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

(21) BR 102014031165-3 A2

(22) Data do Depósito: 12/12/2014

(43) Data da Publicação: 19/07/2016

(54) Título: REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES E SISTEMA DE TRATAMENTO

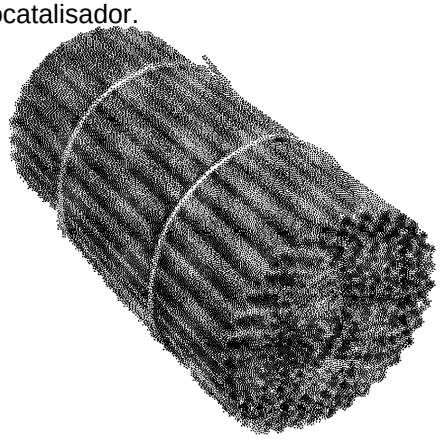
(51) Int. Cl.: C02F 1/30; B01J 21/06

(73) Titular(es): MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE

(72) Inventor(es): GIOVANNA MACHADO, OTIDENE ROSSITER SÁ DA ROCHA, LUCIANO COSTA ALMEIDA, JOSÉ VINÍCIUS OLIVEIRA CARNEIRO, JOHAN RENE GONZALEZ MOYA, JANAINA VIANA DE MELO

(74) Procurador(es): CÉLIA NOVAES & ASSOCIADOS SOCIEDADE SIMPLES LTDA

(57) Resumo: REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES E SISTEMA DE TRATAMENTO. A presente invenção trata de um reator fotocatalítico, dotado de microcanais, para ser utilizado em sistemas de tratamento de efluentes com vistas ao abastecimento público de água. Refere-se a presente invenção a um reator fotocatalítico de microcanais para tratamento de efluentes constituídos por substâncias potencialmente tóxicas, assim como o sistema de tratamento utilizando o referido reator. O microrreator fotocatalítico microcanais compreende preferencialmente um substrato metálico sobre o qual o óxido de titânio (TiO2) na forma nanotubular, é crescido a partir do referido substrato, sendo capaz de atuar como fotocatalisador.



REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES E SISTEMA DE TRATAMENTO

Campo da invenção

[0001] Refere-se a presente invenção a um reator fotocatalítico de microcanais para tratamento de efluentes constituídos por substâncias potencialmente tóxicas, assim como o sistema de tratamento utilizando o referido reator. Estas substâncias, cujos efeitos ou a presença no ambiente são ainda pouco conhecidos, são denominadas "efluentes emergentes". Geralmente são encontradas em concentrações muito baixas, na ordem de nanogramas por litro, em mananciais para abastecimento público, assim como na água distribuída aos municípios após o tratamento.

Fundamentos da invenção

[0002] Um micropoluente orgânico é um composto que, mesmo em baixíssima concentração, apresenta toxicidade elevada, efeitos mutagênicos, carcinogênicos e alguns bioacumulativos. Os processos convencionais de tratamento de água são ineficazes para resolver este problema devido à baixa concentração deste tipo de composto, assim, a busca por novos processos continua, dando origem aos Processos Oxidativos Avançados (POAs), que limpam as águas através da oxidação, transformando os poluentes em CO_2 e H_2O.

[0003] Dentre os principais POA's se destacam: o Fenton, o Fotofenton, a Ozonolise e a Fotocatálise heterogênea, que ocorre mediante a absorção de um fóton com energia igual ou superior à energia do *bandgap* do semicondutor empregado, convertendo luz de alta energia em pares elétrons-buraco.

[0004] Devido às suas propriedades físico-químicas o dióxido de titânio TiO_2 é um material muito utilizado como catalisador para fotodegradação de micropoluentes orgânicos em processos de purificação de água. Possui uma boa atividade óptica, pode ser ativado por luz solar (um semicondutor inerte e absorvedor de radiação UVA e UVB), estável fotocataliticamente, insolúvel em

água, estável em uma ampla faixa de pH, pode ser imobilizado em sólidos, possui baixo custo e não é tóxico. Este material deve ser sintetizado de forma que a estrutura resulte em maior eficiência na conversão de luz em potencial de carga de superfície, fazendo com que a metodologia de síntese seja um fator decisivo neste processo.

[0005] A tecnologia em microrreatores (ou reator de microcanais) pode ser conceituada como recente, visto que oferecem a possibilidade de miniaturização de estruturas de reatores fotocatalíticos, aparecendo como oportunidade para as mais diversas aplicações.

[0006] Sua principal vantagem em relação aos reatores convencionais (reatores de batelada, reatores tubulares, entre outros) é que apresentam elevadas relações superfície/volume e elevado coeficiente de transferência de massa, o que os tornam excelentes candidatos para utilizá-los nestes tipos de processos em que a concentração dos produtos poluentes é muito reduzida. Adicionalmente, devido ao seu tamanho, diferentes formas microcanais dos reatores podem ser elaboradas, oferecendo inúmeras oportunidades para observar seu desempenho quanto a sua geometria.

[0007] Do ponto de vista econômico, deve ser considerada a redução dos gastos quando comparados aos sistemas convencionais. Microrreatores são fabricados em dimensões milimétricas ou micrométricas, levando a reduções de efeitos difusivos que ocorrem devidos às operações onde são empregadas elevadas taxas de transferência de massa com curto tempo de resposta.

[0008] Por outro lado, atualmente a eficiência de conversão de energia solar para tratamento de efluentes pela geração de radicais hidroxilas ainda é baixa, principalmente por dois motivos:

- rápida reação de recombinação do par elétron e lacuna fotogerados,
- incapacidade de utilizar a luz visível.

[0009] Considerando que a luz visível contribui com cerca de 45% da energia da radiação solar, enquanto a luz UV representa apenas cerca de 5%, a incapacidade de utilizar a luz visível limita a eficiência no tratamento de

efluentes por luz solar. Para utilizar parte de dessa luz visível torna-se necessário modificar a natureza do semicondutor, para empregar luz solar direta como fonte de radiação para os processos de oxidação, fazendo com que se diminua a recombinação dos portadores de carga, aumentando a velocidade de reações redox.

[0010] Diversos processos vêm sendo desenvolvidos no mundo com este mesmo objetivo. Podem ser citados vários documentos de patente sobre o assunto.

[0011] O documento MU8502124-7 propõe a eliminação de poluentes orgânicos utilizando uma câmara de fotocatálise, que possui um elemento tubular em seu interior recoberto com TiO_2. Os contaminantes circulam em circuito fechado e recebem o tratamento por meio de três lâmpadas UV colocadas ao redor do referido elemento tubular recoberto com TiO_2. A fotocatálise neste caso ocorre por meio de energia elétrica.

[0012] O documento ES2148623 propõe a depuração fotocatalítica de águas residuais com placas múltiplas com nervos produzidos com material plástico e translucido tendo como fotocatalisador TiO_2 em seu interior. O fotocatalisador utilizado (TiO_2) está em suspensão, havendo a necessidade de filtração após depuração da água.

[0013] O documento PI0504456-1 propõe o uso de fotocatalisadores flutuantes a base de um semicondutor suportado em um material básico, de origem polimérica ou natural, que flutue na água. Tais materiais são espalhados na superfície da água com o objetivo de promover a oxidação dos contaminantes, podendo ser recuperados e reutilizados.

[0014] O documento PI0606335-7 trata de aspectos conceituais e de construção de microcanais. Estes microcanais trazem recursos e/ou melhorias de processos a partir da modificação da superfície interna devido à melhora do fluxo em diversos aspectos. Todavia, não se menciona tratamento de nenhum fluido, nem tão pouco sua aplicação para a construção de um reator fotocatalítico.

[0015] O documento WO2013085469 apresenta um método para tratar a superfície de óxido de titânio por meio de exposição ao H_2-plasma, promovendo uma desordem em sua estrutura com o objetivo de melhorar a absorção de luz na região visível.

[0016] Tais processos, no entanto, ainda apresentam custos bastante elevados e eficiência pouco satisfatória. A técnica ainda se ressente de um processo de tratamento de água para abastecimento público, a ser distribuída aos municípios, que apresente baixo custo e alta eficiência.

[0017] Desta forma, as pesquisas em desenvolvimento envidam esforços no sentido de aprimorar um processo eficiente, de baixo custo, e que possa ser aplicado com segurança em mananciais de água para abastecimento público.

Sumário da invenção

[0018] A presente invenção trata de um reator fotocatalítico, dotado de microcanais, para ser utilizado em sistemas de tratamento de efluentes com vistas ao abastecimento público de água. O reator apresenta o fotocatalisador na forma nanotubular, crescido a partir de um substrato metálico de titânia, tântalo, ligas metálicas ou ainda lâminas poliméricos, sobre as quais poderão ser posteriormente depositadas nanopartículas de outro metal, como ouro, prata, e metais de transição, por exemplo, com o objetivo de ampliar a eficiência quanto à absorção de luz solar e a eficácia do tratamento.

[0019] O sistema de tratamento inclui o emprego de um reator tubular de quartzo, no interior do qual é colocado o reator fotocatalítico de microcanais, produzido a partir de placas suporte onde são sintetizados nanotubos de TiO_2. As placas são enroladas sob a forma de um monolito e colocadas no interior do tubo de quartzo, funcionando como um microrreator, o qual pode ser removido e substituído.

Breve descrição da Figura

[0020] A Figura 1 apresenta um suporte micromonolito produzido de acordo com a invenção.

[0021] A Figura 2 mostra uma representação esquemática do sistema de tratamento que emprega o reator fotocatalítico de microcanais da invenção.

Descrição detalhada da invenção

[0022] Para que a invenção possa ser mais bem compreendida e avaliada sua descrição detalhada será feita a seguir com referência às Figuras que acompanha este relatório e dele é parte integrante.

[0023] A tecnologia de microcanais caracteriza-se por utilizar um dispositivo construído de modo hierárquico a partir do acoplamento de unidades compostas. A unidade básica é a microestrutura, que é formada de microcanais. Assim, um conjunto de microestruturas fabricadas e/ou unidas entre si forma um elemento. Adicionando-se ao elemento linhas de conexões de fluídos, material base, e outros componentes, forma-se uma unidade. Estas unidades são geralmente agrupadas ou replicadas, de modo que ao unir-se a uma carcaça ou reator externo por meio de suas conexões forma-se um dispositivo. A interconexão de vários dispositivos, arranjados em serie ou em paralelo ou em qualquer outra combinação, dando origem a um sistema ou instalação com tecnologia de microcanais.

[0024] Estes tipos de sistemas podem ser chamados de suportes ou catalisadores estruturados, ou também, de reatores de microcanais. Os suportes estruturados são estruturas rígidas tridimensionais com grandes poros ou canais que asseguram a passagem do fluido com uma baixa perda de carga, e possuem elevada área superficial sobre a qual se deposita, faz crescer ou aderir uma capa de material sólido, o fotocatalisador. De acordo com a presente invenção, conforme será descrita mais adiante, este tipo de suporte é preparado a partir de placas formadas pela superposição de substratos metálicos em forma de lâminas, alternando lâminas onduladas e lâminas lisas.

[0025] Estes suportes são classificados em diferentes grupos, entre os quais estão os micromonolitos. Este tipo de tecnologia leva a uma intensificação do processo. Os micromonolitos são formados por canais

longitudinais paralelos de pequena seção separados por finas paredes. Destacam-se por suas aplicações no campo das reações catalíticas devido ao seu tamanho de canal, pois evita problemas como perda de carga e permitem um melhor controle da temperatura do sistema devido à dissociação das funções físicas, hidrodinâmicas, por exemplo, das funções catalíticas.

[0026] Os reatores fotocatalíticos têm sido largamente usados em processos oxidativos avançados para degradação de poluentes principalmente em água, utilizando fonte de luz natural ou artificial e empregando fotocatalisadores (dopados ou não).

[0027] Os catalisadores podem ser usados: (a) em suspensão e (b) imobilizado em um material servindo como suporte.

[0028] O reator objeto da atual invenção utiliza catalizador suportado, combinando vantajosamente a tecnologia de microcanais com a nanotecnologia.

[0029] Além dos parâmetros convencionais do projeto de um reator fotocatalítico, o principal desafio a ser superado é obter uma iluminação eficiente do catalisador. A maior área possível deve ser iluminada, para alcançar uma alta eficiência. Desta forma, em sistemas imobilizados, a espessura da camada de catalisador suportado deve ser o mais fina quanto possível, de modo a permitir que a luz atinja todo o catalisador.

[0030] Em linhas gerais a invenção se refere a um sistema de tratamento de efluentes emergentes que utiliza um reator fotocatalítico de microcanais, objeto da invenção, colocado no interior de um reator tubular de quartzo e sobre o qual se faz incidir luz solar. Tal reator fotocatalítico é produzido a partir de substratos metálicos, onde são sintetizados nanotubos.

[0031] O reator de multicanais da invenção pode ser obtido a partir de diferentes substratos, sendo os principais:

a) estruturas nanotubulares, crescidas a partir de um substrato metálico de titânio ou de tântalo ou de ligas metálicas como Ti-Ta, Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Nb-Ta, Ti-Zr-Ta, Ta-Nb, Ta-Zr, empregados como fotocatalisador;

b) lâminas poliméricas, onde posteriormente se deposita um filme metálico, selecionado entre Ti, Ti-Ta, Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Nb-Ta, Ti-Zr-Ta, Ta-Nb, Ta-Zr;

c) alternativamente, adicionam-se nanopartículas metálicas na superfície do fotocatalisador, como por exemplo ouro, prata ou outro metal de transição da tabela periódica, tais como: IB, IIB, IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIIIB e os elementos da coluna IIA e IIIA, com o objetivo de ampliar a eficiência quanto à absorção de luz solar e a eficácia do tratamento.

[0032] Desta forma, aproveita-se o efeito sinérgico da combinação de nanotecnologia e tecnologia de microcanais, para obter elevada relação área superficial por volume.

[0033] O sistema de tratamento fotocatalítico agora proposto utiliza sólidos nanoestruturados para maximizar a absorção de fótons e reagentes, e tem por vantagem em relação à maioria aos processos da técnica anterior: baixo preço e alta estabilidade química.

[0034] A Figura 1 mostra, a título de exemplo, uma forma de concretização do microrreator fotocatalítico da invenção.

[0035] O microrreator fotocatalítico microcanais são obtidos a partir de matrizes nanotubulares. Neste contexto, destacam-se as matrizes de nanotubulares de TiO_2 crescidas diretamente em um substrato metálico de Ti, o qual podem ser obtidos pelo processo de anodização. Este método de fabricação de nanotubos de TiO_2 fornece uma matriz nanotubular altamente ordenada e orientada verticalmente. Como o óxido fica unido ao substrato metálico os materiais podem ser usados diretamente como fotoânodos em processos fotocatalíticos sobre os quais pode ser posteriormente depositadas nanopartículas de outros metais, como por exemplo, ouro, prata e metais de transição. Além disso, a anodização de titânio é um processo simples e barato quando comparado a outros métodos de preparação de materiais.

[0036] Da mesma forma e adotando-se procedimento similar, o

microrreator pode ser obtido por meio de substratos metálicos confeccionados a partir de Ta; Ti-Ta, Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Nb-Ta, Ti-Zr-Ta, Ta-Nb, Ta-Zr, , variando as composições das referidas ligas bem como filmes finos obtidos através da escolha dos elementos da coluna IIA e IIIA da tabela periódica.

[0037] O referido substrato metálico compreende uma placa enrolada como um monolito, que é formado a partir de lâminas, neste caso, de titânia comercial submetidas a processo de anodização, as quais são primeiramente passadas por uma prensa provida com ranhuras especiais de modo a produzir ondulações e formar microcanais à medida que lâminas onduladas e lâminas lisas são justapostas de forma alternada e enroladas para formar um monolito. Deste modo, os monolitos são colocados no interior de um reator tubular de quartzo, através do qual se faz passar o efluente que se deseja tratar, ao mesmo tempo em que se irradia energia solar sobre o mesmo.

[0038] Para maior clareza, será descrito a seguir com mais detalhe, a título de exemplo ilustrativo, a preparação de um substrato metálico para ser utilizado como suporte para o fotocatalisador.

A - Preparação do suporte

[0039] Lâminas de Titânio (Ti comercial com 98,6% de pureza) tendo aproximadamente 12cm de comprimento e 2cm de largura foram limpas, preparadas e submetidas a processo de anodização, visando a fixação e crescimento dos nanotubos de TiO_2 em sua superfície.

[0040] A etapa de preparação da placa suporte inclui passar as referidas lâminas por uma prensa provida com ranhuras, de modo a produzir ondulações na lâmina e formar microcanais. Assim, foi possível obter microcanais com diferentes profundidades. Para a construção da placa suporte mostrada da Figura 1, foram utilizadas três lâminas onduladas e três lâminas lisas enroladas como um monolito, o que possibilitou anodizar uma área de aproximadamente 120 cm^2.

[0041] Como é possível depreender, devido à redução de tamanho, os reatores de microcanais (micromonolitos) oferecem uma serie de vantagens

importantes, entre as quais merecem destaque:

- *diminuição das dimensões lineares* - supõe uma notável diminuição dos gradientes de todas as propriedades físicas como temperatura, concentração, densidade e pressão, consequentemente, aumentam sensivelmente por unidade de volume as correspondentes forças impulsoras de transferências de calor, massa e fluxo difusional, assim como torna possível a redução do tempo de mistura na faixa dos milissegundos ou incluso dos nano segundos;
- *aumento da relação superfície/volume (m^2/m^3)* - em virtude da diminuição da espessura da película de fluido, os valores da relação superfície/volume que podem ser alcançadas são altíssimos, podendo chegar desde 10.000 até 50.000 m^2/m^3;
- *possibilidade de uso de diversos reatores de microcanais* - forma uma associação de múltiplas unidades, habitualmente em paralelo, flexibilizando mudanças no volume de produção, tanto para reduzir como para alcançar altas produtividades, bastando apenas isolar parte das unidades instaladas ou aumentar a quantidade de unidades, respectivamente;
- *microrreatores ou unidades associadas arranjadas de diferentes maneiras podem ser removidos e substituídos.*

B - Processo de formação dos nanotubos

[0042] As etapas de formação de óxidos sobre superfícies metálicas e a síntese de nanotubos são governadas pela competição entre a formação de óxido oriundo do processo de oxidação anódica e a dissolução química deste óxido. Os nanotubos de TiO_2, aqui citados como exemplo, são sintetizados a partir da formação de óxidos anódicos que são escavados por íons fluoretos presentes no eletrólito, dando origem a nanoestruturas tubulares de dióxido de titânio.

[0043] A estrutura dos nanotubos de TiO_2 sintetizados sobre lâmina de Ti por anodização pode ser amorfa ou cristalina, dependendo diretamente dos

parâmetros usados, tais como: tempo de anodização, potencial aplicado e a taxa de subida do potencial. Isto significa que em potenciais baixos, a estrutura do TiO_2 tende a ser amorfa, enquanto que em potenciais maiores ocorre a cristalização do TiO_2. Variando-se os parâmetros de oxidação anódica, a estrutura formada pode ser amorfa ou cristalina (anatase ou mistura de anatase/rutilo ou apenas rutilo). A concentração de íons fluoretos no eletrólito modifica a morfologia dos nanotubos TiO_2 formados pela anodização. A morfologia e a estrutura dos nanotubos são controladas diretamente pela composição do eletrólito (concentração de F^- / pH da solução / quantidade de H_2O) e pelas condições eletroquímicas, principalmente pela tensão usada.

[0044] Assim, no processo de anodização, de acordo com a presente invenção, foi realizado um experimento no qual se utilizou um eletrólito a base de Etileno Glicol (ETG) com 10 %p/p de H_2O e 0.25 %p/p de NH_4F, com uma corrente de 2A e um potencial de 30V por 30 min.

[0045] As lâminas de Titânia foram anodizadas com uma relação de área entre os eletrodos de Ti/Cu de 1:1, com uma rampa de tensão de 6 $V.s^{-1}$ na subida e de 15 $V.s^{-1}$ na descida, em temperatura ambiente.

[0046] Verificou-se que estes nanotubos produzidos se encontram na fase amorfa. Com o intuito de cristalizar estas amostras, foi realizado o tratamento térmico das mesmas, durante 3h, variando-se as temperaturas na faixa de 400 a 600°C.

[0047] A síntese de nanotubos de TiO_2 por oxidação anódica de chapas de Ti metálico mostrou ser uma alternativa muito interessante para produzir os fotocatalisadores. Estes apresentam diversas vantagens sobre as nanopartículas de TiO_2 utilizadas no estado da técnica para degradação de poluentes em águas residuais a partir da fotocatálise heterogênea.

[0048] Em geral, os fotocatalisadores clássicos utilizados são empregados na forma de suspensões, dificultando sua separação e posterior reutilização. De acordo com a presente invenção, os nanotubos anódicos de TiO_2

encontram-se na forma de uma camada de alguns micrometros fixa na superfície de um substrato de pequenas dimensões, facilitando a remoção e reciclagem do mesmo do interior do reator tubular de quartzo.

[0049] Como mencionado anteriormente no exemplo ilustrativo, a construção do microrreator fotocatalítico foi realizada utilizando lâminas de Ti (lisas e onduladas) anodizadas (com nanotubos de TiO_2) e tratadas termicamente (cristalizadas), as quais foram enroladas umas sobre as outras, intercalando entre lisa e ondulada, para a confecção dos microcanais (vide Figura 1). A quantidade de lâminas utilizadas varia de acordo com o diâmetro desejado para o microrreator.

[0050] Além da facilidade da manipulação e do menor potencial poluente deste sistema empregando microrreator, os nanotubos de TiO_2 apresentam melhores atividades fotocatalíticas em relação aos sistemas particulados usualmente utilizados, pois disponibiliza uma maior área superficial, facilitando as reações de transferência de carga que ocorrem na superfície do catalisador.

[0051] Para fins de ilustração, a descrição detalhada usou como exemplo nanotubos de TiO_2. Deve ficar claro, entretanto, que outros metais e ligas metálicas podem também ser empregados para a produção do microrreator, tais como: tântalo, ligas metálicas como Ti-Ta, Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Nb-Ta, Ti-Zr-Ta, Ta-Nb, Ta-Zr, assim como de lâminas poliméricas, onde posteriormente se deposita um filme metálico.

[0052] A Figura 2 apresenta uma representação esquemática de um sistema para tratamento de efluentes emergentes empregando o microrreator fotocatalítico da invenção.

[0053] O sistema de tratamento de efluentes emergentes utilizando o microrreator fotocatalítico agora proposto compreende os seguintes componentes:

- um reator tubular (R) de quartzo, no interior do qual é colocado pelo menos um microrreator fotocatalítico (1) de nanotubos TiO_2 fixados a

uma placa suporte formada por lâminas metálicas lisas e onduladas, enroladas como um monolito; o reator tubular (R) é provido com uma camisa (K) de resfriamento através da qual circula um fluido de refrigeração (F), e meios de entrada (2) e de saída (3) para o efluente (E) a ser tratado;

- um tanque (T1) de armazenamento do efluente a ser tratado, o qual é provido com agitador (A) e meios (G) para amostragem e controle do gás produzido; o tanque (T1) é também provido de uma linha de alimentação (4) de efluente que é ligada à entrada (2) do reator tubular (R), cuja vazão é controlada por válvula (V), e uma linha de retorno do efluente tratado (5), cuja vazão é controlada por uma bomba (B1), que é ligada à linha de saída (3) do reator tubular (R);
- um tanque (T2) de armazenamento de fluido de refrigeração (F), o qual é ligado à camisa (K) de resfriamento que envolve o reator tubular (R), por meio de uma linha de alimentação (6), cuja vazão é controlada por uma bomba (B2);
- uma fonte de luz solar (L), capaz de irradiar o microrreator fotocatalítico (1) com potência equivalente a 1 sol de acordo com a calibração realizada nos experimentos.

[0054] Torna-se evidente para os especialistas na matéria que o reator fotocatalítico de multicanais da invenção foi projetado de forma a atender os parâmetros necessários para a melhor eficiência de um reator fotocatalítico como: iluminação eficiente do catalisador; grande área superficial específica das partículas em escala nanométrica; espessura da camada de catalisador suportado suficientemente pequena; sistema de resfriamento da solução; presença de receptores de elétrons.

[0055] Adicionalmente, o tamanho dos microcanais é grande o suficiente para que possa influir na química da reação, mas produzem importantes efeitos na intensificação dos fenômenos de transferência de massa e energia e incluso produzem notáveis melhoras nos padrões de fluxo. Em outras

palavras, os microcanais alteram a engenharia do processo sem alterar a química da reação (mecanismos de reação e cinética).

[0056] A invenção foi descrita com ênfase em sua concretização preferida. Todavia, deve ficar claro para os especialistas na matéria que adaptações, substituir materiais e componentes são possíveis de serem efetuadas sem se afastar do conceito inventivo agora apresentado e descrito.

REIVINDICAÇÕES

1. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES caracterizado por o dito reator compreender um substrato metálico sobre o qual o óxido de titânio (TiO_2) na forma nanotubular, é crescido a partir do referido substrato metálico, para atuar como fotocatalisador, e sobre os quais posteriormente podem ser depositadas nanopartículas de outros metais; o referido substrato metálico compreender uma placa enrolada como um monolito, que é formada a partir de lâminas submetidas a processo de anodização, sendo as referidas lâminas primeiramente passadas por uma prensa provida com ranhuras especiais de modo a produzir ondulações e formar microcanais à medida que lâminas onduladas e lâminas lisas são justapostas de forma alternada e enroladas como monolito.

2. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o referido substrato metálico ser selecionado entre lâminas de titânio, de tântalo, de ligas metálicas como Ti-Ta, Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Nb-Ta, Ti-Zr-Ta, Ta-Nb, Ta-Zr, variando as composições das referidas ligas, assim como de lâminas poliméricas, onde posteriormente se deposita um filme metálico.

3. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** se adicionar, alternativamente, nanopartículas metálicas na superfície do fotocatalisador, como por exemplo ouro, prata ou outro metal de transição da tabela periódica, selecionados entre metais do grupo IB, IIB, IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIIIB e os elementos da coluna IIA e IIIA.

4. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA

TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os nanotubos anódicos de TiO_2 se encontrarem na forma de uma camada de alguns micrometros fixa na superfície do referido substrato metálico.

5. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1**, caracterizado por** a quantidade de lâminas utilizadas para formar o monolito variar de acordo com o diâmetro desejado para o microrreator.

6. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o referido reator fotocatalítico ser produzido com dimensões reduzidas e instalado no interior de um reator tubular de quartzo, o que permite ser removido e substituído .

7. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com as reivindicações 1 e 6, **caracterizado por** o referido reator fotocatalítico ser produzido com lâminas metálicas de cerca de 12cm de comprimento e 2cm de largura, preparadas e submetidas a processo de anodização para fixação e crescimento dos nanotubos de TiO_2 em sua superfície, sendo as ditas lâminas passadas por uma prensa provida com ranhuras especiais de modo a produzir ondulações e formar microcanais à medida que lâminas onduladas e lâminas lisas são justapostas de forma alternada e enroladas para formar um monolito.

8. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o referido reator fotocatalítico ampliar a eficiência quanto à absorção de luz solar e a eficácia do

tratamento.

9. REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o referido reator fotocatalítico ser utilizado como uma associação de múltiplas unidades, arranjadas de diferentes maneiras, permitindo mudar o volume de produção.

10. SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES utilizando o reator fotocatalítico descrito nas reivindicações 1 a 9, **caracterizado por** compreender os seguintes componentes:

- um reator tubular (R) de quartzo, no interior do qual é colocado pelo menos um microrreator fotocatalítico (1) de nanotubos TiO_2 fixados a uma placa suporte formada por lâminas metálicas lisas e onduladas, enroladas como um monolito; o reator tubular (R) é provido com uma camisa (K) de resfriamento através da qual circula um fluido de refrigeração (F), e meios de entrada (2) e de saída (3) para o efluente (E) a ser tratado;
- um tanque (T1) de armazenamento do efluente a ser tratado, o qual é provido com agitador (A) e meios (G) para amostragem e controle do gás produzido; o tanque (T1) é também provido de uma linha de alimentação (4) de efluente que é ligada à entrada (2) do reator tubular (R), cuja vazão é controlada por válvula (V), e uma linha de retorno do efluente tratado (5), cuja vazão é controlada por uma bomba (B1), que é ligada à linha de saída (3) do reator tubular (R);
- um tanque (T2) de armazenamento de fluido de refrigeração (F), o qual é ligado à camisa (K) de resfriamento que envolve o reator tubular (R), por meio de uma linha de alimentação (6), cuja vazão é controlada por uma bomba (B2);
- uma fonte de luz solar (L), capaz de irradiar o microrreator

fotocatalítico (1) com potência equivalente a 1 sol, de acordo com a calibração realizada nos equipamentos.

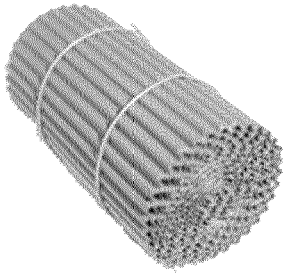


FIG. 1

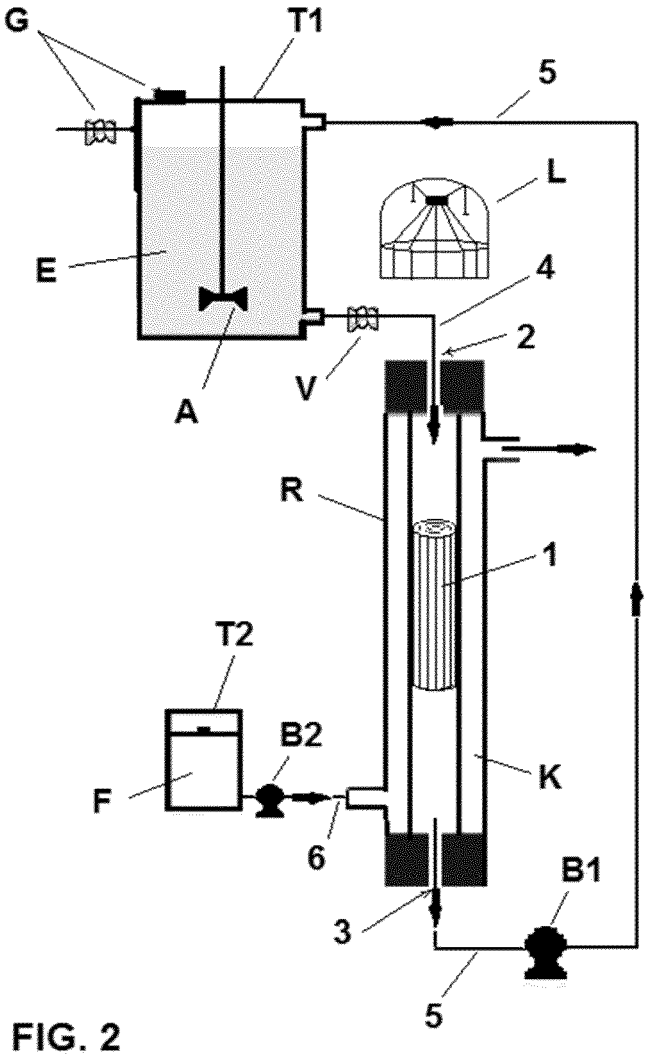


FIG. 2

RESUMO

REATOR FOTOCATALÍTICO DE MICROCANAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EMERGENTES E SISTEMA DE TRATAMENTO

A presente invenção trata de um reator fotocatalítico, dotado de microcanais, para ser utilizado em sistemas de tratamento de efluentes com vistas ao abastecimento público de água. Refere-se a presente invenção a um reator fotocatalítico de microcanais para tratamento de efluentes constituídos por substâncias potencialmente tóxicas, assim como o sistema de tratamento utilizando o referido reator.

O microrreator fotocatalítico microcanais compreende preferencialmente um substrato metálico sobre o qual o óxido de titânio (TiO_2) na forma nanotubular, é crescido a partir do referido substrato, sendo capaz de atuar como fotocatalisador.