

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO TEÓRICO DA INFLUÊNCIA DO FLUXO MÁSSICO SOBRE A EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO DE SÓLIDOS EM REATORES UASB

CON-2016-0907

Nome do primeiro autor, e-mail¹

Nome do segundo autor, e-mail²

Nome do terceiro autor, e-mail³

Nome do quarto autor, e-mail⁴

Nome do quinto autor, e-mail⁵

Nome do sexto autor, e-mail⁶

¹Nome da instituição, endereço para correspondência

²Nome da instituição, endereço para correspondência

³Nome da instituição, endereço para correspondência

⁴Nome da instituição, endereço para correspondência

⁵Nome da instituição, endereço para correspondência

⁶Nome da instituição, endereço para correspondência

Resumo: O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo matemático para descrever o comportamento fluidodinâmico de um reator UASB tratando água residuária doméstica, assim como a influência do fluxo mássico sobre a eficiência de retenção de sólidos suspensos (lodo) dos dispositivos de separação (defletor e separador trifásico). Os resultados obtidos, comparados com dados experimentais, demonstraram que a modelagem matemática utilizada foi adequada, uma vez que os dados numéricos obtidos na simulação foram devidamente validados.

Palavras-Chave: Fluidodinâmica computacional, escoamento multifásico, reator UASB.

1. INTRODUÇÃO

Reatores UASB têm sido utilizados, com sucesso, no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais (LI *et al.*, 2008; VLYSSIDES *et al.*, 2009). Contudo, existe grande escassez de informações relacionadas à fluidodinâmica e seus impactos nos processos de desenvolvimento de protótipos de reatores (NARNOLI; MEHROTRA, 1997). Por serem sistemas trifásicos, estes reatores, dependendo dos parâmetros de escoamento e características do sistema, podem apresentar diferentes regimes de escoamento; o que torna seus comportamentos bastante complexos.

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo matemático para descrever o comportamento fluidodinâmico de um reator UASB tratando água residuária doméstica, analisando a influência do fluxo mássico sobre a eficiência de retenção de sólidos suspensos (lodo) dos dispositivos de separação (defletor e separador trifásico). Para verificar se o modelo adotado foi adequado para representar as condições reais de operação do reator, os resultados da modelagem foram validados com dados experimentais obtidos de um reator UASB em escala piloto, feito em poliéster reforçado com fibra de vidro, com capacidade para reter 3000 litros de esgoto, tendo as seguintes dimensões: 4,5 m de altura e 1,0 m de diâmetro.

O bom desempenho do reator UASB se deve, principalmente, a formação de lodo granular compacto, que garante alta atividade metanogênica específica e superior característica de sedimentabilidade (LI *et al.*, 2008; POL *et al.*, 2004; Fang *et al.*, 1994).

Esses fatores possibilitam que o reator seja operado com reduzidos tempos de retenção hidráulica, o que implica em equipamentos de dimensões menores e, conseqüentemente, de menor custo (Vlyssides *et al.*, 2009; Majumder and Gupta, 2008; CAMPOS, 1999). Outras vantagens importantes, clássicas de sistemas anaeróbios, são: baixa produção de

lodo, não requer aeração e produz gás metano (VAN HAANDELL e LETTINGA, 1994; ISIK e SPONZA, 2005). Pelas razões acima expostas, reatores UASB têm se tornado uma opção bastante difundida, principalmente em países de clima tropical, sendo frequentemente usados para o tratamento de águas residuárias com variadas faixas de concentração de matéria orgânica, tanto a solúvel quanto a complexa (FANG et al., 1994; NARNOLI e MEHROTRA, 1997).

2. PROCEDIMENTO NUMÉRICO

As simulações do comportamento fluidodinâmico do reator UASB foram realizadas com o auxílio do pacote comercial CFX versões 4 e 10.

O domínio de estudo foi discretizado no espaço tridimensional gerando uma malha com 67875 elementos hexaédricos, empregando o método dos volumes finitos, presente no pacote comercial CFX.

2.1. Geração das Malhas

Levando em consideração que o objetivo principal do trabalho é a avaliação da fluidodinâmica das regiões de manta de lodo e do separador trifásico, foi assumido que a geometria para confecção da malha não levaria em consideração a região cônica do reator (que compreende o leito de lodo). Para simplificar o domínio de estudo também não foram considerados os dutos de entrada (alimentação do reator), de saída (coleta do efluente) e de coleta de amostras (ao longo da altura do reator). O domínio de estudo então foi discretizado no espaço tridimensional e após os resultados do estudo de dependência de malha adotou-se uma malha com 67875 elementos hexaédricos, empregando o método dos volumes finitos, presente no pacote comercial CFX.

As Figura 1 e 2 ilustram a representação fictícia do reator UASB, com as considerações mencionadas acima, criada no módulo CFX Build disponível na versão 4.4.

Detalhes das características das malhas geradas podem ser obtidos na literatura (Lima, 2008).

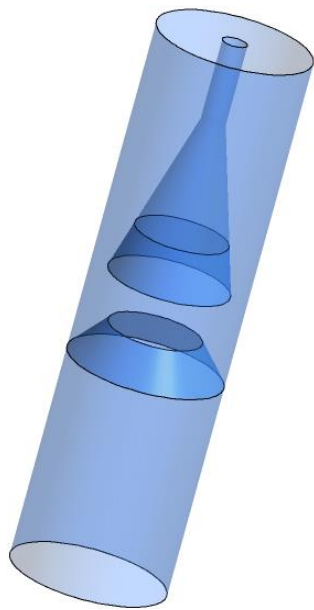


Figura 1. Representação fictícia do reator UASB.

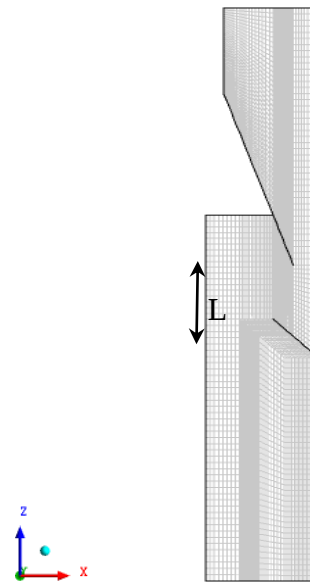


Figura 2. Representação das malhas bidimensionais com inclinação do defletor voltada para: (a) cima.

3. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático utilizado, considerando-se as fases líquida (água), gasosa (biogás) e sólida (lodo), foi o de transferência interfacial. Para a modelagem, foram feitas as seguintes considerações: regime de escoamento turbulento e estacionário; mistura de biogás com composição fixa; produção uniforme de bolhas ao longo da seção transversal da manta de lodo; transferência de momento interfacial entre as fases líquida e gasosa decorrente apenas da força de arraste; fonte de momento dependente apenas do empuxo; transferência de massa interfacial desprezada; bolhas de gás e partículas de lodo esféricas e com distribuições escassas.

A partir dessas considerações, as equações de conservação de massa (1) e de momento linear (2), utilizadas em fluxos multifásicos dispersos, assumem a forma:

- Conservação de massa.

$$\nabla \bullet (r_i \rho_i \vec{U}_i) = 0 \quad (1)$$

Em que: o índice i representa a fase contínua (água) e r , ρ e $\vec{U}$ representam, respectivamente, a fração volumétrica, a densidade e o vetor velocidade (U_x, U_y, U_z).

- Conservação de momento linear.

$$\nabla \bullet [r_i (\rho_i \vec{U}_i \otimes \vec{U}_i)] = -r_i \nabla p + \nabla \bullet \left\{ r_i \mu_i \left(\nabla \vec{U}_i + (\nabla \vec{U}_i)^T \right) \right\} + r_i (\rho_i - \rho_{ref}) g + c_{ij}^{(d)} (\vec{U}_j - \vec{U}_i) \quad (2)$$

Em que: o índice j representa as fases dispersas (biogás e lodo), p a pressão, μ a viscosidade dinâmica, ρ_{ref} a densidade de referência e $c_{ij}^{(d)}$ o termo de arraste interfacial.

Como condição de entrada foram utilizados o fluxo mássico da mistura composta por água, biogás e lodo (0,004 kg/s) e as frações volumétricas da água (0,91), do biogás (0,06) e do lodo (0,03). Nas fronteiras das paredes do reator, defletor de gases e separador trifásico foi considerado que as velocidades dos fluidos eram iguais a zero. Na fronteira de saída do efluente considerou-se a pressão estática (98.000 Pa). Para a fronteira de saída do biogás foi especificada a condição Degassing.

Foram consideradas as seguintes propriedades dos fluidos: densidade (kg/m³) da água (997), do biogás (0,72) e do lodo (1020); viscosidade dinâmica (μ : Pa s) da água ($8,899 \cdot 10^{-4}$), do biogás ($1,114 \cdot 10^{-5}$) e do lodo ($1,295 \cdot 10^{-4}$); diâmetro (m) do biogás (0,003) e do lodo (0,003) e tensão superficial entre a água e o biogás (0,072 N/m).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações numéricas, do reator UASB com inclinação do defletor voltada para cima, referentes ao estudo da influência do fluxo mássico sobre a eficiência de retenção de sólidos suspensos (lodo) dos dispositivos de separação de fases (defletor e separador trifásico), mostraram que as eficiências dos elementos de separação de fases apresentaram uma relação diretamente proporcional com o fluxo mássico, dentro da faixa estudada no presente trabalho (10^{-4} a 0,11 kg/s). Este comportamento pode estar relacionado com o aumento da deposição de sólidos (lodo) entre o defletor e a parede do reator, decorrente da presença de zonas de recirculação observadas nesta região (Figuras 11 a, 12 a e 13 a).

Os resultados referentes às frações volumétricas de lodo estão apresentados nas Figuras 11 a 13 (b e c). Estas figuras, por sua vez, permitem constatar que as zonas de recirculação desempenham uma importante função sobre o comportamento da fração volumétrica das partículas sólidas, fazendo com que haja um desequilíbrio entre as forças que estão atuando sobre elas. Isto é, devido a redução da velocidade próximo a estas zonas de recirculação, a força peso se sobrepõe as forças de arraste e de empuxo e, conseqüentemente, favorecem a decantação das mesmas. Contudo, deve-se ressaltar que esta constatação foi obtida com base nos estudos realizados apenas com o reator com a inclinação do defletor voltada para cima. Para as demais configurações, o aumento do fluxo mássico arrastaria uma maior fração de sólidos para a zona de sedimentação.

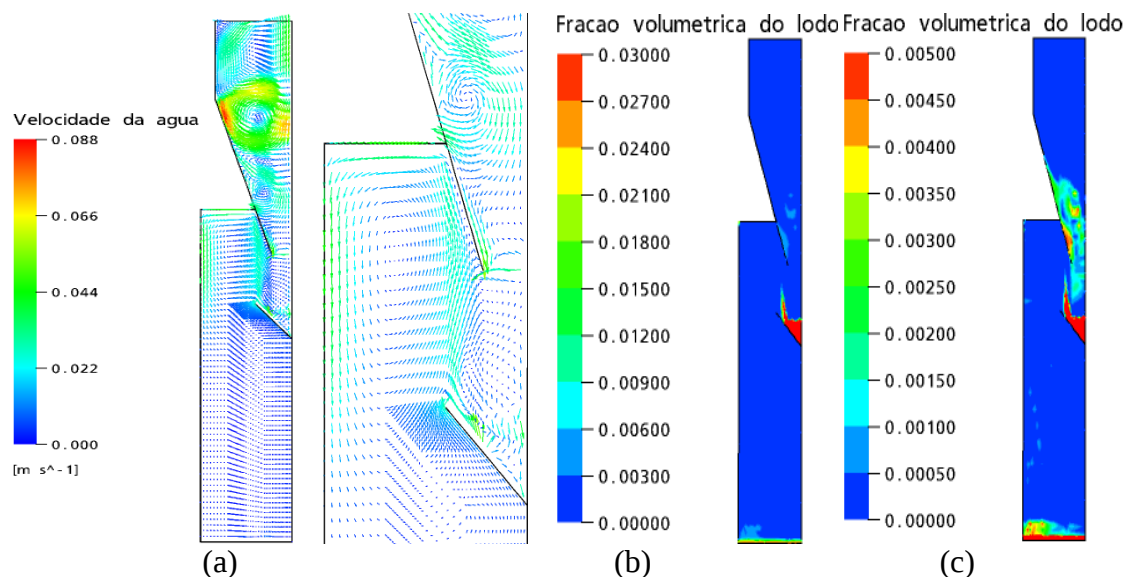


Figura 11. Representação do campo: (a) velocidade da água, (b) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,03) e (c) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,005), no reator com fluxo mássico igual a 0,004 kg/s.

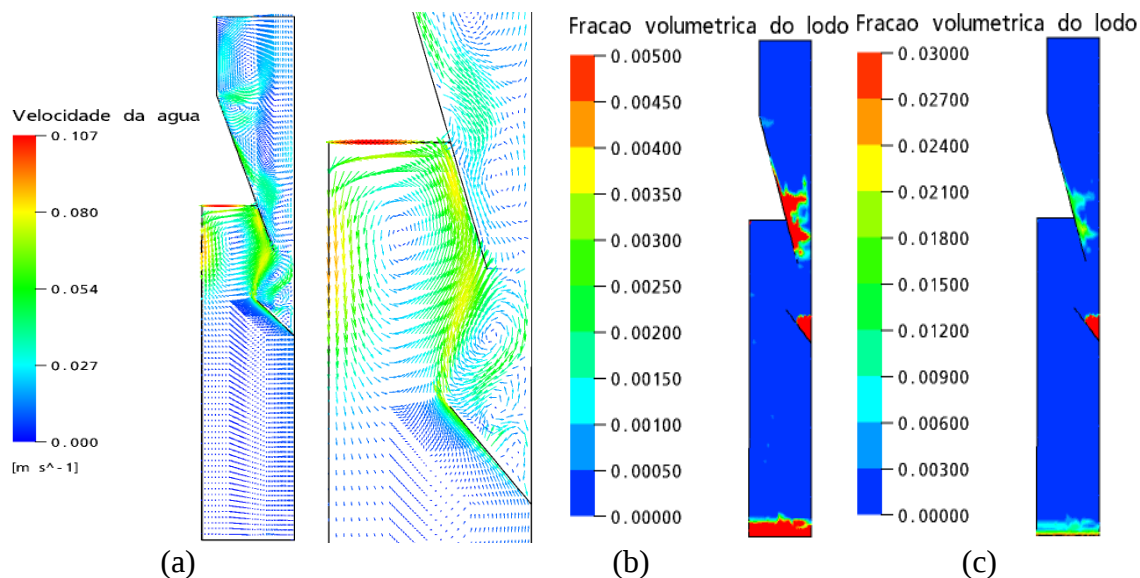


Figura 12. Representação do campo: (a) velocidade da água, (b) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,03) e (c) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,005), no reator com fluxo mássico igual a 0,05 kg/s.

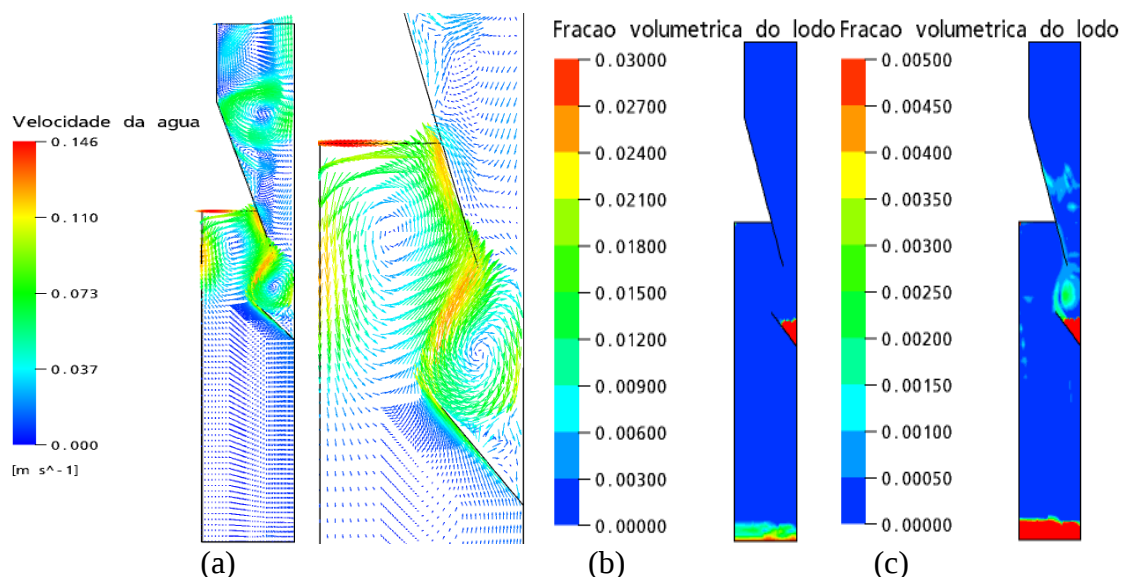


Figura 13. Representação do campo: (a) velocidade da água, (b) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,03) e (c) de fração volumétrica do lodo (0 a 0,005), no reator com fluxo mássico igual a 0,11 kg/s.

5. CONCLUSÃO

O modelo matemático adotado para descrever o comportamento fluidodinâmico do reator UASB na simulação foi bastante satisfatório, uma vez que os resultados numéricos foram validados a partir de resultados experimentais. Assim, conclui-se que o mesmo conseguiu reproduzir adequadamente o comportamento físico real do reator.

Outra consideração a ser feita com relação à retenção de sólidos no reator, com inclinação do defletor voltada para cima, está relacionada com o fato de esta ser diretamente proporcional ao fluxo mássico, sendo este comportamento atribuído a maior deposição de sólidos no interior do defletor de gases decorrente da intensidade turbilhonar localizada na região entre o defletor de gases e o separador trifásico.

6. REFERÊNCIAS

- Li, J., Hu, B., Zheng, P., Qaisar, M., Mei, L. (2008) *Filamentous granular sludge bulking in a laboratory scale UASB reactor. Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 3431–3438.
- Narnoli S.K., Mehrotra I. Sludge Blanket of UASB Reactor: Mathematical Simulation. *Water Research*. Vol. 31 (4), pp. 715-726. (1997).
- Vlyssides, A., Barampouti, E.M., Mai, S. (2009) *Influence of ferrous iron on the granularity of a UASB reactor. Chemical Engineering Journal*.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

THEORICAL STUDY OF INFLUENCE MASS FLOW ON RETENTION EFFICIENCY OF SOLID IN UASB REACTORS

First Author's Name, e-mail¹

Second Author's Name, e-mail²

Third Author's Name, e-mail³

Fourth Author's Name, e-mail⁴

Fifth Author's Name, e-mail⁵

Sixth Author's Name, e-mail⁶

¹Institution and address for first author

²Institution and address for second author

³Institution and address for Third author

⁴Institution and address for Fourth author

⁵Institution and address for Fifth author

⁶Institution and address for Sixth author

Abstract. *In this paper is to present a mathematical model to describe the fluid dynamic behavior of a UASB reactor treating domestic wastewater, as well as the influence of the mass flow over the suspended solids retention efficiency (sludge) of separation devices (deflector and tab phase), the results obtained compared with experimental data demonstrated that the mathematical model used was appropriate, since the numerical data obtained from the simulation have been properly validated.*

Keywords: *Computational Fluid Dynamics, Multiphase flow, UASB.*