

## II-045 - MODELAGEM MATEMÁTICA DE REATOR UASB TRATANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA

**Maria Gorethe de Sousa Lima**<sup>(1)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professora da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

**Flávio Cesar Brito Nunes**

Engenheiro Elétrico pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

**Flávia Lima Cordeiro de Moura**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestranda em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professora do curso técnico em Meio Ambiente da Faculdade Internacional da Paraíba.

**Adriana Oliveira Araújo**

Tecnóloga em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC). Mestre em Eng. Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda em Eng. Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus Princesa Isabel*.

**Fernando José Araújo da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Fortaleza. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor da Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Odete Matos de Alencar, 1071 – Lagoa Seca – Juazeiro do Norte - CE - CEP: 63040-250 - Brasil - Tel: (88) 8826-7101 - e-mail: gorethelima@cariri.ufc.br

### RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo matemático para descrever o comportamento fluidodinâmico de um reator UASB tratando água residuária doméstica, focando a distribuição das frações volumétricas de cada fase envolvida no escoamento, bem como o campo de pressão compartilhado por estas fases. Para tanto, foi realizada uma modelagem matemática no espaço bidimensional, visando obter uma solução numérica para o modelo proposto, empregando o método dos volumes finitos acoplado no pacote comercial CFX da Ansys. Das iso-superfícies das frações volumétricas do biogás e do lodo, verificou-se a presença de uma corrente de bolhas agrupadas seguindo em direção ao interior do elemento de separação trifásico. Também verificou-se que aproximadamente todo o lodo injetado no reator, após ser arrastado pelo movimento ascensional da água e do biogás, sedimenta nas regiões de entrada e entre a parede do defletor e a parede do reator. Quanto ao campo de pressão, observou-se que a queda de pressão entre as regiões de entrada do reator e de saída de biogás foi de 24,6 kPa e entre as regiões de entrada do reator e de saída do lodo e da água foi de 35,2 kPa. Ao final do trabalho, concluiu-se que o modelo matemático adotado para descrever o comportamento fluidodinâmico do reator UASB na simulação conseguiu reproduzir adequadamente o comportamento físico real do reator.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem matemática, Fluidodinâmica, Água residuária doméstica, Reator UASB.

### INTRODUÇÃO

Reatores UASB têm sido utilizados, com sucesso, no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais (LI *et al.*, 2008; VLYSSIDES *et al.*, 2009).

O bom desempenho dos reatores UASB se deve, principalmente, a formação de lodo granular compacto, que garante alta atividade metanogênica específica e elevada característica de sedimentabilidade (RASTEGAR, *et al.*, 2011). Contudo, existe grande escassez de informações relacionadas a 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, focando a distribuição das frações volumétricas de cada fase envolvida no escoamento, bem como o campo de pressão compartilhado por estas fases. 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.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### GERAÇÃO DAS MALHAS

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 bidimensional gerando uma malha com 67875 elementos hexaédricos, empregando o método dos volumes finitos, presente no pacote comercial CFX.

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

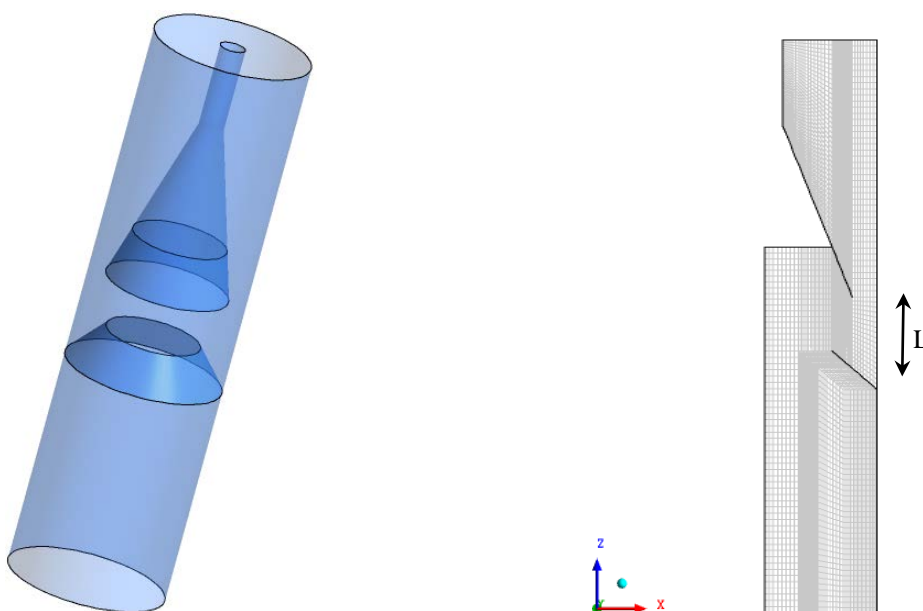


Figura 1 - Representação fictícia do reator UASB. Figura 2 - Representação da malha bidimensional.

### DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

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.

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:

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

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

- Conservação de momento linear:

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

Em que: o índice  $j$  representa as fases dispersas (biogás e lodo),  $p$  a pressão,  $\mu$  a viscosidade dinâmica,  $\rho_{ref}$  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/m<sup>3</sup>) da água (997), do biogás (0,72) e do lodo (1020); viscosidade dinâmica ( $\mu$ : Pa s) da água (8,899.10<sup>-4</sup>), do biogás (1,114.10<sup>-5</sup>) e do lodo (1,295.10<sup>-4</sup>); diâmetro (m) do biogás (0,003) e do lodo (0,003) e tensão superficial entre a água e o biogás (0,072 N/m).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se analisar as iso-superfícies das frações volumétricas do biogás e do lodo, verificou-se a presença de uma corrente de bolhas agrupadas seguindo em direção ao interior do elemento de separação trifásico (Figura 3). Deve-se, portanto, ressaltar que praticamente não ocorreu arraste de biogás em direção a zona de sedimentação; constatação esta que só foi possível ser obtida por meio da mudança de escala na apresentação das iso – superfícies (Figura 3 b, c e d). Esta observação está de acordo com o que é esperado na prática, já que, segundo a literatura (VAN HAANDEL E LETTINGA, 1994; CAMPOS, 1999), o bom desempenho do separador de fases depende, dentre outros fatores, da completa separação do biogás das demais fases (líquido e sólido).

Contudo, segundo van Haandel e Lettinga (19994), na prática, aproximadamente 20 a 50 % do metano gerado das reações do metabolismo da matéria orgânica não é coletado pelo separador trifásico: uma parte se desprende para a atmosfera e uma outra parte sai do reator juntamente com o efluente (água residuária tratada), porém, na forma dissolvida e não na forma de gás como foi analisado neste estudo.

Com relação à fração volumétrica do lodo (Figura 4), verifica-se que aproximadamente todo o lodo injetado no reator, após ser arrastado pelo movimento ascensional da água e do biogás, sedimenta nas regiões de entrada e entre a parede do defletor e a parede do reator (Figura 4 a e b). O lodo sedimentado nesta última região é proveniente do deslizamento da fração de lodo acumulada na parede inclinada do separador trifásico por ação da força peso, a qual é suficiente para vencer a força de atrito entre a massa de lodo e a parede do reator (Figura 4 b, c e d). Este comportamento conduz a uma redução de partículas sólidas (lodo) presentes na saída do reator, juntamente com a água residuária tratada. Para averiguar esta afirmação, foi determinada, a partir dos resultados obtidos da simulação numérica, a concentração de sólidos na seção de saída do reator com base no resultado da fração volumétrica média. O valor da concentração destes sólidos foi de 60,9 mg/L que, ao se comparar com a concentração de sólidos suspensos determinada experimentalmente (51 mg/L), apresentou uma discrepância de 16,4 %, a qual pode ser atribuída as considerações que foram adotadas no presente trabalho, dentre as quais destaca-se a condição de perfil de entrada constante e uniforme (tipo pistão) para a injeção do biogás e introdução do lodo, decorrente da desconsideração do leito de lodo na confecção do domínio de estudo.

Quanto ao campo de pressão, observou-se que a queda de pressão entre as regiões de entrada do reator e de saída de biogás foi de 24,6 kPa e entre as regiões de entrada do reator e de saída do lodo e da água foi de 35,2 kPa. Tais informações são importantes, por exemplo, no dimensionamento da potência de bombas para alimentar o reator. Uma análise comparativa entre os resultados numéricos e experimentais mostrou que na zona de manta de lodo os resultados numéricos se diferenciaram dos experimentais em aproximadamente 2,42 kPa, enquanto que na zona de sedimentação esta diferença foi de apenas 0,36 kPa. A maior diferença entre os resultados numéricos e experimentais obtida na zona de manta de lodo pode ser atribuída a maior fração de vazios nesta área.

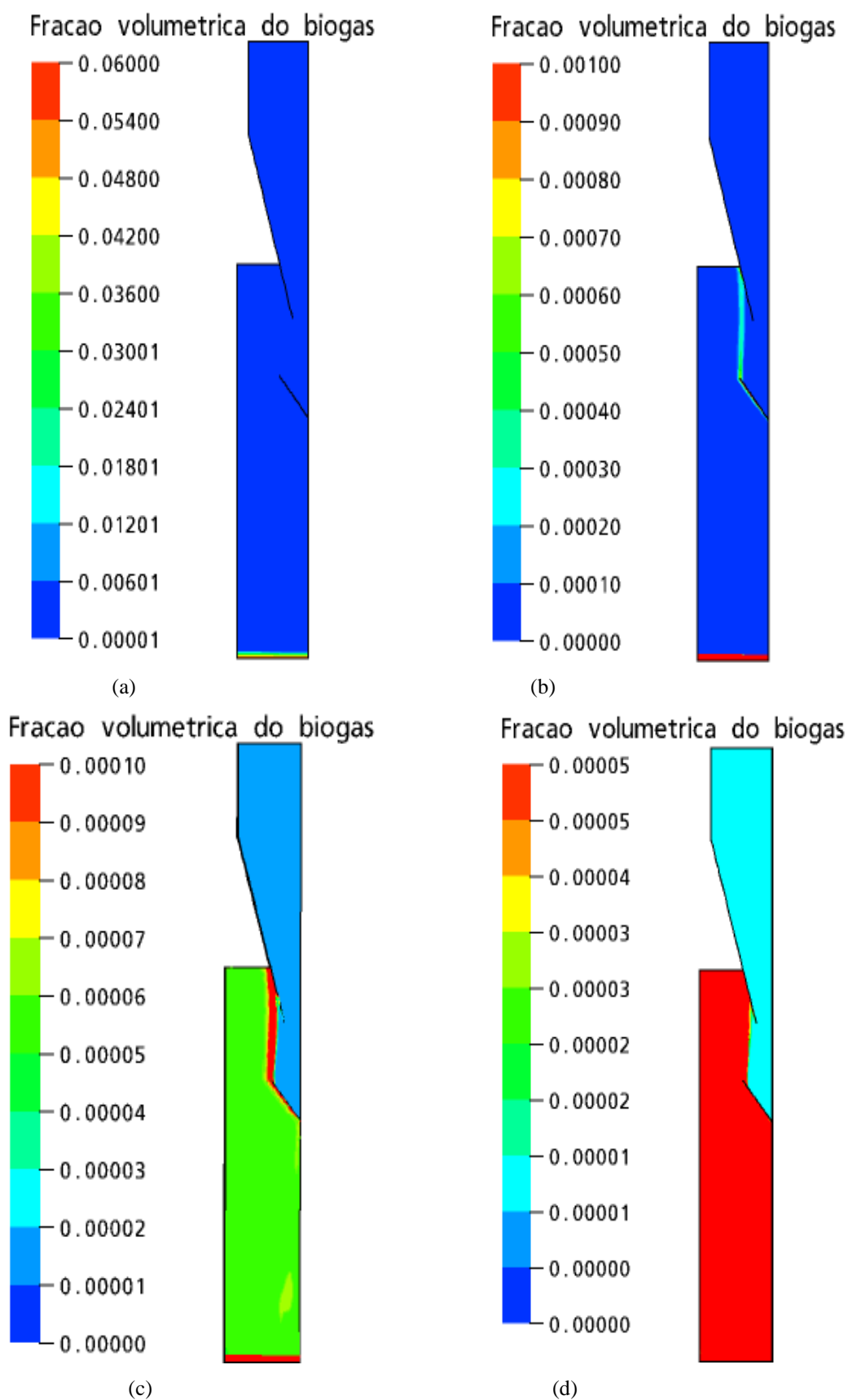
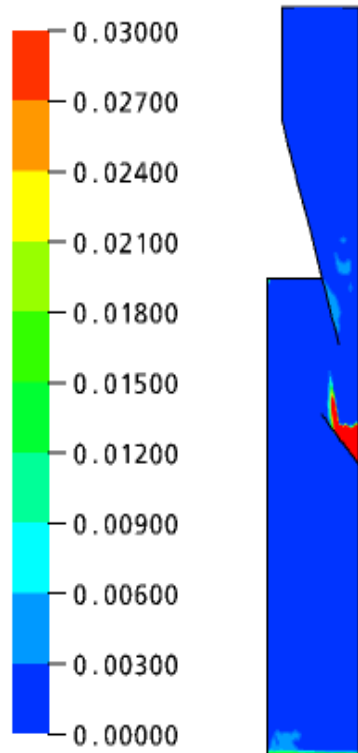


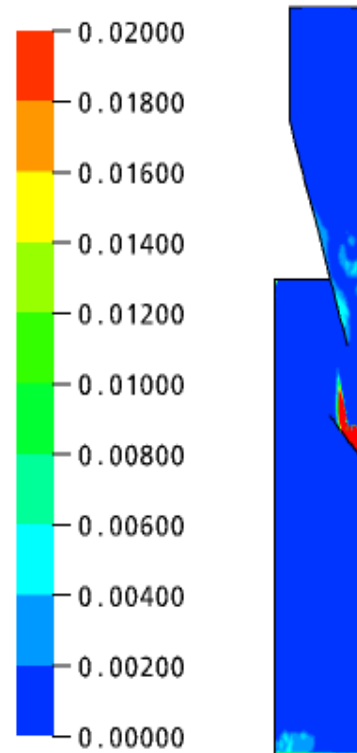
Figura 3 – Representação dos campos de fração volumétrica no reator para o biogás: (a) 0,06 (b) 0,001, (c) 0,0001 e (d) 0,00005.

Fração volumétrica do lodo



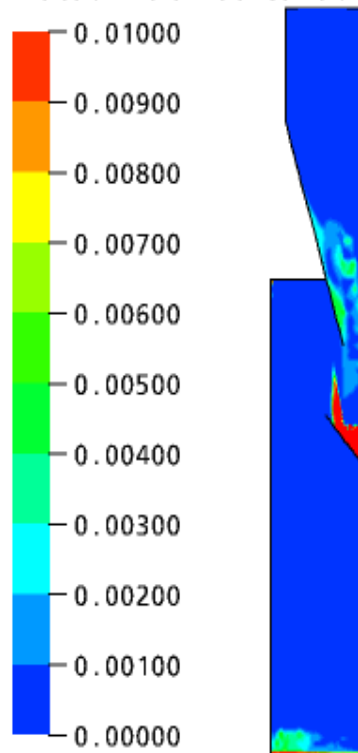
(a)

Fração volumétrica do lodo



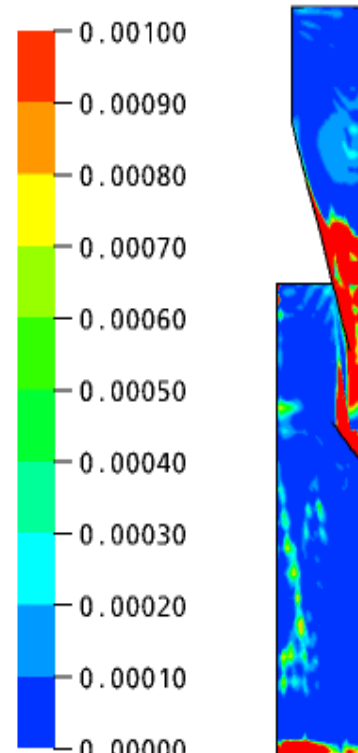
(b)

Fração volumétrica do lodo



(c)

Fração volumétrica do lodo



(d)

Figura 4 – Representação dos campos de fração volumétrica no reator para o lodo: (a) 0,03 (b) 0,02, (c) 0,01 e (d) 0,001.

## 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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Campos, J. R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. PROSAB. Rio de Janeiro. (1999).
2. Li, J., HU, B., Zheng, P., Qaisar, M., Mei, L. (2008) *Filamentous granular sludge bulking in a laboratory scale UASB reactor. Bioresource Technology*, v. 99, p. 3431–3438.
3. Narnoli S. K., Mehrotra I. Sludge Blanket of UASB Reactor: Mathematical Simulation. *Water Research*. Vol 31 (4), pp. 715-726. (1997).
4. RASTEGAR, S. O., MOUSAVI, S. M., SHOJAOSADATI, S. A., SHEIBANI, S. (2011) *Optimization of petroleum refinery effluent treatment in a UASB reactor using response surface methodology. Journal of Hazardous Materials*, v.197, p. 26 - 32.
5. van Haandell, A.C., Lettinga, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos. Editora ABES. 3<sup>a</sup> edition. Campina Grande. (1994).
6. Vlyssides, A., Barampouti, E. M., MAI, S. (2009) *Influence of ferrous iron on the granularity of a UASB reactor. Chemical Engineering Journal*, v. 146, p. 49–56.