



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Botelho Saléh, Bruno; Montenegro Campos, Cláudio Milton; Guilherme de Figueiredo,
José

Levantamento de parâmetros cinéticos medidos em reator anaeróbio de manta de lodo
(UASB) em escala-piloto tratando efluentes de laticínio

Acta Scientiarum. Technology, vol. 31, núm. 1, 2009, pp. 51-56

Universidade Estadual de Maringá

Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226523015>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Levantamento de parâmetros cinéticos medidos em reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) em escala-piloto tratando efluentes de laticínio

Bruno Botelho Saléh^{1*}, Cláudio Milton Montenegro Campos² e José Guilherme de Figueiredo²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus de Rio Verde, Rod. Sul Goiana, Km 1, s/n, 75901-970, Zona Rural, Rio Verde, Goiás, Brasil. ²Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: bsaleh@cefetrv.edu.br

RESUMO. O objeto desta pesquisa foi à obtenção e avaliação dos parâmetros cinéticos do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB-Upflow Anaerobic Sludge Blanket) na remoção da carga orgânica poluidora dos despejos da atividade laticinista. O sistema com suas principais unidades foi composto de tratamento preliminar (caixa de areia e flotadores), tanque de contato (TC), reator UASB, filtro anaeróbio (FAB) e lodo ativo em batelada (LAB). Os TDH's (tempos de detenção hidráulicos) e a temperatura adotados para o reator UASB foram de 44, 35, 30, 26 e 20h após a fase de estabilização do sistema, com temperatura média de $24,8^{\circ}\text{C} \pm 1,8^{\circ}\text{C}$. O volume do reator era de 394 L. A partir dos dados DQO_T (mg L⁻¹), Sólidos Totais Fixos e Voláteis (mg L⁻¹), Temperatura (°C), Vazão (L dia⁻¹) e Perfil de Lodo no reator (Sólidos Voláteis Totais em mg L⁻¹), monitorados durante todo o período de pesquisa na estação-piloto, em cada um dos tempos de detenção hidráulicos (TDH's) no reator UASB, foi conduzido o estudo para obtenção dos parâmetros cinéticos: coeficiente de crescimento 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ d⁻¹), coeficiente de decaimento 'K_d' (d⁻¹), taxa máxima de crescimento 'μ_{máx}' (d⁻¹) e concentração de substrato limitante 'K_s' (mg DQO L⁻¹). Os parâmetros cinéticos determinados se basearam em estudos de regressão linear para determinação de Y, K_d, μ_{máx} e K_s, respectivamente, dando, assim, respaldo técnico-científico aos dados físico-químicos levantados durante a operacionalização do sistema.

Palavras-chave: efluentes de laticínios, reator UASB, parâmetros cinéticos.

ABSTRACT. Survey of kinetic parameters measured in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) in pilot-scale treatment of dairy wastewater. The goal of this research was to obtain and withdraw the kinetic parameters from an Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB in removing the organic load from the waste by-product of a dairy activity. The treatment system was composed of a Sand Interceptor (Grit Chamber), Grease Intercept Chambers, Stirred Contact Tank (CT), a UASB reactor, Anaerobic Filter (AF), and Batch Activated Sludge System (BASS). The HRT (Hydraulic Retention Time) and temperature were: 44, 35, 30, 26 and 20 hours, after the system stabilization phase, with a temperature range varying from $24.8 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$. The reactor volume was 394 L. From the COD (mg L⁻¹) data, COD t (mg L⁻¹), Total Fixed and Volatile Solids (mg L⁻¹), Temperature (°C), Flow rate (L day⁻¹), and Sludge Profile (Total Volatile Solids, mg L⁻¹), monitored along all the research period in a pilot scale in each, the study was conducted in order to obtain the following kinetic parameters: yield coefficient 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ d⁻¹), the decay coefficient 'K_d'(d⁻¹), and maximum growth rate 'μ_{máx}'(d⁻¹) and the limited growth rate 'K_s'(mg DQO L⁻¹). The determined kinetic parameters were based on linear regression studies, giving technical support to the physical-chemical data collected during system operation.

Key words: dairy plant effluents, UASB reactor, kinetics parameters.

Introdução

O processo de beneficiamento do leite gera um volume de efluentes líquidos no mínimo três vezes maior, e mais de 90% deste montante não recebe qualquer tipo de tratamento, (SEBRAE-MG, 1997;

1998). Isto se deve ao fato de a maioria dos laticínios serem de pequeno e médio porte, com dificuldades financeiras para manter pessoal especializado, capaz de trabalhar com inovações tecnológicas e operar sistemas de tratamento de efluentes que atinjam

eficiências compatíveis com as normas ambientais.

Pela fiscalização exercida pelos órgãos ambientais e, mais recentemente, pela sociedade, é necessário que o empresário se preocupe em realizar uma adequada operação de destinação desses efluentes, seja na forma de tratamento ou reaproveitamento. É importante lembrar que, por meio de um sistema de tratamento adequado, podem-se diminuir os custos de produção da agroindústria do leite, com a utilização do biogás, reuso da água em outros processos ou aproveitamento como agente fornecedor de nutrientes para o solo e as plantas.

A utilização de sistemas anaeróbios para o tratamento de resíduos líquidos permite a aplicação de uma tecnologia mais sustentável em relação aos outros tipos de sistemas de tratamento, pois proporcionam a produção de energia por meio do biogás, demandam pequena área, possuem simplicidade de construção e permitem a utilização de nutrientes (nitrogênio e fósforo) após o tratamento em atividades.

Os reatores anaeróbios convencionais utilizados nos tratamentos de efluentes possuem o inconveniente de possuírem elevados tempos de detenção hidráulica (TDH), em torno de alguns dias. Esse TDH elevado é utilizado de forma a permitir o crescimento dos micro-organismos de compostores envolvidos no processo. Com o aumento do conhecimento científico do processo anaeróbio, foi quase possível desvincular o TDH do tempo de retenção celular – TRC (tempo de detenção da biomassa), utilizando-se TDH de apenas algumas horas e TRC de vários dias (METCALF AND EDDY, 2002).

Entre os reatores anaeróbios de última geração, destaca-se o reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). Este reator é resultado de um grande avanço na utilização da tecnologia anaeróbia no tratamento de águas residuárias de natureza simples ou complexa, de altas ou baixas concentrações, solúveis ou com materiais particulados (CHERNICHARO, 2000).

O reator UASB dispensa o uso de materiais de enchimento por desenvolver e reter biomassa concentrada e de alta atividade metanogênica, principalmente em sua parte inferior na forma de grânulos e/ou flocos densos, denominada zona de reação ativa. Isto é conseguido por meio de uma seleção interna imposta pela velocidade do fluxo ascendente, do tipo de substrato e ainda da carga orgânica volumétrica (COV). Esses fatores, levados em consideração desde a partida do sistema, permitem o cultivo do lodo. Também a incorporação de um dispositivo interno de separação de sólidos,

gases e líquidos fazem com que o reator trabalhe com elevados TRC mesmo com TDH baixos.

Existem ainda muitos aspectos a serem estudados com relação aos reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), como, por exemplo, a proposta deste trabalho, que é o estudo cinético deste reator em escala piloto, tratando efluentes da agroindústria laticinista. O conhecimento da cinética dos processos de conversão biológica é importante para o projeto de reatores anaeróbios e também para a previsão da qualidade do efluente final.

Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Águas do Departamento de Engenharia (LAADEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na estação-piloto de tratamento de efluentes localizada no Distrito Industrial da cidade de Lavras, Estado de Minas Gerais, ao lado do Laticínio Serrabella Ltda., do qual se obteve vazão afluente compatível com o sistema.

O efluente utilizado para alimentação do sistema foi obtido a partir do efluente gerado nas dependências do laticínio Serrabella Ltda., a fim de se obter vazão afluente compatível com o sistema. A concentração da DQO_T afluente ao sistema também se justifica por corresponder aos valores comumente encontrados em efluentes líquidos das indústrias de laticínios que não lançam soro em seus efluentes (SEBRAE-MG, 1998).

O sistema completo da estação-piloto era constituído das seguintes unidades: elevatória com fosso de captação e bomba pneumática da marca Aro; caixas desarenadoras; tanques flotadores para retenção de óleos e graxas (FLOT), tipo EPA, em série; tanque de contato (TC) com volume útil de 2.500 L e reator UASB com volume de 394 L, equipado com selo hídrico. Dadas às peculiaridades do sistema de saída dos efluentes da unidade industrial, houve necessidade de construir, no ponto de conjunção de todas as linhas de efluente, uma elevatória composta de fosso seccionado em dois compartimentos, capaz de reter por decantação materiais grosseiros. Para a captação do efluente, a bomba instalada foi equipada com crivo de 3 mm e válvula de retenção e controlada por temporizador, regulado para o tempo de 15 min. Este sistema permitia uma amostragem homogênea ao longo de todo o processo de beneficiamento dos produtos lácteos.

As sondas de monitoramento de pH e temperatura instaladas no TC e no UASB foram da marca Actron. O agitador do TC da marca Agitec foi acoplado a um moto-reduzor marca Sumitomo e

controlado por um inversor de frequência da marca Sumitomo, o qual possibilitava variação da rotação numa faixa de 80 a 540 rpm. A bomba de alimentação do reator era tipo nemo, marca Netscky, controlada por um inversor de frequência marca Siemens, e o medidor de volume de biogás Honeywel, com saída de 4 a 20 mA.

Foram monitorados para este experimento os seguintes parâmetros: pH, demanda química de oxigênio afluente e efluente (DQO), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF). Estas análises foram conduzidas segundo metodologias e procedimentos descritos pela APHA (1995).

Após o período de partida, o UASB foi alimentado de forma contínua. Assim que os resultados demonstraram condições de estabilidade (steady-state), ou seja, eficiência igual ou superior a 70%, a carga orgânica volumétrica (COV) foi elevada por meio da vazão ($L\ h^{-1}$) e da DQO média ($mg\ L^{-1}$).

O estudo da cinética bioquímica da biomassa em reatores anaeróbios de manta de lodo procura encontrar as velocidades de crescimento dos micro-organismos, as velocidades de consumo de substratos e de formação de produtos. Tais velocidades podem ser expressas em termos matemáticos por modelos que representem adequadamente a dinâmica desses processos.

Segundo Von Sperling (1996), muitos são os fatores que podem influenciar a cinética de populações microbianas. A cinética pode ser afetada por: composição, pH, reologia e temperatura do meio, controles Internos, adaptabilidade e heterogeneidade das populações celulares. Além disso, por interações entre massa celular e o ambiente (meio), como: transferência de nutrientes, produtos e calor.

Entretanto, não é prático ou possível tentar formar um modelo cinético que inclua todos os aspectos e detalhes envolvidos na reação meio/biomassa. Consequentemente, devem ser feitas simplificações a fim de tornar o modelo aplicável. Existe grande dificuldade em se descrever matematicamente essas cinéticas de conversão, pela complexidade dos substratos e pelo envolvimento de diversas populações bacterianas. Por outro lado, modelos matemáticos complexos não são desejáveis, especialmente se eles não conseguem descrever com propriedade as reações de processo envolvidas.

Duas variáveis principais formam a base de todos os modelos biológicos: a concentração de substrato e a concentração de micro-organismos.

O balanço de massa é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se

acumulam em um sistema com limites físicos definidos. O balanço de massa é baseado na Lei da Conservação da Massa, isto é, a massa nunca é criada ou destruída, descrita conforme Equações (1) e (2).

(Entrada-Saída) (Produção-Consumo)

Matematicamente:

$$\frac{d(C.V)}{dt} = (Q.C_0 - Q.C) + (\mu.X_r.V_r - k_d.X_r.V_r) \quad (1)$$

$$C.\frac{dV}{dt} + V.\frac{dC}{dt} = (Q.C_0 - Q.C) + (\mu.X_r.V_r - k_d.X_r.V_r) \quad (2)$$

Nos reatores biológicos, o volume é fixo, ou seja, a taxa de variação do volume com o tempo será nula, Equação (3).

$$\frac{dV}{dt} = 0 \quad (3)$$

em que:

$$V.\frac{dC}{dt} = (Q.C_0 - Q.C) + (\mu.X_r.V_r - k_d.X_r.V_r)$$

Determinação das equações para o cálculo dos coeficientes cinéticos:

Equação (4) do tempo de retenção celular θ_c (d):

$$\theta_c = \frac{V_r x X_r}{(Q.C_0 + Q.C)}; \quad (4)$$

em que:

V_r – volume do reator, (L);

X_r – concentração de micro-organismos (SVT) no reator ($mg\ L^{-1}$);

Q – vazão, ($L\ dia^{-1}$);

C_0 – concentração de DQO_T afluente ($mg\ L^{-1}$);

C – concentração de DQO_T efluente ($mg\ L^{-1}$).

Balanço de massa dos microrganismos: $dC/dt = 0$;

$$V.\frac{dC}{dt} = (Q.C_0 - Q.C) + (\mu.X_r.V_r - k_d.X_r.V_r) \quad (5)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \mu - k_d \quad (6)$$

A Equação (5) é amplamente utilizada no tratamento biológico dos esgotos. Sua grande importância reside na sua forma, que pode representar aproximadamente tanto as cinéticas de ordem zero quanto as de primeira ordem, bem como a transição entre as mesmas. No início de uma reação de decomposição de substrato (matéria orgânica), quando a sua concentração é ainda elevada, não há limitação do mesmo no meio, e a

taxa de remoção global se aproxima da cinética de primeira ordem. À medida que o substrato passa a ser consumido, a taxa de reação inicia seu decrescimento, caracterizando uma região de transição, ou de ordem mista. Quando a concentração de substrato passa a ser limitante, a taxa de reação passa a ser limitada pela pouca disponibilidade do mesmo no meio. Nestas condições, a cinética ocorre como de primeira ordem. Estas duas situações ocorrem em função dos valores relativos da concentração de DQO_T efluente 'C' (mg L⁻¹) e da concentração de substrato limitante 'K_s' (mg DQO L⁻¹).

Empregando a equação cinética de Monod, tem-se:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} x C}{K_s + C} \quad (7)$$

em que:

$$\mu = \mu_{\max} / 2.$$

Combinando a Equação (6) com a Equação (7), tem-se:

$$\frac{1}{\frac{1}{\theta_c} + k_d} = \frac{K_s}{\mu_{\max}} x \frac{1}{C} + \frac{1}{\mu_{\max}} \quad (8)$$

Equação (8) representa uma equação linear para determinação dos parâmetros μ_{\max} e K_s .

Crescimento celular e Utilização do Substrato:

Y – máximo coeficiente de produção (massa de células formadas por massa de substrato consumido).

Relacionando crescimento celular e o substrato limitante:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\mu_{\max} x C x X_r}{(K_s + C) x Y} \quad (9)$$

Efeitos do Metabolismo Endógeno:

$$\frac{dX}{dt} = -k_d \cdot X \quad (10)$$

k_d – coeficiente de decaimento endógeno.

Relacionando a Equação (9) com a Equação (10), tem-se:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\mu_{\max} x C x X_r}{(K_s + C) x Y} - k_d \cdot X \quad (11)$$

Relacionando a Equação (9) com a Equação do balanço de massa (3), tem-se:

$$V \cdot \frac{dC}{dt} = (Q \cdot C_0 - Q \cdot C) + (V_r \cdot X_r) x \frac{dC}{dt} \quad (12)$$

$$-\frac{Q(C_0 - C)}{V_r \cdot X_r} = -\frac{1}{Y} x \mu \quad (13)$$

$$\frac{Q(C_0 - C)}{V_r \cdot X_r} = \frac{1}{Y} x \left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right) \quad (14)$$

$$\frac{Q(C_0 - C)}{V_r \cdot X_r} = \frac{1}{Y} x \frac{1}{\theta_c} + \frac{k_d}{Y} \quad (\text{CHERNICHARO, 2000}) \quad (14)$$

Equação (14) é linear e permite a determinação dos parâmetros Y e k_d .

O método que foi utilizado para examinar a existência de uma relação linear entre duas variáveis envolveu o coeficiente de correlação da amostra 'r'. A estatística de teste para determinar a existência de correlação significativa é dada por:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (\text{LEVINE et al., 2000}).$$

A estatística de teste 't' segue uma distribuição t com $n - 2$ graus de liberdade, sendo:

$$r^2 = \frac{\text{SQ Reg}}{\text{STQ}} \quad (\text{R}_{\text{quadrado}}), \quad r = \sqrt{r^2} \quad (\text{R}_{\text{múltiplo}}) \quad \text{e} \quad n = \text{graus}$$

de liberdade, em que SQReg = soma dos quadrados devida à regressão e STQ = soma total dos quadrados. Para o teste das hipóteses de $H_0: \rho = 0$ (não existe correlação) ou $H_1: \rho \neq 0$ (existe correlação).

Resultados e discussão

A vazão do sistema foi determinada tendo-se como base o tempo de detenção hidráulico adotado. A vazão mínima foi de 213 L h⁻¹, após a fase de estabilização do reator, resultando num TDH mínimo de 44h, e a máxima de 464 L h⁻¹, resultando num TDH de 20h, com valor médio de 322 L h⁻¹.

As variações da DQO_T observadas se deveram às características do efluente e do próprio sistema de tratamento adotado. O valor médio da DQO_T no afluente do reator UASB foi de 2.325,0 mg DQO_T L⁻¹ para todos os TDH's. Os valores médios da DQO_T no efluente do reator UASB, para cada tempo de detenção hidráulica (44, 35, 30, 26 e 20 horas), foram de 677,0; 151,0; 310,0; 745,0 e 1.069,0 mg DQO_T L⁻¹ respectivamente.

As concentrações médias de STV no efluente do reator UASB, para cada tempo de detenção hidráulica (44, 35, 30, 26 e 20h), foram de 1.514,0; 4.087,0; 1.233,0; 881,0 e 1.108,0 mg SVT L⁻¹ respectivamente.

As concentrações médias de STV no interior do reator UASB, determinadas a partir dos pontos de

amostragem ao longo do seu perfil, para cada tempo de detenção hidráulica (44, 35, 30, 26 e 20h), foram de 13.613,0; 14.938,0; 16.353,0; 5.551,0 e 8.974,0 mg SVT L⁻¹ respectivamente. Todos estes dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das concentrações médias de DQO_T afluente (C₀) e efluente (C) ao reator UASB em mg DQO_T L⁻¹, bem como os valores médios de SVT no reator (X_w e X_r) e efluente (X_e) em mg SVT L⁻¹ e também as vazões médias retiradas por amostradores, para cada um dos tempos de detenção hidráulicos.

TDH (h)	Qe (L dia ⁻¹)	Vr (L)	Qw (L dia ⁻¹)	Xe (mg L ⁻¹)	Xw (mg L ⁻¹)	Xr (mg L ⁻¹)	C ₀ (mg L ⁻¹)	C (mg L ⁻¹)
44	212,88	394,0	0,052632	1514,0	13612,8	13612,8	2325,0	677,0
35	266,64	394,0	0,217391	4087,0	14938,2	14938,2	2325,0	151,0
30	309,60	394,0	0,178571	1233,0	16353,4	16353,4	2325,0	310,0
26	356,88	394,0	0,031414	881,0	5551,0	5551,0	2325,0	745,0
20	464,40	394,0	0,084746	1108,0	8973,5	8973,5	2325,0	1069,0

Com base nos valores obtidos na Tabela 1, foram calculados os valores do Tempo de Retenção Celular 'TRC' (dia) e outros índices, para subsidiar o estudo cinético do reator UASB.

A Figura 1 representa o par de coordenadas de onde, por meio de uma análise de regressão linear, obtém-se uma equação da qual são extraídos os valores do coeficiente de crescimento 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ dia⁻¹) e do coeficiente de decaimento endógeno da biomassa 'Kd' (dia⁻¹), presentes no reator UASB.

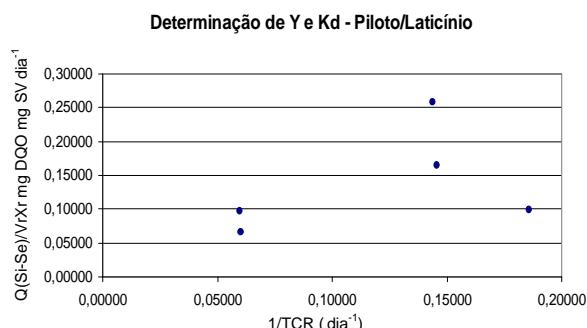


Figura 1. Regressão Linear para determinação do coeficiente de crescimento 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ dia⁻¹) e do coeficiente de decaimento endógeno da biomassa 'Kd' (dia⁻¹), presentes no reator UASB.

A Figura 2 representa o par de coordenadas de onde, por meio da análise de regressão linear, obtém-se uma equação da qual são extraídos os valores da taxa máxima de crescimento ' μ_{\max} ' (dia⁻¹) e da concentração de substrato limitante 'Ks' (mg DQO L⁻¹), presentes no reator UASB.

Os resultados obtidos pela regressão linear para as Figuras 1 e 2 foram:

Equação linear para a Figura 1: $y = 1,5218x + 0,0095$; com $R_{\text{múltiplo}} = 0,88$.

O estudo estatístico para determinar a existência

de correlação utilizada foi o teste de 't' (LEVINE et al., 2000).

Determinação de U(máx) e Ks - Piloto/Laticínio

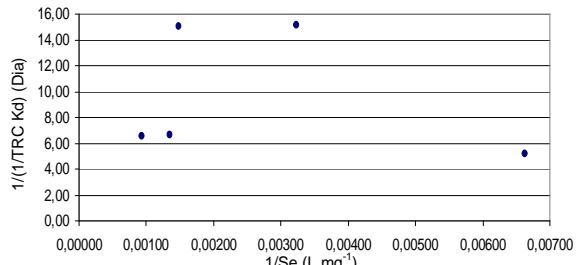


Figura 2. Regressão Linear que representa a taxa máxima de crescimento ' μ_{\max} ' (dia⁻¹) e concentração de substrato limitante 'Ks' (mg DQO L⁻¹), presentes no reator UASB.

Como resultados para a Figura 1, $t = 2,5557$; $t_{n-2} = 1,5332$, utilizando a tabela de valores críticos de 't' com uma área de cauda superior com $\alpha = 0,025$. Então, pode-se concluir que como $t = 2,5557 > t_2 = 4,3027$, rejeita-se H_0 . Uma vez que a hipótese nula foi rejeitada, conclui-se que há evidências de uma associação entre o coeficiente de crescimento 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ dia⁻¹) e o coeficiente de decaimento endógeno da biomassa 'Kd' (dia⁻¹), com nível de significância de 0,025.

Equação linear para a Figura 2: $y = 3377,3x + 4,969$; com $R_{\text{múltiplo}} = 0,70$.

Como resultados para a Figura 2, $t = 1,3817$; $t_{n-2} = 0,8165$, utilizando a tabela de valores críticos de 't' com uma área de cauda superior com $\alpha = 0,25$. Então, pode-se concluir que como $t = 1,3817 > t_2 = 0,8165$, rejeita-se H_0 . Uma vez que a hipótese nula foi rejeitada, conclui-se que há evidências de uma associação entre a taxa máxima de crescimento ' μ_{\max} ' (dia⁻¹) e a concentração de substrato limitante 'Ks' (mg DQO L⁻¹), com nível de significância de 0,25.

Conclusão

As faixas de valores obtidas para os parâmetros cinéticos do reator UASB analisado foram:

- coeficiente de crescimento 'Y' (mg DQO mg SVT⁻¹ dia⁻¹) = $0,5914 \leq Y \leq 0,8214$;
- coeficiente de decaimento endógeno da biomassa 'Kd' (dia⁻¹) = $0,005619 \leq k_d \leq 0,007804$;
- taxa máxima de crescimento ' μ_{\max} ' (dia⁻¹) = $0,1811 \leq \mu_{\max} \leq 0,2516$;
- concentração de substrato limitante 'Ks' (mg DQO L⁻¹) = $611,70 \leq k_s \leq 849,60$.

Agradecimentos

O projeto foi desenvolvido no âmbito Núcleo de Inovação Tecnológica – NIT. Resultado do convênio

celebrado entre a UFLA e a Empresa de base tecnológica Global Ciência e Tecnologia – GCT. Os autores agradecem ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq a concessão de bolsas de Mestrado e PIBIC.

Referências

- APHA-American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 15. ed. Washington, D.C.: APHA, 1995.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2000. 245 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 5).
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística:** teoria e aplicações usando Microsoft® Excel em português. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- METCALF AND EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse.** 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2002.
- SEBRAE-MG. **Diagnóstico da indústria de laticínios do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 1997.
- SEBRAE-MG. **Pesquisa tecnológica para controle ambiental em pequenos e médios laticínios de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 1998. v. 1.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. v. 1.

Received on February 12, 2008.

Accepted on November 13, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.