutos) antes do uso.

[0105] Preparo do estoque dos cistos de *Acanthamoeba castellanii*

[0106] Foram usados cistos de *Acanthamoeba castellanii*, cepa Neff, ATCC 30010. O cultivo axênico de trofozoítos de *Acanthamoeba castellanii* foi realizado em garrafas de cultura celular contendo meio PYG (proteose peptona 2%, extrato de levedo 0,2% e glicose 1,8%) a 30°C por cinco dias, ao final do período o meio foi descartado, lavando-se as garrafas por duas vezes com a solução de encistamento Neff (KCl 0,1 M, Tris-amina 0,02 M, MgSO₄ 8 mM, 0,4 mM, CaCl₂, NaHCO₃ 1 mM). As células foram mantidas por sete dias na solução de encistamento suplementada com 100 µL de antibióticos (numa proporção de 1:1 de Penicilina G Potássica e Estreptomicina) por garrafa de cultivo contendo 10 mL de solução de encistamento. Os cistos foram colhidos por centrifugação

(2800 rpm por 5 minutos) e depois de descartar-se o sobrenadante, foram ressuspensos na mesma solução, e estocados a 4°C até a sua utilização. A viabilidade dos cistos de *A. castellanii* foi confirmada pela coloração de exclusão com azul de tripan 0,3%.

[0107] Cultivo de bactérias

[0108] O sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo foi igualmente testado para inativação de bactérias, incluído: *Escherichia coli* ATCC® 25922, *Salmonella* Typhimurium DT177, *Enterococcus faecalis* ATCC® 29212 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC® 27853. Duas colônias da cultura pura de cada uma dessas espécies bacterianas foram inoculadas separadamente em 2 mL do meio BHI (*Brain Heart Infusion*) e incubadas a 37°C por 18 horas.

[0109] Contaminação da água

[0110] A água deionizada previamente autoclavada foi contaminada com 10^8 cistos viáveis de *A. castellanii* por litro. Do mesmo modo, a água foi contaminada com 10^5 a 10^6 unidades formadoras de colônias (UFC) das diferentes espécies bacterianas por litro. Os processos com cistos e com bactérias foram realizados separadamente.

[0111] Procedimentos de desinfecção

[0112] Todos os procedimentos foram conduzidos em triplicata com três repetições. Antes de cada sessão do processo, o sistema era desinfetado fazendo-se fluir água destilada pelo aquecedor (2) e pelo irradiador (1) até que a água atingisse 80°C, sendo descartada em seguida. A temperatura era mensurada no fundo do tanque (10) de aquecimento.

[0113] Desinfecção da água contaminada por cistos

[0114] No processo com cistos, implementou-se três maneiras de tratamento:

[0115] Calor e UV (Calor + UV): a água foi aquecida ao mesmo tempo em que era irradiada por UVA e UVB, sendo bombeada do tanque (10), fluindo continuamente pelo aquecedor (2) e deste para o irradiador (1), retornando em seguida para o tanque (10) de aquecimento. Deixou-se que a água continuasse

fluindo até que ela atingisse 70°C. As amostras foram coletadas imediatamente (0 minutos), 5 e 10 minutos depois de ter atingido e/ou se manter a 60°C, 65°C e 70°C consecutivamente. A temperatura era medida no fundo do tanque (10) de aquecimento. Foi testada água com: **(I)** baixa turbidez (Calor + UV/<1UNT) e **(II)** alta turbidez (Calor + UV/ 50UNT).

Tabela 1 - Abordagens dos tratamentos com bactérias e cistos de *A. castellanii*, mostrando as etapas de aquecimento e os respectivos tempos de contato para coleta de amostras.

Calor + UV -> <1UNT / 50UNT ou Apenas Calor									
	Bactérias			Cistos					
Temperatura (°C)	45	55	60	60		65		70	
Tempo contato (min)	0	0	0	0	10	0	5	10	0

[0116] **(III)** Calor: a água foi aquecida, sendo bombeada do tanque (10), fluindo pelo aquecedor (2) e retornando ao tanque (10) de aquecimento, até atingir 70°C, sendo coletadas amostras 0, 5 e 10 minutos após a água atingir e/ou se manter a 60°C, 65°C e 70°C, como está descrito na tabela 1.

[0117] Coleta e acondicionamento de amostras

[0118] As amostras foram coletadas na saída do irradiador (1) de UV, nos tratamentos (Calor → UV e Calor+UV ou na saída do aquecedor (2), no tratamento Calor). Amostras de 45 mL foram coletadas em tubos imediatamente arrefecidas em banho-maria à temperatura ambiente (24°C ± 2) abrigadas de luz solar e mantidas nestas condições até a análise.

[0119] Análise de viabilidade dos cistos

[0120] As amostras foram processadas em até 4 horas após a coleta. Para avaliar a viabilidade dos cistos de *A. castellanii*, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm, durante 10 minutos, um inóculo de 50µL do sedimento foi depositado sobre cada um dos três quadrantes do ágar não nutriente com uma sobre camada de *Escherichia coli* inativada pelo calor (56°C/2h). As placas foram

encubadas a 30°C, procedendo-se o monitoramento diário do processo de desencistamento. A partir do terceiro dia após a inoculação procedeu-se a contagem diária de cistos e trofozoítos por um período de 20 dias. O número de cistos e/ou trofozoítos é expresso por campo de microscopia, usando-se uma objetiva e ocular de 10X. Campos com maior densidade e distribuição mais homogênea de cistos e/ou trofozoítos foi considerado. A contagem foi realizada nos mesmos pontos da placa por 20 dias. Quando ocorria encistamento de todos trofozoítos, outro campo com densidade similar foi encontrado.

[0121] Análise da viabilidade das bactérias

[0122] As amostras de água contaminada com bactérias (que passou pelo tratamento) foram submetidas a diluições seriadas.

[0123] A técnica de semeadura *drop plate* foi utilizada para inocular as placas ágar seletivo, BEM (eozin methylene / blue ágar - levine), XLD (xylose deoxycyclate ágar), bile esculino e cetrimide, para *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Enterococcus faecalis* e *Pseudomonas aeruginosa*, respectivamente. As placas foram incubadas a 35°C e a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) foi realizada após 18 horas de incubação. As placas sem crescimento foram monitoradas, permanecendo na incubadora por mais 18 horas. O número de colônias contadas foi multiplicado pelo respectivo fator de diluição.

[0124] Análise de dados

[0125] A ANOVA (fator único) seguida de teste *Tukey*, bem como o teste *t-student* bicaudal, foram utilizados para avaliar a significância das diferenças entre os valores médios das abordagens cujos dados apresentam variabilidade com os respectivos controles, nos distintos tratamentos. A significância da diferença entre os tratamentos também foi analisada. A probabilidade de $p < 0,05$ foi considerada significativa.

[0126] Propriedades ópticas do sistema

[0127] A película adesiva poliéster serigráfica à base de alumínio utilizada como espelho neste estudo, possui um rendimento médio de refletância maior

do que o de outros materiais considerados para toda extensão de comprimentos de onda testados (200 a 2459 nm), como se pode ver na figura 10, onde são exibidas as refletâncias da película adesiva poliéster (vermelho contínuo, linha mais grossa), do espelho de vidro comum (azul tracejado) e do aço inoxidável (preto contínuo, linha mais fina).

[0128] A refletância média do adesivo de poliéster metalizado de alumínio para a extensão do espectro IV (700 - 2459 nm) é de 79,2%. A refletância do espelho de vidro comum é de 80,8 %, e do aço inoxidável é de 68,4%, para este espectro.

[0129] O adesivo de poliéster metalizado de alumínio possui um alto poder de refletividade comparativa em relação a outros materiais, para o espectro UV. Sua refletância média é de 74,7%. A refletância média do espelho de vidro comum e do aço inoxidável para a mesma faixa espectral são respectivamente 36,6% e 34,1%. Como se pode ver na figura 11, a refletância média do espelho de vidro comum (azul tracejado) decai para um valor muito próximo de zero quando a faixa espectral de UVB é considerada, onde o adesivo de poliéster metalizado de alumínio (laranja contínuo) possui em média o valor mais alto de refletância de radiação UVA e UVB em comparação com os outros materiais representados como o espelho de vidro comum e o aço inoxidável (preto contínuo).

[0130] A transmitância da parede do tubo de quartzo usado como reator (7) no irradiador (1) de UVA e UVB, foi mensurada para o espectro UV. Sua transmitância média para a faixa do espectro UVA foi de 87,2% e para UVB foi 83,3% como se pode ver na figura 12.

[0131] Uma janela de quartzo de alta pureza (azul tracejado) também foi submetida aos testes de transmitância, e demonstrou possuir maior transmitância que a parede do reator (7) tubular de quartzo (laranja contínuo) usado neste experimento. Sua transmitância média foi de 91,8% e 91,2% para UVA e UVB respectivamente como se pode ver na figura 12.

[0132] Resultados

[0133] Foi utilizado o sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo da presente invenção como ilustrado na figura 1, 3, e 17. No foco do concentrador cilíndrico-parabólico está colocado o tubo absorvedor, no qual ocorre a conversão da radiação solar em calor interno, que é de seguida transferida para água que flui através do tubo, aquecendo-a. Os reatores (7) de quartzo do irradiador (1) de UVA e UVB foram colocados na zona focal do concentrador primário (4) tipo Fresnel e no foco do concentrador secundário (6) do tipo cilíndrico-parabólico com ilustrado na figura 3. A água era bombeada do tanque (10) de aquecimento para o tubo absorvedor do aquecedor (2) e deste para o irradiador (1), percorrendo o reator (7) 1 depois o reator (7) 2 e finalmente o reator (7) de máxima concentração de UV, o reator (7) 3, podendo regressar ao tanque (10) de aquecimento ou fluir para o tanque (10) de resfriamento, como se pode ver na figura 6 e 17.

[0134] Funcionamento do sistema

[0135] A temperatura do ar nos momentos da realização de experimento nos diferentes dias variou entre 24 e 30,8°C. A insolação variou entre 224 kJ/m² e 1471 kJ/m², enquanto a radiação UV direta assumiu valores entre 150 e 250 mW/m².

Tabela 2 - Condições radiológicas nos dias da realização do experimento

Alvo	Tratamento	UNT	Data	T°C	Insolação (kJ/m ²)	I _{UVB}	I _{UVr1;2}	I _{UVr3}
Cistos	Calor + UV	<1	06/02	24	1471	225	80,6	562,2
		<1	07/03	26	263	175	62,7	437,3
	Calor + UV	50	26/03	19	230	150	53,7	374,8
	Calor	<1	14/03	23	355	200	71,6	499,7
Bactérias	Calor → UV	<1	29/01	30,4	224	150	53,7	374,8
		<1	31/01	30,8	1287	275	98,5	687,2
		<1	01/02	29,4	1349	250	89,6	624,8
	Calor + UV	50	19/02	19	224	150	53,7	374,8

	Calor + UV	<1	26/03	24,4	354	200	71,6	499,7
	Calor	<1	29/01	30,4	1452			
		<1	31/01	30,8	1287			
		<1	01/02	29,4	1349			

[0136] Os valores estimados de radiação UV concentrada e que atravessa a parede dos reatores (7) 1, 2 e 3 de quartzo são apresentados na tabela 2.

[0137] Os valores estimados de UV nos reatores (7) 1, 2 referem-se à radiação captada pelo concentrador primário (4) e direcionada sobre os reatores (7) tubulares de quartzo que se encontram dentro da área da abertura do concentrador secundário (6). Já os valores de radiação UV no reator (7) 3 referem-se ao somatório da radiação concentrada pelo concentrador primário (4) e pelo concentrador secundário (6) e que converge sobre o reator (7) 3 que se encontra no foco do concentrador secundário (6).

[0138] A temperatura média da água antes do tratamento era de aproximadamente 26,4°C.

[0139] Foi monitorada a temperatura do lote de 10 litros de água tratados em cada sessão de tratamento no fundo do tanque (10) de aquecimento durante diferentes tempos, a partir do momento em que a água começava a percorrer o sistema. As temperaturas foram registadas em cada 5 minutos durante 20 minutos. Foi observado um rápido aumento de temperatura nos primeiros 10 minutos, atingindo em média 58,0°C, como se pode ver na figura 13.

[0140] A velocidade do aumento da temperatura a partir dos 15 minutos mostrou-se influenciada pela nebulosidade e velocidade do vento, sendo que em dias de céu límpido e com baixa velocidade de vento, temperaturas de até 83°C foram alcançadas em 20 minutos.

[0141] Uma produtividade média de 40 litros por hora foi obtida, considerando a abordagem 60°C+UV-10. Uma produção média de 360 litros de água por dia foi alcançada em dias ensolarados funcionando das 08h e 30min às 16h e 30min.

[0142] Inativação de cistos

[0143] A visualização de trofozoítos nos controles se efetivou na maioria dos casos a partir de 24 horas, em poucos casos 48 horas após a incubação das placas.

Tabela 3 - Médias de trofozoítos por dia e por intervalos de dias de monitoramento, por abordagem de cada tratamento

Intervalo de dias	Condições experimentais		Média de trofozoítos por abordagem de cada tratamento						
	Turbidez	UV	Cont	60°C-	60°C-	65°C	65°C-	65°C-	70°C
			.	0	10	-0	5	10	-0
Tratamento: Calor + UV									
1º	<1	580,4	0	0	0	0	0	0	0
3º-6º	<1	580,4	344	0	0	0	0	0	0
7º-10º	<1	580,4	75	0	0	0	0	0	0
11º-14º	<1	580,4	16	0	0	0	0	0	0
15º-18º	<1	580,4	9	0	0	0	0	0	0
19º-20º	<1	580,4	1	0	0	0	0	0	0

Tabela 4 - Médias de trofozoítos por dia e por intervalos de dias de monitoramento, por abordagem de cada tratamento

Intervalo de dias	Condições experimentais		Média de trofozoítos por abordagem de cada tratamento						
	Turbidez	UV	Cont	60°C-	60°C-	65°C	65°C-	65°C-	70°C
			.	0	10	-0	5	10	-0
Tratamento: Calor + UV									
1º	50	482,2	0	0	0	0	0	0	0
3º-6º	50	482,2	229	0	0	0	0	0	0
7º-10º	50	482,2	119	28	0	0	0	0	0
11º-14º	50	482,2	42	98	0	0	0	0	0

15°-18°	50	482,2	10	26	0	0	0	0	0
19°-20°	50	482,2	5	2	0	0	0	0	0

Tabela 5 - Médias de trofozoítos por dia e por intervalos de dias de monitoramento, por abordagem de cada tratamento

Intervalo de dias	Condições experimentais		Média de trofozoítos por abordagem de cada tratamento						
	Turbidez	UV	Cont.	60°C-0	60°C-10	65°C-0	65°C-5	65°C-10	70°C-0
Tratamento: Calor									
1°	<1	0	0	0	0	0	0	0	0
3°-6°	<1	0	390	0	0	0	0	0	0
7°-10°	<1	0	280	35	0	0	0	0	0
11°-14°	<1	0	20	164	0	0	0	0	0
15°-18°	<1	0	0	38	0	0	0	0	0
19°-20°	<1	0	0	2	0	0	0	0	0

[0144] Nas amostras pós-tratamento, não foi observado desencistamento de cistos de *A. castellanii* em todas abordagens do tratamento Calor+UV/<1 em todas as repetições do experimento, não tendo sido contabilizado nenhum trofozoíto (tabelas 3, 4 e 5).

[0145] Não foi observado desencistamento de cistos na maioria das abordagens do tratamento Calor+UV/50UNT, nomeadamente 60°C+UV-10/50UNT (onde a água com alta turbidez foi irradiada ao mesmo tempo em que era aquecida até atingir 60°C e foi mantida nesta temperatura enquanto fluía pelo irradiador (1) por 10 minutos), 65°C+UV-0/50UNT, 65°C+UV-5/50UNT, 65°C+UV-10/50UNT e 70+UV-0/50UNT, em todas as repetições do experimento, por isso nessas abordagens nenhum trofozoíto foi contado.

[0146] Em uma das três repetições do tratamento Calor+UV/50UNT na abordagem 60°C+UV-0/50UNT ocorreu desencistamento, e consequente

contagem de trofozoítos a partir do 6º dia de incubação. O número de trofozoítos contados nesta abordagem veio a ser maior do que o número de trofozoítos contados no respectivo controle a partir do 14º dia.

[0147] Da mesma maneira, não foi observado desencistamento na maioria das abordagens do tratamento Calor, nomeadamente 60°C-10 (onde a água foi aquecida até atingir 60°C, e foi mantida a esta temperatura por 10 minutos), 65°C-0, 65°C-5, 65°C-10 e 70°C-0, em todas as repetições do experimento, por isso nessas abordagens nenhum trofozoíto foi contado.

[0148] Em uma das três repetições do tratamento Calor na abordagem 60°C-0 ocorreu desencistamento, e conseqüente contagem de trofozoítos a partir do 5º dia de incubação. O número de trofozoítos contados nesta abordagem veio a ser maior do que o número de trofozoítos contados no respectivo controle a partir do 11º dia (tabelas 3, 4 e 5).

[0149] Inativação de bactérias

[0150] Nenhuma UFC bacteriana foi observada nas abordagens envolvendo 60°C em todos tratamentos nomeadamente: 60°C→UV, 60°C+UV/<1, 60°C+UV/50 e 60°C, para todas as espécies bacterianas.

[0151] No tratamento Calor→UV (onde a água foi pré-aquecida e depois feita passar uma única vez pelo irradiador (1)) não houve crescimento de alguma UFC nas abordagens 55°C→UV e 60°C→UV, para todas as espécies bacterianas.

Tabela 6 - Médias de UFC por abordagem de cada tratamento

Alvo	Condições		Média de UFC por abordagem de cada tratamento			
	Turbidez	UV	Controle	45°C	55°C	60°C
Tratamento: Calor → UV						
<i>E. coli</i>	<1	723,5	2,8x10 ⁵	4,1x10 ⁴	0,0	0,0
<i>S. typhimurium</i>	<1	723,5	2,4x10 ⁵	3,6x10 ⁴	0,0	0,0
<i>E. faecalis</i>	<1	723,5	2,7x10 ⁵	1,4x10 ⁵	0,0	0,0

<i>P. aeruginosa</i>	<1	723,5	5,5x10 ⁵	3,3x10 ³	0,0	0,0
----------------------	----	-------	---------------------	---------------------	-----	-----

Tabela 7 - Médias de UFC por abordagem de cada tratamento

Alvo	Condições		Média de UFC por abordagem de cada tratamento			
	Turbidez	UV	Controle	45°C	55°C	60°C
Tratamento: Calor + UV						
<i>E. coli</i>	<1	482,2	3,8x10 ⁷	6,5x10 ⁶	1,1x10 ⁴	0,0
<i>S. typhimurium</i>	<1	482,2	3,7x10 ⁷	7,8x10 ⁶	1,4x10 ²	0,0
<i>E. faecalis</i>	<1	482,2	3,0x10 ⁷	4,6x10 ⁶	1,6x10 ³	0,0
<i>P. aeruginosa</i>	<1	482,2	4,5x10 ⁶	2,9x10 ⁵	2,2x10 ³	0,0

Tabela 8 - Médias de UFC por abordagem de cada tratamento

Alvo	Condições		Média de UFC por abordagem de cada tratamento			
	Turbidez	UV	Controle	45°C	55°C	60°C
Tratamento: Calor + UV						
<i>E. coli</i>	50	642,9	2,1x10 ⁵	3,6x10 ⁵	2,7x10 ⁴	0,0
<i>S. typhimurium</i>	50	642,9	2,0x10 ⁵	1,2x10 ⁵	5,0x10 ³	0,0
<i>E. faecalis</i>	50	642,9	1,6x10 ⁶	8,8x10 ⁴	2,2x10	0,0
<i>P. aeruginosa</i>	50	642,9	5,3x10 ⁴	9,2x10 ⁴	0,0	0,0

Tabela 9 - Médias de UFC por abordagem de cada tratamento

Alvo	Condições		Média de UFC por abordagem de cada tratamento			
	Turbidez	UV	Controle	45°C	55°C	60°C
Tratamento: Calor						
<i>E. coli</i>	<1	0	2,8x10 ⁵	2,4x10 ⁵	9,7x10 ³	0,0
<i>S. typhimurium</i>	<1	0	2,2x10 ⁵	9,1x10 ⁴	2,2x10	0,0

<i>E. faecalis</i>	<1	0	2,9x10 ⁵	2,2x10 ⁵	1,4x10 ³	0,0
<i>P. aeruginosa</i>	<1	0	3,7x10 ⁵	2,1x10 ⁴	0,0	0,0

[0152] Na abordagem 45°C→UV houve contagem de UFC de todas as espécies de bactérias testadas. Uma redução de cerca de 1 log de *S. typhimurium* e de 2 logs de *P. aeruginosa* foram observadas nesta abordagem. Para outras bactérias uma redução de menos de 1 log foi obtida (tabelas 6, 7, 8 e 9).

[0153] No tratamento Calor+UV/<1UNT (onde a água de baixa turbidez foi aquecida ao mesmo tempo em que era irradiada) não foi detectada nenhuma UFC para todas as espécies de bactérias testadas na abordagem 60°C+UV/<1UNT.

[0154] Nas abordagens 45°C+UV/<1UNT bem como 55°C+UV/<1UNT houve contagem de UFC para todas as espécies de bactérias testadas. Reduções médias de cerca de 3 logs para *E. coli* e *P. aeruginosa*, e de cerca de 5 logs para *S. typhimurium*, e 4 logs para *E. faecalis* foram observadas na abordagem 55°C+UV/<1UNT. Na abordagem 45°C + UV/<1UNT foi observada uma redução média de cerca de 1 log para todas espécies bacterianas testadas (tabelas 6, 7, 8 e 9).

[0155] No tratamento Calor+UV/50UNT (onde a água com alta turbidez foi aquecida ao mesmo tempo em que era irradiada) não se detectou UFC para todas as espécies de bactérias testadas na abordagem 60°C+UV/50UNT.

[0156] Nas abordagens 45°C+UV/50UNT assim como 55°C+UV/50UNT houve contagem de UFC para diversas espécies de bactérias (tabela 4). Na abordagem 55°C+UV/50UNT nenhuma UFC de *P. aeruginosa* foi observada, sendo que reduções médias de 1 log para *E. coli*, 2 logs para *S. typhimurium*, e 5 logs para *E. faecalis* foram obtidas nesta abordagem. Na abordagem 45°C+UV/50UNT, uma redução média de 2 logs para *E. faecalis* foi obtida. Para outras espécies de bactérias testadas uma redução média de pelo menos 1 log não foi alcançada, sendo que o número médio de UFC para *E. coli* e *P.*

aeruginosa nesta abordagem chegou a ser ligeiramente maior que o número médio de UFC no controle (tabela 6, 7, 8 e 9).

[0157] No tratamento Calor (onde a água com baixa turbidez apenas foi aquecida) não foi observada nenhuma UFC de todas as espécies de bactérias testadas na abordagem 60°C.

[0158] Nas abordagens 45°C assim como 55°C houve contagem de UFC de diversas espécies testadas. Na abordagem 55°C nenhuma UFC de *P. aeruginosa* foi observada, sendo que reduções médias de 2 logs para *E. coli* e *E. faecalis*, e de 4 logs de *S. typhimurium* foram alcançadas. Na abordagem 45°C+UV/50UNT uma redução média de 1 log para *S. typhimurium* e *P. aeruginosa* foi alcançada.

Tabela 10 - Significância da diferença da eficácia de inativação de baterias entre os tratamentos

	Calor → UV	Calor + UV/ <1UNT	Calor + UV/ 50UNT	Calor
Calor → UV		1,798E-08**	0,0028**	0,00023**
Calor + UV/ <1UNT	1,079E-07**			0,00915**
Calor + UV/ 50UNT	0,0168**	0,0166**		0,4826 ^{nds}
Calor	0,0014**	0,549 ^{nds}	1 ^{nds}	

[0159] onde nds significa não difere significativamente e ** difere significativamente. Para outras espécies testadas uma redução média de pelo menos 1 log não foi alcançada nesta abordagem, (tabela 10).

[0160] Os valores médios de UFCs no tratamento Calor→UV diferiram significativamente das médias de todos outros tratamentos. A contagem de UFC no tratamento Calor+UV/<1UNT também diferiram significativamente da contagem em todos tratamentos. As médias de UFCs não diferiram

significativamente entre os tratamentos Calor+UV/50UNT e Calor→UV, pela análise de variância (ANOVA) seguida de teste *Tukey*, como se descreve na tabela 10.

[0161] Pode-se verificar, então, que o sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo da presente invenção tratou 1 litro de água a cada 90 segundos.

[0162] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

Reivindicações

1. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo **caracterizado** por compreender:
 - a. um aquecedor (2) compreendendo: um bocal de saída; e um concentrador principal compreendendo um absorvedor, onde o dito absorvedor compreende associação com ao menos um tubo canalizador de fluido; e
 - b. um irradiador (1) solar compreendendo: um bocal de entrada recebendo fluido que passa pelo bocal de saída do aquecedor (2); concentrador primário (4) compreendendo uma pluralidade de superfícies refletoras (5); e um concentrador secundário (6) compreendendo reatores (7), onde o concentrador primário (4) é associado ao concentrador secundário (6) por meio de tubo canalizador de fluido.
2. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por adicionalmente o bocal de saída do aquecedor (2) ser associado ao bocal de entrada do irradiador (1) através de ao menos um tanque (10) isotérmico por meio de tubo canalizador de fluido.
3. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do concentrador secundário (6) do irradiador (1) solar compreender geometria cilíndrica-parabólica e ser associado com um reator (7) tubular fabricado com material de alta transmitância à radiação ultravioleta de tipo A e de tipo B.
4. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do concentrador principal do aquecedor (2) compreender geometria cilíndrica-parabólica.
5. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do concentrador primário (4) ser do tipo Fresnel e compreender ao menos dois suportes de superfícies refletoras (5) movimentáveis, onde as ditas superfícies refletoras (5) têm sua superfície

revestida com material de alta refletância para o espectro UV.

6. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato do concentrador secundário (6) compreender a superfície revestida com material de alta refletância para o espectro UV.

7. Sistema de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do absorvedor do aquecedor (2) compreender ao menos dois tubos paralelos revestidos posicionados abaixo do vértice da linha focal do concentrador principal.

8. Processo de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo **caracterizado** por ser implementado em ao menos um sistema de desinfecção solar, que compreende aquecedor (2) e irradiador (1) solar, e por compreender as etapas de:

- a. transferência de fluido por ao menos um tubo revestido de um absorvedor do aquecedor (2) para ao menos um reator (7) de um concentrador primário (4) do irradiador (1) solar; e
- b. transferência de fluido do reator (7) do irradiador (1) solar para ao menos um tanque (10) isotérmico.

9. Processo de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** por compreender etapa de ajuste do ângulo de ao menos uma superfície refletora, onde o dito ângulo possui incidência com a inclinação da luz solar.

10. Processo de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato da etapa de transferência de fluido do irradiador (1) compreender ao menos uma das subetapas de:

- a. transferência de fluido para ao menos um tanque (10) de aquecimento; ou
- b. transferência de fluido para ao menos um tanque (10) de arrefecimento.

FIGURAS



Figura 1

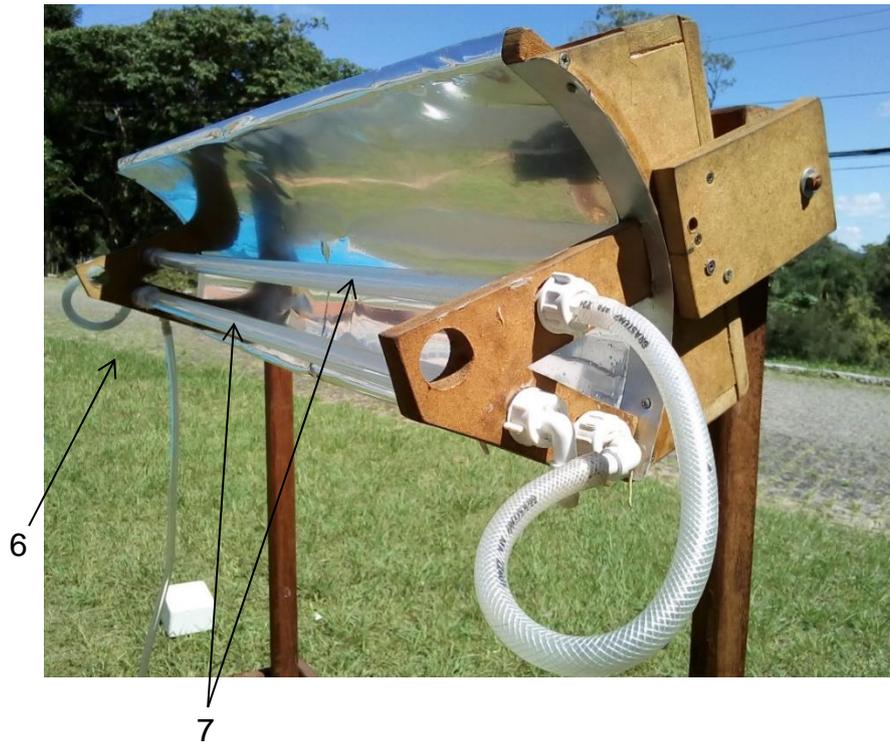


Figura 2

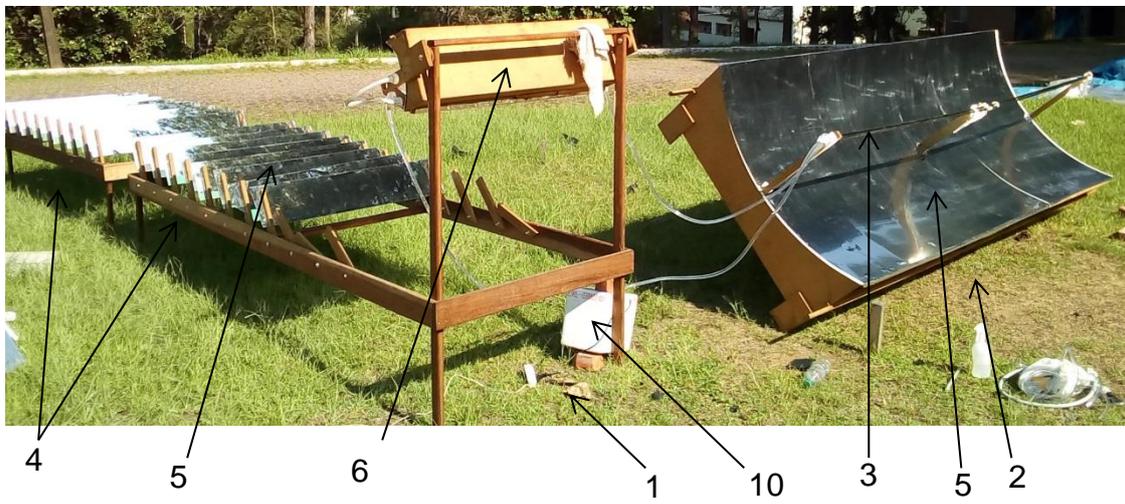


Figura 3

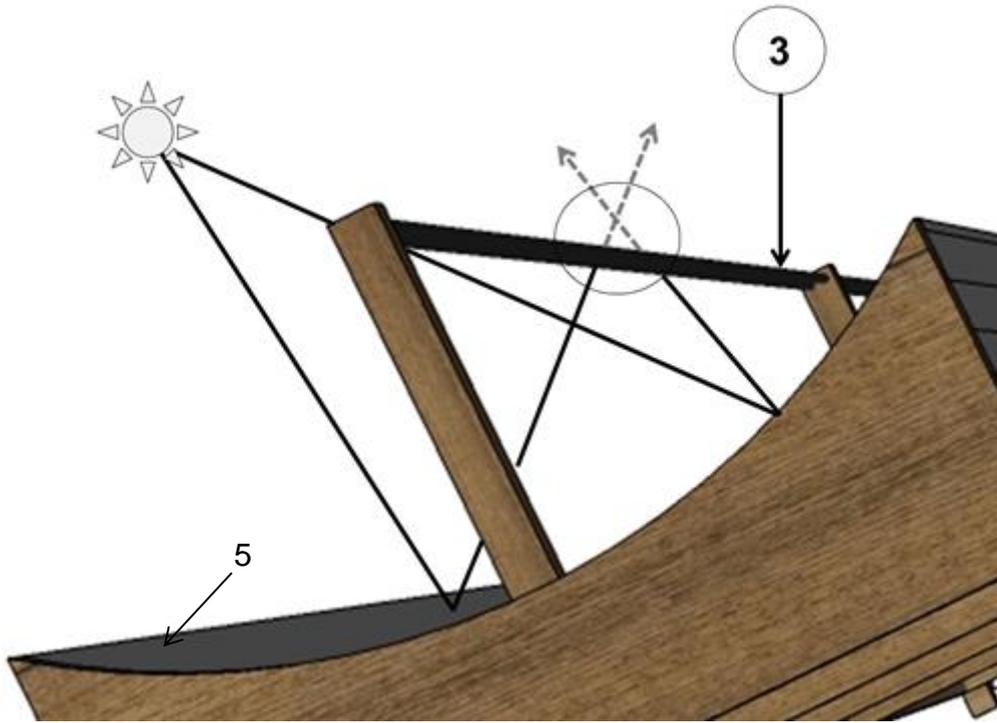


Figura 4

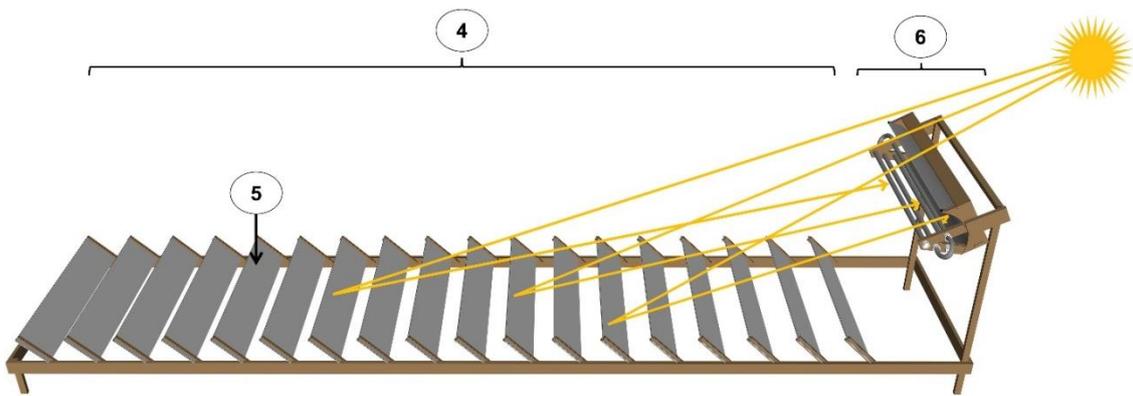


Figura 5



Figura 6

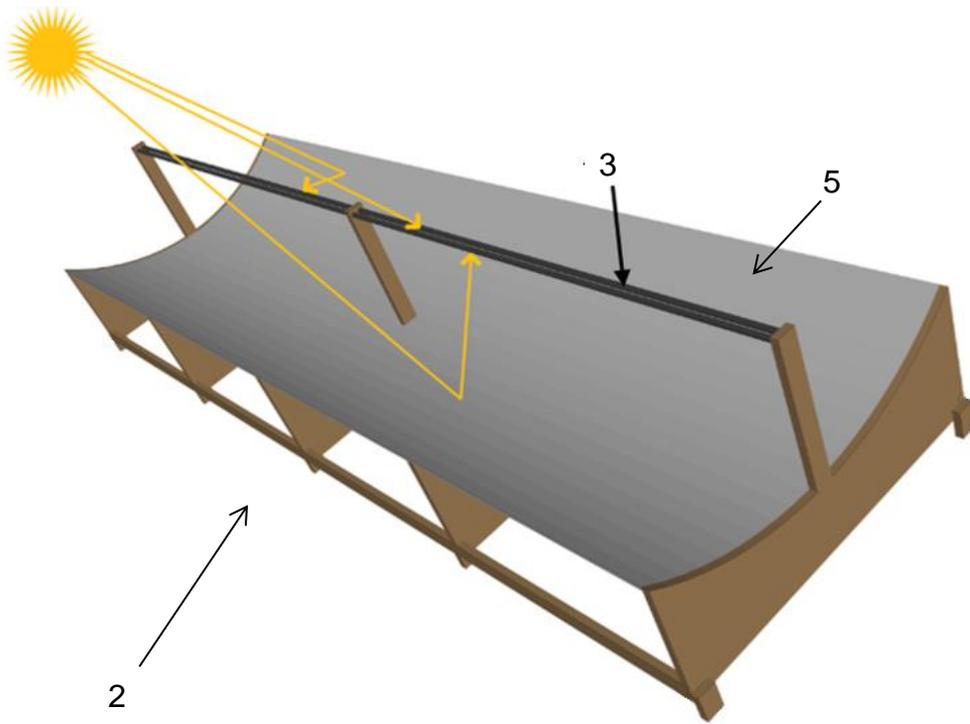


Figura 7

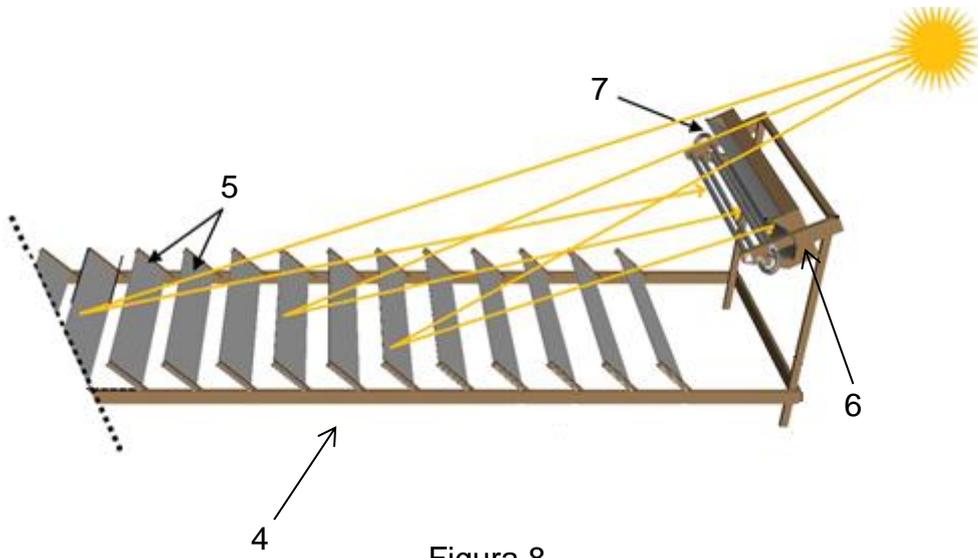


Figura 8



Figura 9

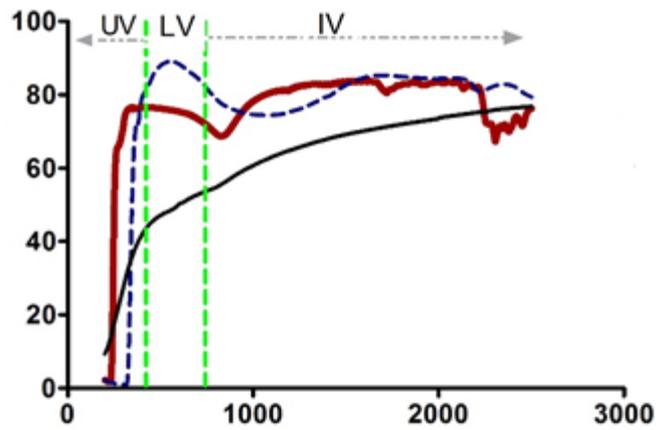


Figura 10

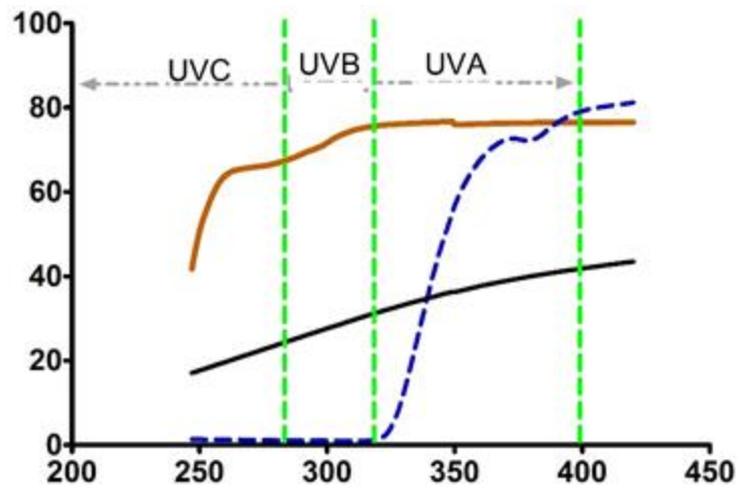


Figura 11

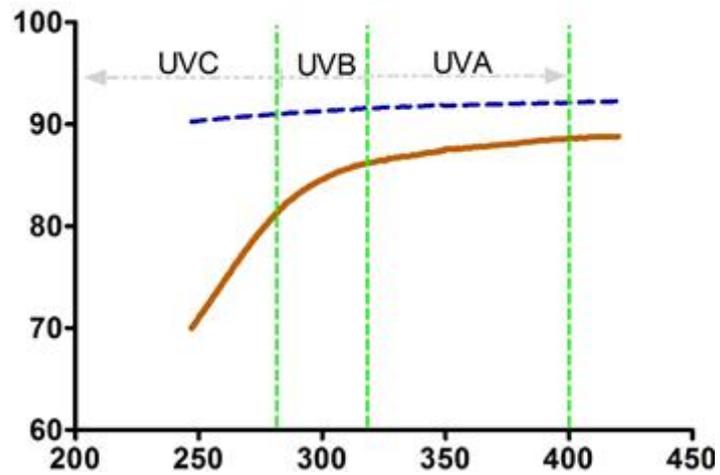


Figura 12

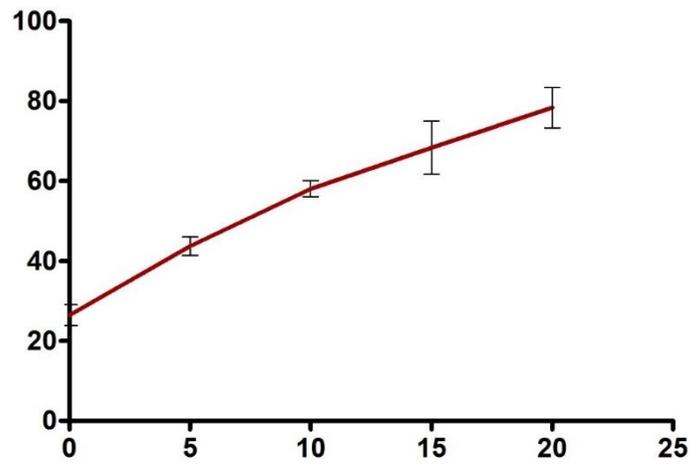


Figura 13

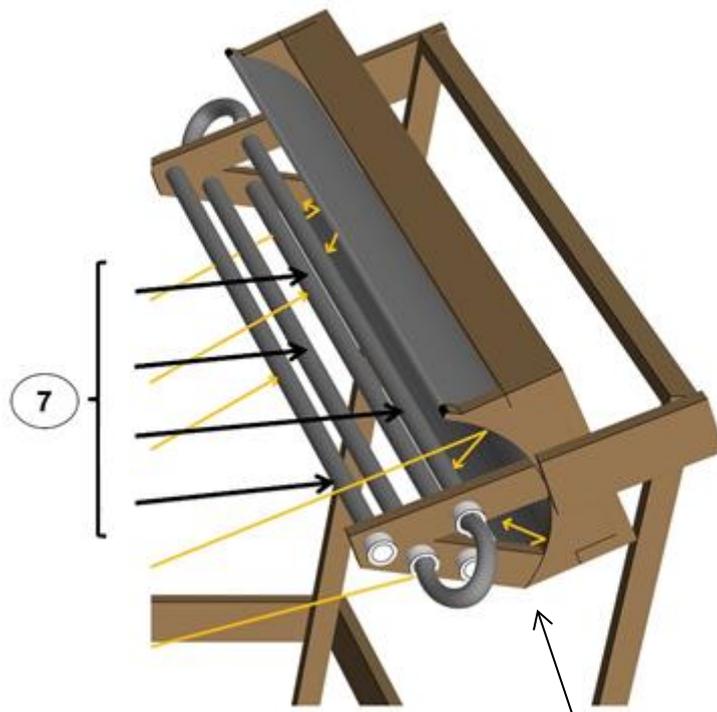


Figura 14

6

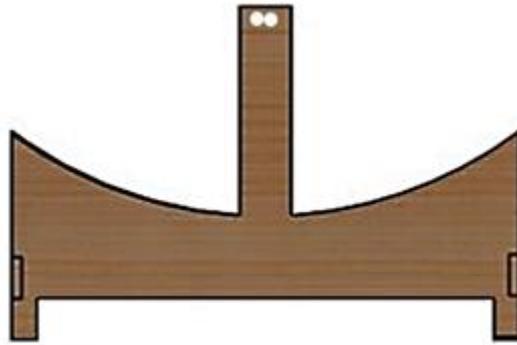


Figura 15

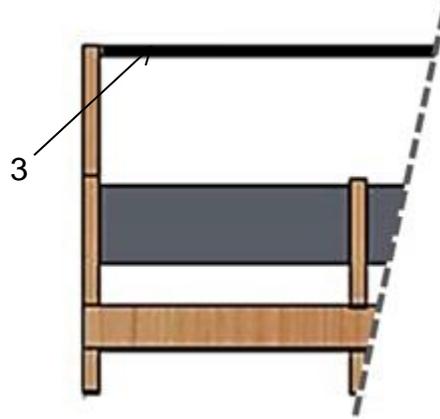


Figura 16

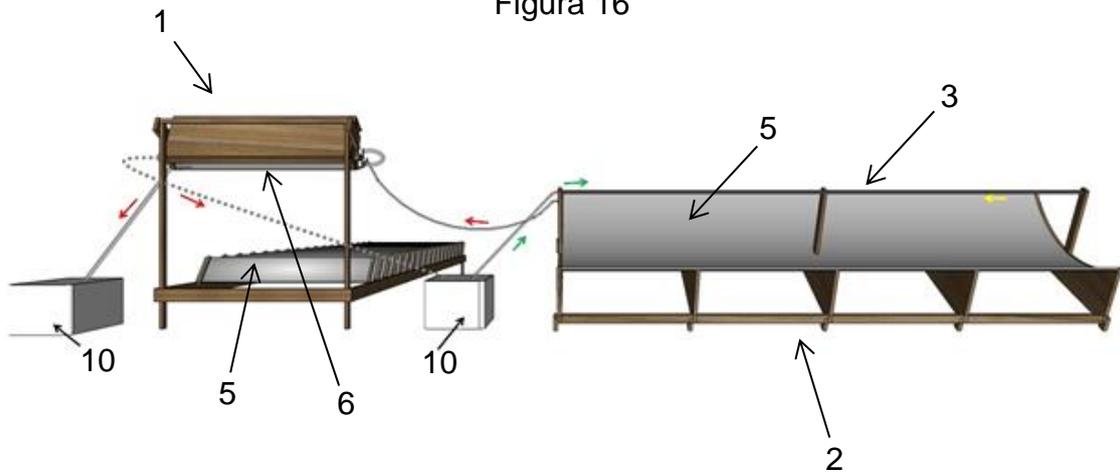


Figura 17

Resumo**SISTEMA E PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR DE FLUIDO EM FLUXO
CONTÍNUO**

A presente invenção descreve uma solução para tratamento de fluidos por meio de desinfecção solar de fluido em fluxo contínuo. Especificamente, a presente invenção compreende um conjunto de aquecedor e irradiador solar, onde por meio de concentradores e reatores, calor e radiação UVA e UVB são incididos no fluido, de tal forma que os microrganismos presentes no fluido são inativadas e um maior volume de fluido por unidade de tempo pode ser tratado. A presente invenção se situa nos campos de controle da poluição da água, tratamento de águas residuais, tratamento de fluidos, saneamento básico, desinfecção solar, engenharia mecânica, distribuição de água potável, provisionamento de água potável e acondicionamento de água segura para consumo.