

**DESEMPENHO DE REATORES AERÓBIOS DE LEITO FLUIDIZADO  
COM CIRCULAÇÃO INTERNA NA REMOÇÃO DE MATÉRIA  
CARBONÁCEA TRATANDO DIFERENTES ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

*Gleyce Teixeira Correia, Iván Andrés Sánchez Ortiz, Dib Gebara, Milton Dall'Aglio Sobrinho e Tsunao Matsumoto*

**RESUMO**

Foi estudada a eficiência de remoção de matéria orgânica (MO) na forma da DQO (demanda química de oxigênio) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio) em esgoto doméstico e efluentes de piscicultura semi-intensiva por meio de reatores aeróbios de leito fluidizado trifásicos com circulação em tubos concêntricos. Foram utilizadas três diferentes relações entre as áreas externa e interna com diferentes configurações de diâmetros internos (100; 125 e 150mm) num mesmo diâmetro externo de 250mm; os meios suporte utilizados foram areia para filtros e carvão ativado granular. Os reatores foram ensaiados em três tempos de retenção hidráulica: 11,5min para o R100, e de 3h para os reatores R125 e R150. Os resultados demonstraram

que este tipo de reator apresenta bom desempenho na remoção da DBO e DQO para diferentes concentrações das águas residuárias. As eficiências médias de remoção da DBO obtidas foram: no reator R100 de 47%, no R125 de 57 e 93% da DBO bruta e filtrada respectivamente, no R150 de 48 e 89% da DBO bruta e filtrada. As remoções médias calculadas da DQO foram: 75% para o R100, no R125 de 56 e 86% da DQO bruta e filtrada, e no R150 foram 54 e 86% da DQO bruta e filtrada. No caso do esgoto doméstico é necessário dispor de um sistema de remoção de sólidos na saída do reator para aumentar a remoção de MO em suspensão do efluente final.

**Introdução**

A preocupação com o despejo inadequado de diferentes tipos de águas residuárias é

crescente, visto que, além de sérios problemas ambientais, podem causar inúmeros danos à saúde humana. As atividades da aquicultura e os esgo-

tos domésticos produzem basicamente três tipos de resíduos: matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e sólidos.

No Brasil, para serem lançados em corpos d'água, os efluentes devem atender às condições estabelecidas na legislação federal e as normas e pa-

**PALAVRAS CHAVE / Águas Residuárias / Leito Fluidizado / Remoção de Matéria Orgânica / Tratamento Biológico /**

Recebido: 26/05/2011. Modificado: 02/03/2012. Aceito: 05/03/2012.

**Gleyce Teixeira Correia.** Química Ambiental e M.Sc. em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil. Doutorando em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, Brasil. e-mail: gle\_qca@hotmail.com  
**Iván Andrés Sánchez Ortiz.** Engenheiro Civil - Especialista, Uni-

versidad de Nariño (UDENAR), Colombia. M.Sc. em Engenharia Civil, UNESP, Brasil. Professor, UDENAR, Colombia. Dirección: Departamento de Recursos Hidrobiológicos, UDENAR, . Ciudad Universitaria Torobajo, Carrera 22 No.18-109, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. e-mail: iaso@udenar.edu.co

**Dib Gebara.** Engenheiro Civil, M.Sc. e Ph.D. em Engenharia Civil: Universidade de São Paulo (USP), Brasil. Professor, UNESP, Brasil. e-mail: dib@dec.feis.unesp.br  
**Milton Dall'Aglio Sobrinho.** Engenheiro Civil, M.Sc. e Ph.D. em Engenharia Civil, USP (Brasil). Professor,

UNESP, Brasil. e-mail: milton@dec.feis.unesp.br  
**Tsunao Matsumoto.** Engenheiro Civil, Fundação Valeparaibana de Ensino, Brasil. M.Sc. e Ph.D. em Engenharia Civil, USP, Brasil. Professor, UNESP, Brasil. e-mail: tsunao@dec.feis.unesp.br

## PERFORMANCE OF FLUIDIZED BED AEROBIC REACTORS WITH INTERNAL CIRCULATION IN THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER FROM DIFFERENT RESIDUAL WATERS

Gleyce Teixeira Correia, Iván Andrés Sánchez Ortiz, Dib Gebara, Milton Dall'Aglio Sobrinho and Tsunao Matsumoto

### SUMMARY

The organic matter (OM) removal efficiency in the biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) forms for domestic wastewater and semi-intensive fish culture effluents by using three phase aerobic fluidized bed reactors with circulation in concentric tubes was studied. Three different ratios between external and internal areas by different internal diameter configurations (100, 125 and 150mm) to the same external diameter of 250mm were used; sand for filters and granulated activated carbon were used as supporting media. The reactors were tested for three hydraulic retention times: 11.5min to the R100, and 3h for the R125 and R150 reactors. The results

demonstrated that this kind of reactors had good performance in the BOD and COD removal for different concentrations of waste waters. BOD mean removal efficiencies obtained were: 47% at the R100 reactor, 57% and 93% of raw and filtered BOD respectively at R125, 48 and 89% of raw and filtered BOD at R150. The COD mean calculated removal efficiencies were: 75% at the R100 reactor, 56 and 86% of raw and filtered COD at R125, and 54 and 86% of raw and filtered COD at R150. In the case of domestic wastewater it is necessary to provide a solids removal system at the reactor outflow in order to increase the removal of suspended OM from the final effluent.

## DESEMPEÑO DE REACTORES AEROBIOS DE LECHO FLUIDIFICADO CON CIRCULACIÓN INTERNA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Gleyce Teixeira Correia, Iván Andrés Sánchez Ortiz, Dib Gebara, Milton Dall'Aglio Sobrinho y Tsunao Matsumoto

### RESUMEN

Se estudió la eficiencia de remoción de materia orgánica (MO) en la forma de DBO (demanda química de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) en agua residual doméstica y en efluentes de piscicultura semi-intensiva por medio de reactores aerobios de lecho fluidizado trifásicos con circulación en tubos concéntricos. Se utilizaron tres diferentes relaciones entre las áreas externa e interna con diferentes configuraciones de diámetros internos (100, 125 y 150mm) para un mismo diámetro externo de 250mm; los medios soporte utilizados fueron arena para filtros y carbón activado granular. Los reactores fueron ensayados para tres tiempos de retención hidráulica: 11,5min para el R100, y de 3h para los reactores R125 y R150. Los re-

sultados demostraron que este tipo de reactor presenta un buen desempeño en la remoción de la DBO y DQO para diferentes concentraciones de las aguas residuales. Las eficiencias medias de remoción de la DBO obtenidas fueron: en el reactor R100 de 47%, en el R125 de 57 y 93% de la DBO bruta y filtrada respectivamente, en el R150 de 48 y 89% de la DBO bruta y filtrada. Las remociones medias calculadas de la DQO fueron: 75% para el reactor R100, en el R125 de 56 y 86% de la DQO bruta y filtrada, y en el R150 de 54 y 86% de la DQO bruta y filtrada. En el caso del agua residual doméstica es necesario disponer de un sistema de remoción de sólidos a la salida del reactor para aumentar la remoción de MO en suspensión del efluente final.

drões estaduais e municipais. A Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) estabelece também que o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluentes e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência. Mais especificamente no estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) é o órgão ambiental que fiscaliza os padrões de lançamento de efluentes, e por meio do Decreto 8468 (1976) estabelece, em sua seção II, que a DBO<sub>5,20</sub> deve apresentar uma concentração máxima de 60mg·l<sup>-1</sup>, podendo ter este limi-

te ultrapassado nos casos onde o sistema de tratamento reduza a carga poluidora em no mínimo 80%.

Para o tratamento de águas residuárias são utilizados três métodos principais (Feiden, 2001): físicos (gradeamento, mistura, sedimentação), químicos (adição de produtos químicos ou devido a reações químicas) e biológicos (por meio de atividade biológica, com a remoção da matéria orgânica).

Para este estudo foi escolhido o processo biológico aeróbio que ocorre devido à ação de comunidades microbianas heterogêneas interagindo, sendo a biomassa constituída de diversas espécies microbianas, incluindo predominantemente bactérias, fungos e protozoários (Mello, 2007).

Exemplos de sistemas aeróbios são as lagoas de estabilização, facultativas e as aeradas, que podem remover satisfatoriamente a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e, patogênicos além de ter construção, operação e manutenção simples; no entanto, requerem grandes áreas e seu desempenho varia bastante de acordo com as condições climáticas (von Sperling, 2005). E os sistemas de lodos ativados, que apesar da alta eficiência na remoção de DBO, apresentam elevados custos de implantação, de operação e de consumo de energia, além de ser um sistema bastante mecanizado e que requer tratamento completo e disposição final do lodo gerado (von Sperling, 1996).

Reatores como o de leito fluidizado, que utilizam biofilme aderido a suportes ou de forma dispersa no meio, surgem da busca por melhoramentos nas estações de tratamento de esgotos. Estes reatores têm como vantagens a possibilidade de reter maior concentração de biomassa ativa, serem compactos, realizarem remoção eficiente de matéria carbonácea e de nutrientes, em um mesmo reator.

Nestes reatores o processo de fluidização ocorre quando um leito de partículas sólidas estáticas recebe uma corrente ascendente de gás (três fases) ou líquido (duas fases) injetada na base do reator. A circulação do meio nestes reatores pode ser interna ou externa (Figura 1).

Na configuração trifásica a interação entre as fases (sólida,

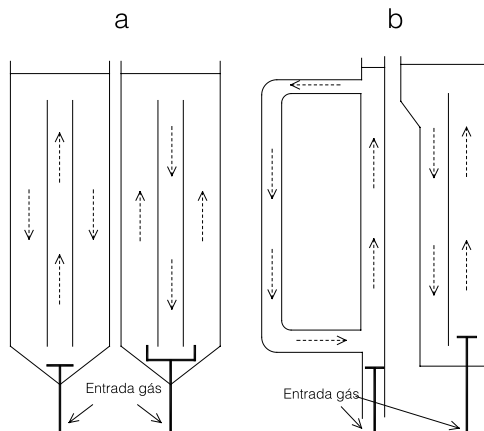


Figura 1. Fluxo em reatores de circulação (a) interna e (b) externa. Adaptado de Martín (2005).

líquida e gasosa) resulta em um sistema que se comporta como um misturador ideal.

Os biofilmes são estruturas complexas de células e produtos extracelulares, que se formam aderidas a um suporte (natural ou artificial), como ocorre em reatores aeróbios de leito fluidizado e filtros percoladores, ou em forma de flocos (grânulos), como em sistemas de lodos ativados e reatores de manta de lodo (UASB), onde a biomassa cresce dispersa no meio líquido (Melo e Vieira, 1999; Nicoletta *et al.*, 2000). Constituem-se, basicamente, de água, microrganismos e substâncias poliméricas extracelulares (SPE; Xavier *et al.*, 2003). Segundo Gebara (2006), o biofilme possui uma estrutura heterogênea, formada por diversas espécies de microrganismos, o que possibilita a remoção de matéria carbonácea e nitrogenada em um mesmo sistema.

Neste experimento foram estudadas duas águas residuárias distintas, esgoto doméstico e efluente de piscicultura em sistema de recirculação, ambas tratadas pelo mesmo tipo de dispositivo, o reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos, com o intuito de mostrar a sua eficiência tratando diferentes águas residuárias. Além disso, testou-se o uso de dois diferentes meios suportes: areia e carvão ativado granular.

## Materiais e Métodos

Foram utilizados três reatores aeróbios de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos. A dimensão do tubo externo foi a mesma para os três reatores (250mm) e a do tubo interno variou, sendo 100mm (R100), 125mm (R125) e 150mm (R150). A altura total dos

reatores era de 2,60m e a altura estática do líquido de 2,35m. A circulação foi realizada por injeção de ar comprimido na base dos reatores por meio de injetores confeccionados numa seção de tubo de PVC de 40mm de diâmetro com perfurações de ~1mm de diâmetro em seis carreiras com 26 furos, as vazões de ar comprimido injetadas nos reatores foram controladas por meio de rotâmetros, localizados após válvulas reguladoras de pressão. A Tabela I apresenta as características geométricas dos reatores utilizados.

### Velocidade de circulação

O ensaio de velocidade de circulação foi realizado nos

TABELA I  
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS TRÊS REATORES ESTUDADOS

Diâmetro interno (mm)	Área interna (m <sup>2</sup> )	Área externa (m <sup>2</sup> )	Relação A <sub>o</sub> /A <sub>i</sub>
100	0,00785	0,04123	5,25
125	0,01227	0,03682	3,00
150	0,01767	0,03142	1,78

três reatores e utilizando um sistema de quatro sondas medidoras de condutividade elétrica da água, sendo duas em cada tubo (interno e externo). As sondas detectavam a presença de um traçador (NaCl) e emitiam sinais elétricos a um condicionador de sinais. Então, um programa de aquisição de dados, baseado no desenvolvido por Guardia Filho (2001), lia o sinal por uma interface de conversão analógico-digital. As vazões de ar utilizadas nos ensaios com água limpa foram 800, 1200, 1600, 2000, 3000, 4000, 5000 e 6000 l.h<sup>-1</sup>.

### Caracterização granulométrica

Foi realizada uma caracterização dos meios granulares: areia para filtros e carvão ativado granular (CAG). Os procedimentos utilizados foram os estabelecidos pela ABNT através das normas NBR 7181 -análises de granulometria conjunta (ABNT, 1984b) e NBR 6508 -ensaio de massa específica dos sólidos (ABNT, 1984a).

No R100 foi utilizado CAG como meio suporte e nos R125 e R150 foi utilizada areia.

### Substrato utilizado e localização dos experimentos

O R100 operou com efluente da criação semi-intensiva de tilápias (densidade de estocagem de biomassa aproximada de 30kg.m<sup>-3</sup>). Foram utilizadas 66 tilápias no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP). O peso médio das tilápias era de 280g, e estas provinham de uma estação de piscicultura em tanques rede localizada na margem de um braço do Rio São José dos Dourados.

Os reatores R125 e R150 operaram com esgoto doméstico captado diretamente da estação elevatória de esgoto da cidade de Ilha Solteira, SP. Os procedimentos experimentais dos três reatores foram realizados no Laboratório de Saneamento da FEIS-UNESP.

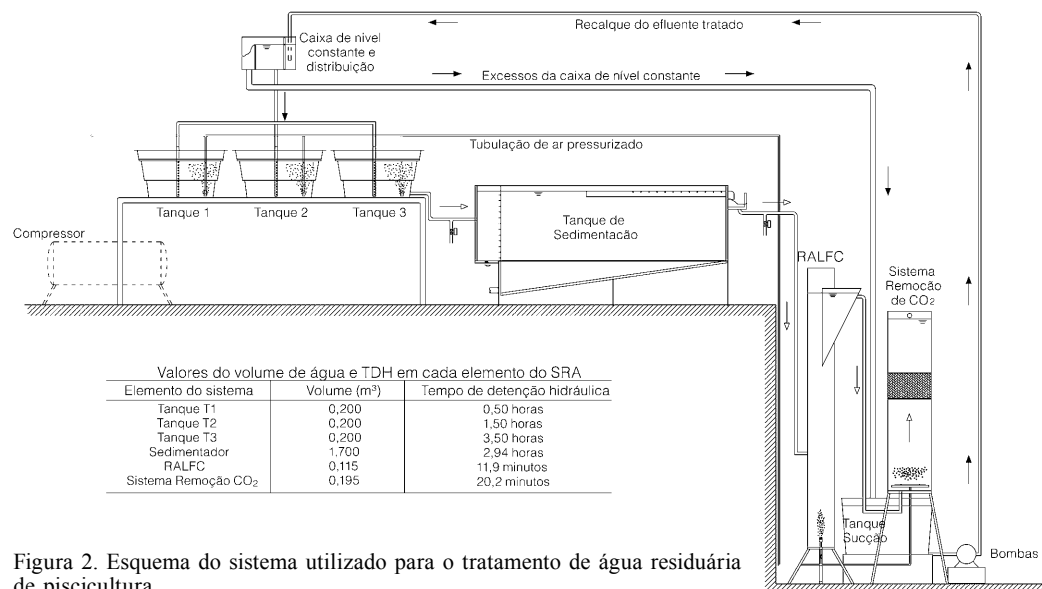


Figura 2. Esquema do sistema utilizado para o tratamento de água residuária de piscicultura

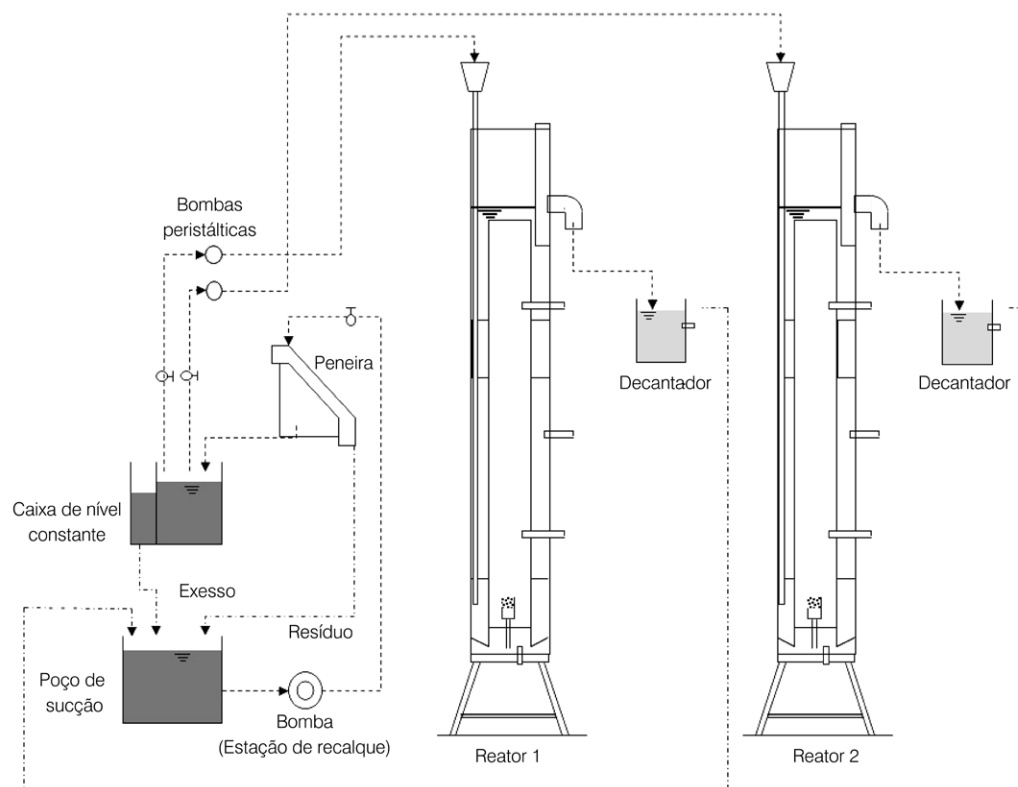


Figura 3. Esquema do sistema utilizado para o tratamento de esgoto doméstico.

### Sistemas de tratamento

A unidade experimental do R100, utilizado no tratamento de água residuária de piscicultura, que formou parte de um sistema de recirculação de água para piscicultura semi-intensiva, foi composta por caixa de nível constante, sistema de tubulações em PVC para distribuição da água para os tanques de criação, três tanques de criação dos peixes, calha para controle do nível e coleta do efluente dos tanques, unidade de remoção de sólidos por meio de um decantador convencional, reator aeróbio de leito fluidizado com circulação interna, reator para transferência de  $O_2$  e remoção de  $CO_2$ , sistema de geração, distribuição e injeção de ar pressurizado, tanque de sucção, sistema de recalque do efluente final, soprador de ar e dois reservatórios para água de renovação do sistema (Figura 2).

A Figura 3 ilustra a unidade experimental dos reatores R125 e R150, utilizados para o tratamento de esgoto do-

méstico. Após ser retirado do poço de sucção da estação elevatória, o aflente era submetido a um peneiramento estático com abertura de 1mm, onde ocorria a remoção dos sólidos grosseiros; em seguida, o aflente encaminhava-se a uma caixa de nível constante. E desta, por meio de bombas peristálticas, conduzido ao fundo dos reatores.

### Ensaios físico-químicos

Foram realizadas análises de DQO (demanda química de oxigênio) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio) seguindo os métodos descritos em APHA (1998). As análises foram realizadas na entrada do aflente nos reatores e na saída dos mesmos.

### Partida dos reatores

No R100, para manter o carvão ativado em suspensão utilizou-se uma vazão de ar de 2000  $l \cdot h^{-1}$  e adicionou-se, progressivamente, 10 $g \cdot l^{-1}$  de carvão ativado até garantir a concentração de avaliação do sistema

de 8010 $g \cdot l^{-1}$ . Então, diminuiu-se vazão de ar para 1000  $l \cdot h^{-1}$ .

Para favorecer o crescimento do biofilme, na primeira semana da inoculação o reator foi cheio 50% com água desclorada e 50% com água do lago do Ipê (Ilha Solteira) e deixou-se funcionar o sistema; na segunda semana foi feita uma troca parcial da água com 50% de água do lago e deixou-se rodar o sistema sem peixes por meio do recalque da água e o fornecimento de ar nos tanques; e na terceira semana adicionou-se diariamente 200 l de água ori-

ginaria da troca do líquido de um tanque de criação de peixes ornamentais. No R125 e R150 foram aplicadas, inicialmente, as vazões médias de ar de 2718 e 2868  $l \cdot h^{-1}$ , respectivamente e a areia foi sendo adicionada aos poucos até a concentração de 100 $g \cdot l^{-1}$ . Com o crescimento do biofilme a massa específica da biopartícula (areia+biofilme) diminui, e requer uma vazão de ar menor para que o meio permaneça em suspensão. Então, aplicaram-se, após um período de 15 dias, as vazões de 2300  $l \cdot h^{-1}$  no R125 e 2700  $l \cdot h^{-1}$  no R150.

## Resultados

### Velocidades de circulação

As vazões de 800 a 6000  $l \cdot h^{-1}$  foram aplicadas, em água limpa, com pressão constante de 2,5MPa, nos três reatores. A quantidade de traçador (NaCl) utilizada foi de 15 $g \cdot l^{-1}$ , em cada análise. A Tabela II mostra as velocidades, no tubo interno (TI) e no tubo externo (TE), obtidas nos três reatores.

Observou-se que quanto maior o diâmetro do tubo interno, menor a velocidade de subida e maior a de descida, diminuindo assim, a diferença entre estas velocidades. No R150, onde as áreas de subida e descida tiveram valores muito próximos, as velocidades também apresentam valores similares.

De acordo com Heijnen *et al.* (1997) utilizando meio suporte de ~0,2mm de diâmetro, recomenda uma velocidade

TABELA II  
VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO NOS TUBOS EXTERNOS E INTERNOS DOS TRÊS REATORES

Vazão ( $l \cdot h^{-1}$ )	Velocidade de circulação ( $m \cdot s^{-1}$ )					
	R100		R125		R150	
	TE	TI	TE	TI	TE	TI
800	0,13	0,56	0,18	0,46	0,22	0,36
1200	0,14	0,61	0,17	0,49	0,22	0,38
1600	0,15	0,64	0,18	0,52	0,27	0,41
2000	0,16	0,72	0,19	0,63	0,32	0,44
3000	0,16	0,97	0,22	0,82	0,36	0,55
4000	0,18	1,1	0,26	0,97	0,37	0,63
5000	0,18	1,29	0,24	1,08	0,42	0,73
6000	0,19	1,62	0,27	1,15	0,41	0,81

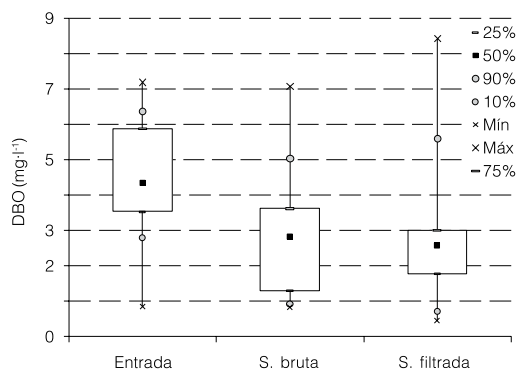


Figura 4. Boxplot dos valores de DBO obtidos durante a operação do R100.

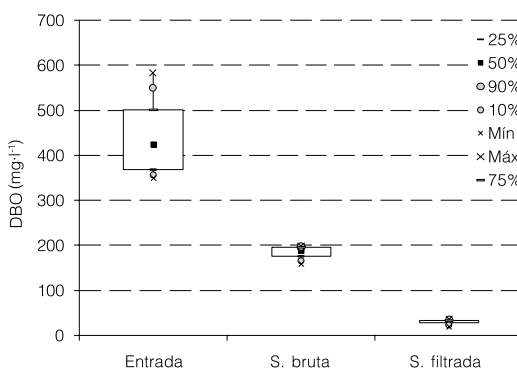


Figura 5. Boxplot dos valores de DBO obtidos durante a operação do R125.

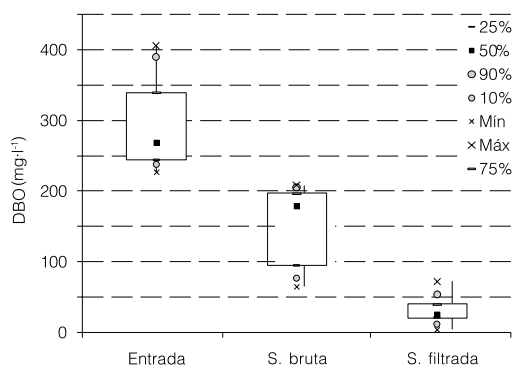


Figura 6. Boxplot dos valores de DBO obtidos durante a operação do R150.

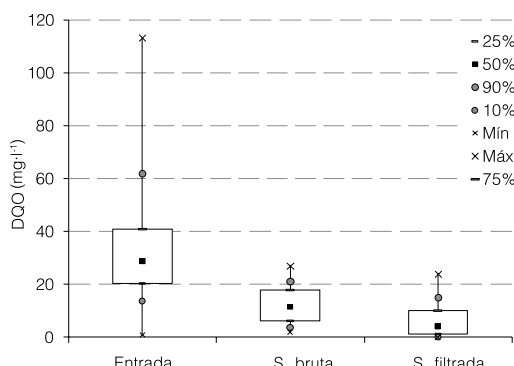


Figura 7. Boxplot dos valores de DQO obtidos durante a operação do R100.

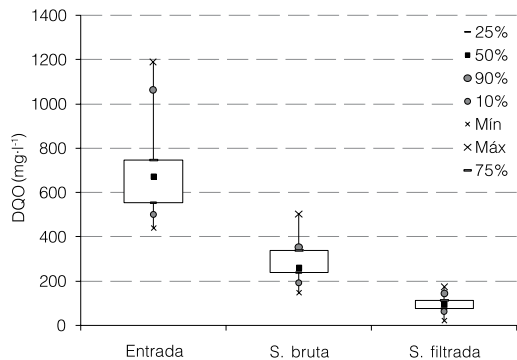


Figura 8. Boxplot dos valores de DQO obtidos durante a operação do R125.

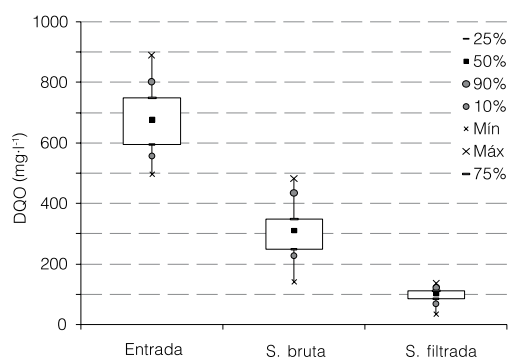


Figura 9. Boxplot dos valores de DQO obtidos durante a operação do R150.

superficial do gás de pelo menos  $0,05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , abaixo do qual a circulação das partículas não pode ser mantida.

Segundo Gebara (2006), a velocidade de circulação é importante para que o material particulado permaneça em suspensão. Com velocidade baixa de gás a velocidade de circulação é maior que a de ascensão de uma bolha ( $0,25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), demonstrando que o gás recircula no tubo de descida.

#### Meio suporte

As massas específicas ( $\rho_s$ ) dos meios granulares testados foram  $2,57\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  para a areia e  $1,64\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  para o carvão ativado.

Em relação aos coeficientes de desuniformidade (CD) dos materiais analisados, quanto mais próximo ao valor unitário maior predominância de um tamanho de material, ou seja, o material será mais uni-

forme. A granulometria, tanto da areia quanto do carvão ativado mostrou-se bastante uniforme, sendo que o coeficiente de desuniformidade ( $CD = D_{60}/D_{10}$ ) para areia foi de 1,8 e para o CAG foi de 1,7. Os grãos de areia, assim como os de carvão ativado apresentaram diâmetros menores que  $0,8\text{mm}$ , com granulometria média de  $0,36\text{mm}$  para a areia e  $0,53\text{mm}$  para o segundo material.

Segundo Mello (2007), para um bom desenvolvimento e eficiência satisfatória do biofilme é importante considerar as propriedades do material suporte (densidade, rugosidade, porosidade, tamanho dos poros e forma da superfície), os microorganismos envolvidos e as propriedades destes e do meio aquoso (pH, temperatura, velocidade de escoamento, tempo de detenção, concentração de microrganismos, tensão superficial e força iônica do meio).

#### Remoção de matéria carbonácea

**DBO.** No R100 os valores máximo e médio da DBO medidos na entrada do reator foram de  $7,2$  e  $4,5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente; estas concentrações foram um pouco maiores do que as descritas por autores como Viadero Jr. *et al.* (2005) e parecidas às reportadas por Davidson *et al.* (2008). Como pode ser observado na Figura 4, na saída do reator os valores máximo e médio de DBO foram  $8,4$  e  $2,8\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

O valor médio da eficiência neste reator foi de 47%. Trabalhos como o de Davidson *et al.* (2008) reportaram eficiências de remoção  $>60\%$  em reatores de leito fluidizado bifásicos com areia como meio suporte e controle da espessura do biofilme.

Devido às características das águas residuárias utilizadas é previsto que os valores de DBO na entrada dos reatores R125 e R150 sejam bastante superiores aos observados no afluente de água residuária de piscicultura. Os valores máximo, médio e mínimo de DBO na entrada destes reatores fo-

ram, respectivamente, 583; 350 e 227mg·l<sup>-1</sup>.

Visto que o R100 possui um pré-tratamento por meio do decantador convencional para remoção de sólidos antes do reator e os R125 e R150 não, as amostras na saída destes foram analisadas de maneira bruta e filtrada. Assim, os valores máximo, médio e mínimo na saída do R125 (Figura 5) foram 199 e 184mg·l<sup>-1</sup> de DBO bruta, respectivamente, e 37 e 30mg·l<sup>-1</sup> de filtrada. A eficiência média neste reator foi de 57% DBO bruta e 93% DBO filtrada.

Os valores máximo, médio e mínimo obtidos na saída do R150 (Figura 6) foram, respectivamente, 208 e 148mg·l<sup>-1</sup> DBO bruta e 72 e 32mg·l<sup>-1</sup> de filtrada. A eficiência média foi de 48% DBO bruta e 89% DBO filtrada.

Hirata *et al.* (2000), utilizando o mesmo tipo de reator e substrato observaram eficiências próximas às observadas, entre 70 e 90% na remoção de DBO.

Visto que houve grande diferença entre a remoção de DBO bruta e filtrada, pode-se concluir que há necessidade de uma unidade para remoção de sólidos no efluente, que pode ser realizada por meio de unidades de decantação ou flotação, por exemplo. É importante salientar que no R100 houve uma unidade de sedimentação antes da saída do efluente do mesmo.

**DQO.** O valor máximo da DQO registrado na entrada do reator durante a operação do R100 (Figura 7) foi de 113mg·l<sup>-1</sup> e o valor médio foi 36mg·l<sup>-1</sup>. Na saída os valores máximo e médio medidos foram 24 e 6,3mg·l<sup>-1</sup>, respectivamente. Com base nos dados obtidos, foram calculadas as eficiências de remoção, cujo valor médio foi 75%.

No R125 e R150 os valores máximo e médio de entrada do afluente foram 1188 e 690mg·l<sup>-1</sup>, respectivamente. Na saída do R125 (Figura 8) o valor máximo obtido foi de 503mg·l<sup>-1</sup> de DQO bruta e 175mg·l<sup>-1</sup> de DQO filtrada. E

os valores médios foram de 289 e 90mg·l<sup>-1</sup> de DQO bruta e filtrada, respectivamente. Assim, tem-se que a eficiência média na remoção de DQO foi de 56% DQO bruta e 86% filtrada.

Na saída do R150 (Figura 9) os valores máximos foram 482 e 136mg·l<sup>-1</sup> DQO bruta e filtrada, respectivamente, e os valores médios foram de 312mg·l<sup>-1</sup> para DQO bruta e 97mg·l<sup>-1</sup> de DQO filtrada, apresentando eficiências de 54% DQO bruta e 86% filtrada.

A remoção de DQO filtrada foi próxima à observada por autores como Distler *et al.* (1995), Wolff *et al.* (2001) e Gebara (2006). O primeiro obteve eficiências entre 55 e 76%, o segundo remoção de 78%, com valor máximo de 90% e o terceiro, utilizando reatores com 12 e 6m de altura, 100g·l<sup>-1</sup> de meio suporte e 3h de TDH, obteve remoção de 94% DQO filtrada.

### Conclusões

O reator aeróbio de leito fluidizado avaliado para o tratamento de água residuária de piscicultura demonstrou boa capacidade de remoção da matéria carbonácea dentro das concentrações típicas para os efluentes da produção piscícola, com eficiência média de 47% na remoção da DBO e 75% na remoção da DQO para tempos de detenção hidráulica de 11,5min.

O reator também apresentou boa eficiência na remoção de matéria carbonácea no tratamento de esgoto doméstico com eficiências médias de até 57% da DBO bruta e 93% da DBO filtrada, e até 56% da DQO bruta e 86% da DQO filtrada.

O estudo dos reatores R125 e R150 também foram realizados para verificar se ocorria a influência da diferença entre áreas. Neste caso, a remoção de matéria carbonácea não sofreu alteração significativa com a diferença na área interna dos reatores.

Quanto ao meio suporte, observou-se que tanto a areia quanto o carvão ativado podem

ser utilizados de maneira satisfatória, no entanto o CAG apresenta a vantagem de necessitar de uma menor vazão de ar.

No caso do tratamento do esgoto doméstico é necessário dispor de um sistema de remoção de sólidos na saída do reator para conseguir retirar uma maior fração de MO ainda em suspensão no efluente final.

### REFERÊNCIAS

- ABNT (1984a) *NBR 6508/84: Determinação da Massa Específica: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,9mm*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil. 8 pp.
- ABNT (1984b) *NBR 7181/84: Análise Granulométrica: Solo*. Associação Brasileira de Normas Técnicas Rio de Janeiro, Brasil. 13 pp.
- APHA (1988) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª ed. APHA, AWWA, WPCF. Washington, DC, EEUU. 1325 pp.
- Brasil (2005) *Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil*. CONAMA. 05/03/2005.
- Davidson JA, Helwig NB, Summerfelt S (2008) Fluidized sand biofilters used to remove ammonia, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, and suspended solids from an intensive aquaculture effluent. *Aquacult. Eng.* 39: 6-15.
- Distler GA, Russo C, Sant'Anna JGL (1995) Tratamento de esgoto em reator aeróbio de leito fluidizado trifásico. *Mem. Cong. Bras. Engenharia Sanitária e Ambiental*. Salvador, Brasil. CD-ROM
- Feiden A (2001) *Tratamento de Águas Residuárias de Indústria de Fécula de Mandioca Através de Biodigestor Anaeróbio com Separação de Fases em Escala Piloto*. Tese. UNESP. Botucatu, Brasil. 80 pp.
- Gebara D (2006) *Desempenho de um Reator Aeróbio de Leito Fluidizado no Tratamento de Esgoto Sanitário*. Tese. Escola Politécnica. USP. São Paulo, Brasil. 402 pp.
- Guardia Filho LE (2001) *Sistema de Aquisição de Dados de Condutividade Elétrica e Software para Investigação da Hidrodinâmica de Reatores FBBR*. Relatório Científico ao CNPq-PI-BIC. Faculdade de Engenharia, UNESP Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. 45 pp.
- Heijnen JJ, Hols J, Van Der Lans RGJM, Van Leeuwen HLJM, Mulder A, Weltevrede R (1997) A simple hydrodynamic model for the liquid circulation velocity in a full-scale two-and three-

phase internal airlift reactor operating in the gas recirculation regime. *Chem. Eng. Sci.* 52: 2527-2540.

- Hirata A, Takemoto T, Ogawa K, Auresenia J, Tsuneda S (2000) Evaluation of kinetic parameters of biochemical reaction in three-phase fluidized bed biofilm reactor for wastewater treatment. *Biochem. Eng. J.* 5: 165-171.
- IMTA (1990) *Mecânica de Suelos: Instructivo para el Ensayo de Suelos*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 413 pp.
- Juárez EB, Rico AR (2002) *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Limusa. México. 642 pp.
- Lambe W, Whitman R (2004) *Mecánica de Suelos*. Limusa. México. 582 pp.
- Martin RD (2005) *Estudio del Flujo en Reactores con Tres Fases por Simulación*. Tesis. Universidad Complutense de Madrid. España. 434 pp.
- Mello JMM (2007) *Biodegradação dos Compostos BTEX em um Reator com Biofilme*. These. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. 152 pp.
- Melo LF, Vieira MJ (1999) Physical stability and biological activity of biofilms under turbulent flow and low substrate concentration. *Bioproc. Eng.* 20: 363-368.
- Nicolella C, Van Loosdrecht MCM, Heijnen JJ (2000) Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. *J. Biotechnol.* 80: 1-33.
- São Paulo (1976) *Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente*.
- Viadero RCJr, Cunningham JH, Semmens KJ, Tierney AE (2005) Effluent and production impacts of flow-through aquaculture operations in West Virginia. *Aquacult. Eng.* 33: 258-270.
- Von Sperling M (2005) *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 1. 3ª ed. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil. 452 pp.
- Wolff DB, Campos RH, Hoffmann H, Lapolli FR, Filho PB, Costa RHR (2001) Avaliação do biofilme desenvolvido em reator de leito fluidizado no tratamento de esgotos sanitário. *Mem. XXI Cong. Bras. Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa, Brasil. CD-ROM.
- Xavier JB, Picioreanu C, Almeida JS, Van Loosdrecht MCM (2003) Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes. *Bol. Biotechnol.* 76: 2-13.