



II-231 – AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE REATOR UASB SUBMETIDO À VARIAÇÃO CÍCLICA DE VAZÃO

Karina Querne de Carvalho⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do *campus* Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. (UTFPR). Coordenadora do III Curso de Especialização em Gerenciamento e Auditoria Ambiental do *campus* Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Monique Toledo Salgado⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Engenheira da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) na área de saneamento integrado para áreas de assentamento precário na região de Vitória - ES.

Fernando Hermes Passig⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do *campus* Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Gerente de Pesquisa e Pós-graduação do *campus* Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Eduardo Cleto Pires⁽⁴⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUCRJ). Doutor em Engenharia Civil em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor titular da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Mamborê, 987 - Centro – Campo Mourão - PR - CEP: 87302-140 - Brasil - Tel: (44) 3017-5891 – e-mail: kaquerne@gmail.com.

RESUMO

Um reator UASB em escala piloto (160 l) foi usado com o objetivo de estudar seu comportamento hidrodinâmico quando submetido a variações cíclicas senoidais da vazão afluyente. Os ensaios foram realizados com traçador eosina Y para as condições operacionais: vazão média afluyente constante e igual a 16 L.h⁻¹ e tempo de detenção hidráulica de 10 h (ensaios 1 e 2), e para vazão afluyente submetida à variação senoidal de 40% (ensaios 3 e 4) e de 60% (ensaio 5). A variação da concentração do traçador no efluente foi ajustada pelos modelos teóricos de dispersão de fluxo e de reatores em série. O reator UASB apresentou comportamento similar ao de reator de mistura completa para vazão média afluyente constante e similar ao reator de fluxo pistonado com a aplicação das variações senoidais cíclicas, sendo que o modelo de pequena dispersão apresentou melhor ajuste matemático.

PALAVRAS-CHAVE: Bio-Reator, Difusão, Fenômeno de Cauda, Hidrodinâmica, Traçador.

INTRODUÇÃO

A aplicação de modelos matemáticos para previsão do comportamento dinâmico de reatores UASB está recebendo atenção particular com a divulgação do modelo ADM 1 proposto pela IWA. Uma das etapas necessárias para uso desse modelo, ou de qualquer outro, é o conhecimento detalhado do comportamento hidrodinâmico.

A hidrodinâmica dos reatores anaeróbios tem papel importante porque pode influenciar a velocidade das reações biológicas, por meio de alterações na taxa de transferência de massa e a distribuição das reações ao longo do reator. Como consequência da distribuição da biomassa e do encadeamento das reações bioquímicas, diferentes regiões do reator apresentam composições diferentes, em função do tipo de escoamento imposto.



Além disso, curtos-circuitos hidráulicos, caminhos preferenciais e zonas mortas (sem presença de substrato na alimentação) podem prejudicar a eficiência dos reatores no tratamento de águas residuárias devido à diminuição do volume útil e do tempo de detenção hidráulica dos reatores.

Esse trabalho pretende avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator UASB em escala piloto (160 L) submetido a variações cíclicas diárias de cargas orgânicas e hidráulicas de vazão com período de 24 h. Com isso objetivou-se analisar a influência das variações cíclicas diárias de cargas orgânicas e hidráulicas em períodos curtos de duração iguais ou menores que 24 h, comuns em esgoto de origem doméstica e freqüentemente encontradas em pequenas instalações de tratamento.

Como primeira etapa do estudo, um levantamento da resposta hidrodinâmica do reator nessas condições foi elaborado, variando-se senoidalmente a vazão média afluente em até 60%, em valores inferiores e superiores. Posteriormente, os resultados experimentais obtidos foram comparados com modelos matemáticos de uso corrente na avaliação hidrodinâmica de reatores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de estímulo-resposta tipo pulso com eosina Y foram realizados em um reator UASB em escala piloto com volume total de 160 L, mantido à temperatura ambiente e inoculado com lodo anaeróbio granular de reator anaeróbio que trata água residuária de abatedouro de aves.

O reator foi alimentado com esgoto doméstico da cidade de São Carlos (São Paulo) com concentração de DQO variando na faixa de 573 mg.L⁻¹ a 687 mg.L⁻¹.

Variações senoidais cíclicas na vazão afluente diferenciaram as etapas de operação do reator: etapa I - vazão afluente constante de 16,0 L.h⁻¹ e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10h durante 189 d; etapa II – aplicação de variações senoidais cíclicas em valores inferiores e superiores a 40% da vazão afluente (picos de mínimo e de máximo de 9,6 L.h⁻¹ e 22,4 L.h⁻¹, respectivamente) durante 34 d; etapa III - aplicação de variações senoidais cíclicas em valores inferiores e superiores a 60% da vazão afluente (picos de mínimo e de máximo de 6,4 L.h⁻¹ e 25,6 L.h⁻¹, respectivamente) durante 27 d.

A aplicação das variações senoidais em período de 24h foi realizada por programa computacional que alterava percentualmente a vazão afluente da bomba de alimentação em intervalos de 15 min.

Dois ensaios de estímulo-resposta, com duração superior a três vezes o TDH teórico, foram realizados em cada etapa de operação. A concentração de eosina Y nas amostras do efluente do reator foi determinada com espectrofotômetro Hach uv-vis, modelo DR/2000 (516 nm).

As curvas da variação de concentração do traçador pelo tempo foram normalizadas de acordo com Levenspiel (1999), resultando em curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica ($E_0\theta$) em função do tempo adimensional (θ/θ_c). O ajuste das curvas ($E_0\theta$) x (θ/θ_c) foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão e de tanques em série (N-CSTR) de acordo com Levenspiel (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O lento decaimento das concentrações de eosina Y ao longo do tempo nas amostras do efluente em todos os ensaios pode indicar o fenômeno de “cauda” devido aos fenômenos de difusão em zonas mortas do reator, adsorção do traçador na biomassa do reator ou curto circuito hidráulico [2]. O mesmo comportamento foi verificado por Stevens *et al.*, 1986; Jiménez *et al.*, 1988a; Jiménez *et al.*, 1988b; de Nardi *et al.*, 1999; Lima, 2001.

A recuperação da massa injetada do traçador resultou em: 85% e 86% para ensaios 1 e 2, respectivamente; 88% e 90% para ensaios 3 e 4, respectivamente e 90% para ensaio 5. Brown *et al.* (1984) verificaram 85% de recuperação do traçador bromofenol azul nas amostras do efluente de reatores de lodo ativado em escala real nos ensaios hidrodinâmicos. Jiménez *et al.* (1988a) obtiveram recuperação de traçador nas amostras do efluente variando de 41 a 51% em ensaios com eosina Y na presença de biomassa; Brito e Melo (1997) alcançaram recuperação de 95% do cloreto de lítio usado em estudo hidrodinâmico de reator UASB com



biomassa anaeróbia granular; Lima (2001) obteve porcentagem de recuperação de 90% da massa injetada ao avaliar a hidrodinâmica do reator RAHLF tratando esgoto sanitário; Passig (2005) obteve recuperação de traçador variando de 42% a 89% na operação de reator UASB em escala real (18,8 m³) tratando esgoto sanitário à temperatura média de 24°C.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência pelos modelos matemáticos teóricos, de acordo com Levenspiel (2000).

Tabela 1. Parâmetros obtidos com o ajuste dos dados experimentais para reator UASB

Etapas	Ensaios	TDH	N-CSTR	Pequena Dispersão	Grande Dispersão
		(h)		(PD)	(GD)
1	1	16	5	0,112	0,075
	2	14	4	0,121	0,079
2	3	15	8	0,064	0,075
	4	15	7	0,072	0,075
3	5	15	11	0,045	0,075

Foi possível observar na Tabela 1 que o tempo de detenção hidráulica real obtido por meio da curva DTR variou entre 14 e 16 horas em todos os ensaios.

Os valores experimentais obtidos foram superiores ao TDH teórico por apresentarem diferenças significativas de 40% e de 60% nos ensaios 1 e 2, respectivamente e de 50% nos ensaios 3, 4 e 5 em relação ao tempo de detenção hidráulica teórico de aproximadamente 10 h. Esses resultados demonstraram atraso na resposta do traçador, o que pode indicar existência de zonas mortas no interior do reator ou adsorção do traçador na biomassa.

Ao verificar os dados da Tabela 1, nota-se que na etapa 1 (sem variação de vazão), o modelo teórico de N-CSTR em série fornece resultados iguais a 5 e 4 reatores e o modelo de pequena dispersão valores iguais a 0,112 e 0,121. Passig (2005) constatou que o reator UASB equivale a 5 reatores de mistura perfeita em série e obteve valor de 0,11 para o modelo de pequena dispersão. Portanto, pode-se concluir que esses valores encontrados estão muito próximos aos relatados na literatura técnico-científica.

Ainda na Tabela 1, nas etapas 2 e 3, observa-se aumento do número de N-CSTR em série e diminuição do valor referente ao modelo de pequena dispersão, provavelmente devido ao aumento da amplitude da variação da vazão afluente. O aumento da amplitude de variação de vazão média afluente ocasionou aumento do N-CSTR para 11 reatores de mistura perfeita em série e diminuição do valor de pequena dispersão para valor igual a 0,045. Com isso o comportamento hidrodinâmico do reator se aproxima do reator de fluxo pistonado..

As curvas experimentais de distribuição do tempo de residência (DTR) obtidas com o ajuste de modelos matemáticos são apresentadas na Figura 1.

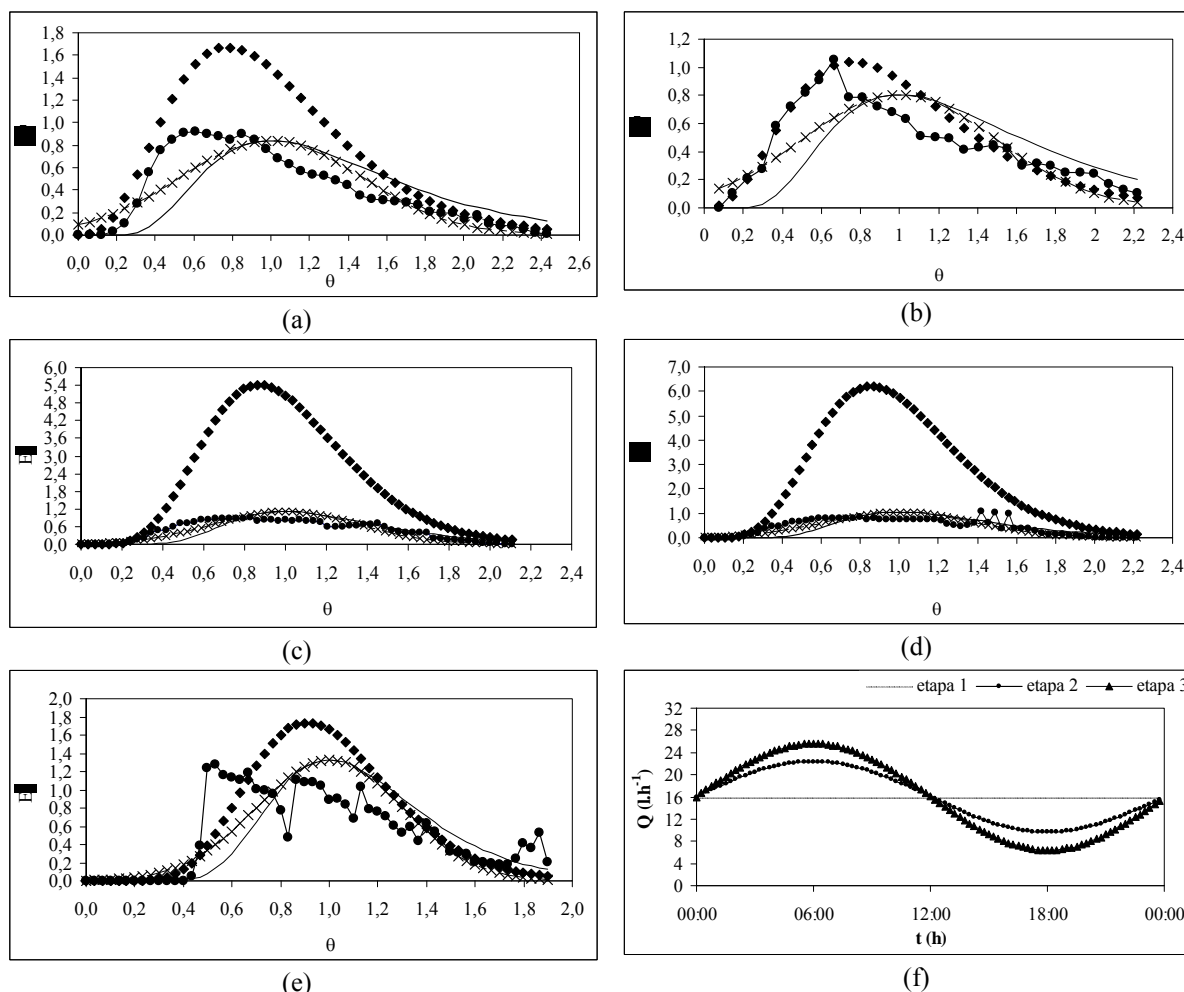


Figura 1. Curvas de DTR obtidas experimentalmente com uso de eosina Y em diferentes condições operacionais do reator UASB: $Q=16 \text{ L.h}^{-1}$ e $TDH=10\text{h}$: a - ensaio 1, b - ensaio 2; $Q=40\%.Q$ e $TDH= \text{var.}$: c - ensaio 3, d - ensaio 4; $Q=60\%.Q$ e $TDH= \text{var.}$: e - ensaio 5; f - variação da vazão afluente.
-●- Dados experimentais; -x- pequena dispersão; ♦ N-CSTR em série; – grande dispersão.

Os modelos de pequena dispersão (PD) e de grande dispersão (GD) apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, apesar de inicialmente os ensaios não respeitarem suas premissas ($D/uL < 0,01$ e dispersão idêntica dentro e fora do volume de controle).

Entretanto, isto não significa que o ajuste tenha sido satisfatório, porque, mesmo neste modelo, foi grande a dispersão em relação aos valores experimentais. Como o modelo N-CSTR previu a ocorrência de uma concentração máxima de traçador, a qual não ocorreu, seu ajuste tornou-se comprometido (Figura 1a, Figura 1b, Figura 1c, Figura 1d e Figura 1e).

CONCLUSÕES

Na avaliação hidrodinâmica constatou-se que o reator UASB apresentou comportamento próximo ao de reator de mistura completa com aproximadamente 4 ou 5 reatores de mistura completa (N-CSTR) em série, para o ensaio sem variação de vazão afluente. Com o aumento da amplitude da variação da vazão afluente do reator constatou-se que o comportamento do reator se aproxima de um reator de fluxo pistonado.

Apesar da aplicação das variações senoidais cíclicas de 40% e 60%, os parâmetros tempo de detenção hidráulica e grau de mistura do reator não apresentaram diferenças significativas quando comparados àqueles parâmetros obtidos para vazão média afluente constante.



Ao comparar o tempo de detenção hidráulica teórico com o determinado pelas curvas de DTR obtidas experimentalmente, verificou-se atraso de aproximadamente 50% da resposta do traçador que poderia indicar existência de zonas mortas hidrodinâmicas no interior do reator. O fenômeno de cauda observado nas curvas obtidas é resultante da difusão do traçador nessas zonas mortas e de sua lenta liberação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, ao CNPq e CAPES pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRITO, A.G., MELO, L.F. (1997). Simplified analysis of reaction and mass transfer in UASB and EGSB reactors. *Environmental Technology*, v.18, p.35-43.
2. BROWN, L., RHEAD M.M., HILL, D. (1984). The use of bromophenol blue as a tracer in sewage works. *Water Research*, v.18, n.9, p.1083-087.
3. DE NARDI I.R., ZAIAT, M., FORESTI, E. (1999). Influence of the tracer characteristics on hydrodynamic models of packed-bed bioreactors. *Bioprocess Engineering*, v.21, p.469-76.
4. JIMENEZ, B., NOYOLA, A., CAPDEVILLE, B. (1988a). Selected dyes for residence time distribution in bioreactors. *Biotechnology Techniques*, v.2, p.77-82.
5. JIMENEZ B. *et al.* (1988b). Dextran blue colorant as a reliable tracer in submerged filters. *Water Research*, v.22, p.1253-257.
6. LEVENSPIEL, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering*. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons. 688 p.
7. LIMA, C.A.A. Tratamento de esgoto sanitário em reator horizontal de leito fixo (RAHLF) - Escala Piloto. São Carlos, 2001. Tese de Doutorado em Engenharia-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
8. PASSIG, F.H.. Reator anaeróbio híbrido para o tratamento de esgoto sanitário. São Carlos, 2005. Tese de Doutorado em Engenharia-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
9. STEVENS, D.K., BERTHOUEX, P.M., CHAPMAN, T.W (1986). The effect of tracer diffusion in biofilm on residence time distributions. *Water Research*, v.20, n.3, p.369-75.