

II-244 - ESTABILIDADE DE REATORES UASB EM DOIS ESTÁGIOS SUBMETIDOS AO AUMENTO DA CARGA ORGÂNICA NO TRATAMENTO DA VINHAÇA

Fátima Resende Luiz Fia⁽¹⁾

Engenheira Agrícola pela UFLA. Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora do Departamento de Engenharia da UFLA.

Ronaldo Fia⁽²⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela UFV. Doutor em Engenharia Agrícola pela UFV. Professor do Departamento de Engenharia da UFLA.

Emanuel Menezes Gomes⁽³⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFLA.

Cláudio Milton Montenegro Campos⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela UFMG. Doutor em Engenharia Ambiental pela University of Newcastle upon Tyne. Professor do Departamento de Engenharia da UFLA.

Ana Carla de Carvalho⁽⁵⁾

Engenheira Agrícola pela UFLA. Mestre em Engenharia Agrícola pela UFLA.

Endereço: Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG - CEP: 37.200-000 - Brasil - Tel: (35) 3829-1481 - e-mail: fatimarlf@deg.ufla.br; ronadofia@deg.ufla.br; mgeambiental@gmail.com; cmmcampos@deg.ufla.br; accnogueira@yahoo.com.br.

RESUMO

O processo produtivo do etanol e da cachaça geram passivos ambientais tais como a vinhaça. Tendo em vista que esse efluente possui alta carga orgânica, o mesmo se torna um sério problema ao meio ambiente se descartado de maneira inadequada e, ou, sem tratamento prévio. Sendo assim o presente trabalho objetivou avaliar a estabilidade de reatores anaeróbios de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB), em dois estágios subdivididos em duas fases cada, submetidos ao aumento de carga orgânica no tratamento da vinhaça. Os reatores UASB foram construídos em acrílico, com volume útil de 16 litros, possuindo no topo um separador de fases. O sistema foi monitorado durante 401 dias, divididos em dois anos, devido à sazonalidade da vinhaça. Na fase 1 do primeiro ano, foi aplicado no UASB 1, uma taxa de carregamento orgânico (COV) de $7,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1,2 dias, no UASB 2, COV de $4,6 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e TDH também de 1,2 dias. Na segunda fase do primeiro ano o UASB 1 recebeu COV de $3,6 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e TDH de 2,1 dias, e o UASB 2 recebeu COV de $1,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e TDH de 2,1 dias. Já no segundo ano, fase 1, todos os reatores tiveram TDH de 1,1 dias, o UASB 1 trabalhou com COV de $6,0 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e o UASB2 com COV de $3,2 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO, na fase 2 o TDH foi 0,6 dias para ambos os reatores, sendo que o UASB1 teve COV de $11,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e no UASB2 foi aplicada uma COV de $6,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO. Durante a maior parte do monitoramento, os valores de alcalinidade bicarbonato efluente dos reatores UASB foram iguais à zero, com exceção da Fase II do primeiro ano de monitoramento, que se mostrou mais estável. Na Fase II foi verificado o melhor desempenho das unidades na remoção de matéria orgânica, sendo que as eficiências médias de remoção de DQO dos reatores UASB1 e UASB2, para COVs médias de $3,6$ e $1,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO e TDHs de 2,1 e 2,1 dias foram de 52 e 52%, respectivamente. A eficiência média global dos reatores em série foi de 76%. Estas COVs promoveram geração de alcalinidade bicarbonato e um menor acúmulo de ácidos nos reatores, o que demonstrou um possível equilíbrio entre as comunidades acidogênicas e metanogênicas.

PALAVRAS-CHAVE: Reator anaeróbio, efluente agroindustrial, alcalinidade.

INTRODUÇÃO

A vinhaça é um subproduto originário do processo de fermentação da cana-de-açúcar para produção de etanol e, ou, cachaça. É caracterizado como um efluente de alta capacidade poluidora e muito rico em nutrientes tais como nitrogênio, fósforo e potássio. Por muitos anos a vinhaça foi lançada de maneira indiscriminada em cursos d'água. Entretanto, recentemente tem se observado que sua utilização, como fertilizante para adubação de lavouras de cana, tem se elevado. A utilização deste produto em natura, em quantidades controladas tem

demonstrado uma melhora significativa na produtividade agrícola. Se tornando uma boa alternativa para a disposição deste resíduo.

Apesar da disposição da vinhaça no solo ser uma medida de grande benefício do ponto ambiental e da produção agrícola, ela esbarra em algumas limitações técnicas devido à grande quantidade de vinhaça gerada, cerca de 10 a 15 litros por litro de etanol, e de suas características físico químicas tais como baixo pH e elevada carga orgânica e concentração de potássio. Condições essas que fazem com que este efluente seja considerado um dos resíduos agroindustriais de maior potencial poluidor (DAMIANO, 2005). Ainda segundo a CONAB (2013) a produção Brasileira de etanol na safra 2013/2014 foi de 27,17 bilhões de litros, o que gerou em torno de 271,70 a 407,55 bilhões de litros de vinhaça em apenas uma safra. Observa-se, portanto, a necessidade de avaliação de diferentes tratamentos deste efluente antes de sua destinação final no ambiente.

Segundo WEBER (2006), o emprego de sistemas biológicos anaeróbios possui várias vantagens quando comparado com os sistemas biológicos aerados, tais como, menor consumo de energia, menor produção de lodo, necessidade de uma menor área para a implementação do sistema e a potencial utilização do biogás como fonte de energia. Além de seu potencial energético devido à conversão da matéria orgânica da vinhaça em metano, o tratamento anaeróbico pode minimizar possíveis acidentes no manuseio do resíduo e facilita sua aplicação na lavoura na medida em que neutraliza o pH do efluente (VIANA, 2006).

Um importante fator a ser observado no tratamento de efluentes em sistemas anaeróbios é a alcalinidade, pois as altas concentrações de matéria orgânica podem gerar uma elevação nos teores de ácidos voláteis na medida em que a matéria orgânica é degradada, o que pode consumir a alcalinidade presente. Sendo assim, a capacidade da alcalinidade de tamponar estes ácidos é muito importante no monitoramento da estabilidade dos sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes. Segundo METCALF e EDDY (2003) a faixa de pH na qual são proporcionadas condições ideais para sobrevivência dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica encontra-se entre 6 e 9, e o mesmo autor também relata que para que o processo de digestão anaeróbia ocorra de forma satisfatória, a alcalinidade deverá se situar na faixa de 1.000 a 5.000 mg L⁻¹ de CaCO₃. Sendo assim, pode se afirmar que o sucesso da degradação anaeróbia da vinhaça depende da manutenção de concentrações adequadas de bicarbonato e do impedimento de concentrações excessivas de ácidos voláteis.

O presente trabalho objetivou, portanto, avaliar a estabilidade de reatores anaeróbios de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB), em dois estágios, submetidos ao aumento de carga orgânica no tratamento da vinhaça.

METODOLOGIA

Os dois reatores anaeróbios de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB) foram construídos em acrílico e com características idênticas, com diâmetro interno de 0,18 m, altura total de 0,8 m e volume útil de 16 litros, possuindo no topo um separador trifásico. A vinhaça, proveniente do alambique da Cachaça Bocaina, localizado no município de Lavras-MG, depois de diluída e tendo seu pH corrigido com carbonato de sódio ou hidróxido de sódio para valores próximos a 7 foi aplicada na base do reator UASB1, em escoamento ascendente, por meio de uma bomba dosadora tipo solenoide e em seguida o efluente escoava por gravidade para o segundo reator UASB2.

Devido à sazonalidade desta água residuária, o sistema foi monitorado durante dois anos, sendo que em cada ano o sistema foi avaliado com duas diferentes cargas orgânicas volumétricas (COVs), o que resultou em duas fases de monitoramento em cada ano. No primeiro ano, a partida do sistema ocorreu no dia 10 de agosto de 2012 e o monitoramento se estendeu até 8 de março de 2013 (211 dias de monitoramento). A partida dos reatores anaeróbios de manta de lodo foi realizada com lodo proveniente de um reator UASB, em escala piloto, utilizado no tratamento da água residuária da suinocultura, localizado no setor de suinocultura da UFLA. No início, a carga orgânica volumétrica (COV) e o tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicados no UASB 1 foram de 7,7 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO e 1,2 dias e com a estabilidade do desempenho das unidades, o carregamento orgânico seria aumentado e o TDH reduzido gradativamente, com aumento da vazão. No entanto, esta COV foi alta para o período de aclimatização dos microrganismos (*start up*) e resultou no desequilíbrio do sistema. Diante disso, optou-se pela redução da COV e aumento do TDH. Esta primeira fase foi conduzida do dia 10 de agosto de 2012 até o dia 25 de outubro de 2012, totalizando 77 dias de monitoramento do sistema. A Fase II foi conduzida do dia 01 de novembro de 2012 até 08 de março de 2013

(quando terminou a água residuária que estava armazenada), totalizando 123 dias de monitoramento do sistema.

Em julho de 2013, com o retorno das atividades de processamento da cana-de-açúcar (segundo ano de monitoramento), o sistema voltou a funcionar com a carga aplicada na primeira fase do primeiro ano, e a mesma foi mantida até 29 de novembro de 2013 (Fase I). Em seguida aumentou-se a COV aplicada nos reatores e o monitoramento do sistema se estendeu até 13 de janeiro de 2014, quando acabou a vinhaça armazenada. As COVs e os tempos de detenção hidráulica (TDHs) aplicadas em cada fase encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Vazão e tempos de detenção hidráulica (TDH) aplicados no UASB1 e UASB2 durante as duas fases dos dois anos de monitoramento.

Ano	Fase	TRH (dias)		COV (kg m ⁻³ d ⁻¹)	
		UASB1	UASB2	UASB1	UASB2
I (211 dias)	I	1,2 ± 0,7	1,2 ± 0,7	7,7±3,9	4,6±1,3
	II	2,1 ± 1,2	2,1 ± 1,2	3,6±1,2	1,7±0,6
II (190 dias)	I	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	6,0±2,4	3,2±1,1
	II	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	11,7±3,9	6,7±1,3

Durante todo período de avaliação foram monitorados no afluente e efluente de todas as unidades, o pH e a temperatura que são variáveis de controle fundamentais para que se obtenha bom desempenho dos reatores. Para avaliar a estabilidade do sistema foram monitorados os afluentes e efluentes de cada reator por meio da determinação da demanda química de oxigênio (DQO) (APHA et al., 2005). As análises de alcalinidade foram realizadas segundo metodologia de Dillalo e Albertson (1961) modificado por RIPLEY et al. (1986).

RESULTADOS

A temperatura média afluente e efluente dos reatores ficou próxima de 22°C na Fase I e de 26°C na Fase II dos dois anos de monitoramento, mostrando assim que o sistema permaneceu na faixa mesofílica, considerada adequada ao processo anaeróbio. Comparando as Fases I e II durante os dois anos de monitoramento, verifica-se um aumento de temperatura na Fase II, visto que o monitoramento destas fases ocorreu entre o final da primavera e o início do verão (períodos de maiores temperaturas na região).

Analisando a Tabela 2 e as Figuras 1 e 2, pode-se observar que os valores médios de pH, tanto na primeira quanto na segunda fase dos dois anos de monitoramento do experimento, que ocorreram variações bruscas e, que apesar de ter sido feita a correção do pH com carbonato de sódio ou hidróxido de sódio, observa-se valores de pH considerados ácidos (pH < 7) ao longo do monitoramento e que podem comprometer a estabilidade dos reatores anaeróbios. Segundo METCALF e EDDY (2003) a faixa de pH na qual são proporcionadas condições ideais para sobrevivência dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica encontra-se entre 6 e 9. Os baixos valores (valores mínimos) observados no efluente dos reatores UASB devem-se, provavelmente, ao acúmulo de ácidos voláteis gerados durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica, o que resultou no consumo da alcalinidade do sistema e não foi capaz de tamponar o pH do meio.

Tabela 2: Valores médios e desvio-padrão do pH, alcalinidade total (AT), alcalinidade bicarbonato (AB) e ácidos voláteis (AV) no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1 e UASB 2 para as fases de monitoramento do sistema

Ano	Fase	Variável	Pontos		
			Afluente	E.UASB1	E.UASB2
I	I	pH	6,0±1,5	6,1±1,3	6,1±1,1
		AT	512±364	629±429	612±432
		AB	156±146	114±120	81±125
		AV	602±316	825±412	911±437
	II	pH	6,0±0,5	6,6±0,9	7,2±0,6
		AT	786±338	810±311	999±308
		AB	139±207	188±215	720±406
		AV	1020±525	1014±390	393±265
II	I	pH	6,8±1,6	6,1±1,7	6,0±1,6
		AT	640±351	686±297	748±310
		AB	263±278	77±211	248±332
		AV	617±280	1267±438	1169±626
	II	pH	7,9±2,7	6,2±2,6	5,8±2,0
		AT	633±222	551±168	550±269
		AB	262±221	114±239	89±177
		AV	518±268	1089±505	1207±450

AT e AB = mg L⁻¹ de CaCO₃ e AV = mg L⁻¹ de HAc

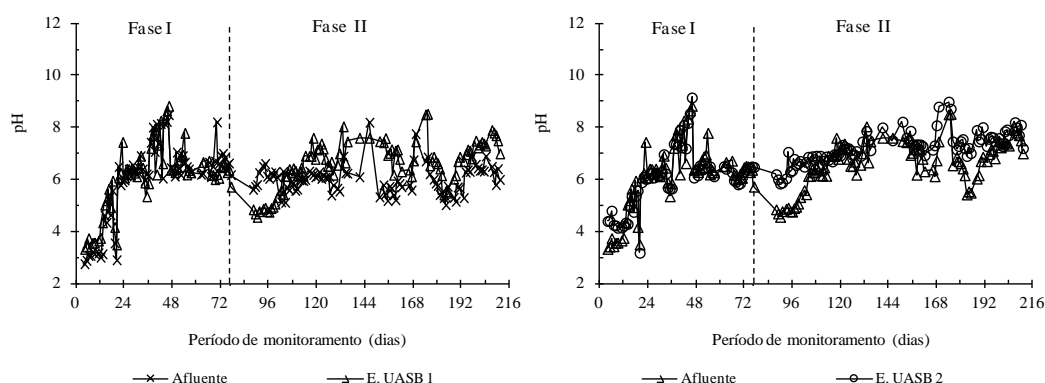


Figura 1: Variação dos valores médios de pH observados no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1 e UASB 2 durante o primeiro ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)

No monitoramento de reatores anaeróbios os parâmetros alcalinidade total (AT) e ácidos voláteis (AV) podem ser usados para determinar a estabilidade de reatores anaeróbios, visto que, o sucesso da operação, depende da manutenção de concentrações adequadas de bicarbonato e impedimento de concentrações excessivas de ácidos voláteis.

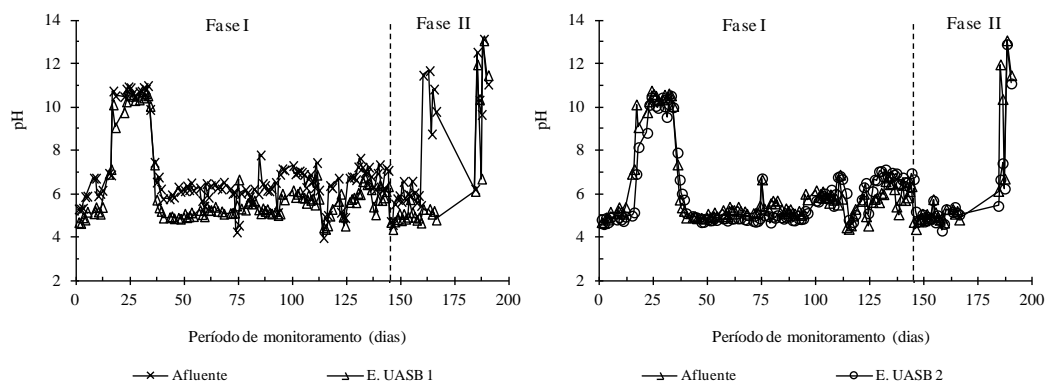


Figura 2: Variação dos valores médios de pH observados no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1 e UASB 2 durante o segundo ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)

Segundo GRADY e LIM (1980), para a maioria dos casos práticos, uma alcalinidade total entre 2.500 e 5.000 mg L^{-1} de CaCO_3 é suficiente para se obter um adequado poder tampão na unidade de tratamento. METCALF e EDDY (2003) fizeram afirmação semelhante, de que, para que o processo de digestão anaeróbia ocorra de forma satisfatória, a alcalinidade deverá se situar na faixa de 1.000 a 5.000 mg L^{-1} . Nota-se que os valores encontrados no presente trabalho ficaram bem abaixo dos valores recomendados por estes autores, o que provavelmente pode justificar as baixas eficiências de remoção de DQO dos reatores observadas durante as diferentes fases do monitoramento (Figuras 3 e 4 e Tabela 3).

Observam-se na Tabela 2 que os valores de AV em relação à AT, no geral, sempre foram maiores nos efluentes dos reatores UASB, o que demonstra que ocorreu um acúmulo de ácidos no processo que consequentemente resultou em consumo de alcalinidade e na quebra do poder de tamponamento do sistema, sendo um indicativo de desequilíbrio do processo.

A alcalinidade bicarbonato (AB) é outro fator que demonstra a falta de estabilidade dos reatores UASB. Como se pode observar (Tabela 2), durante a maior parte do monitoramento, os valores de AB efluente dos reatores UASB foram baixos ou próximos de zero, com exceção da Fase II do primeiro ano de monitoramento, que se mostrou mais estável. Esta maior estabilidade observada na Fase II pode ser atribuída à redução da carga orgânica volumétrica (COV) aplicada aos reatores UASB1 e UASB2 de 7,7 e 4,6 $\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ de DQO (Fase I) para 3,6 e 1,7 $\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ de DQO (Fase II), respectivamente.

A redução da COV refletiu em uma melhora na eficiência de remoção de DQO na Fase II do primeiro ano de monitoramento. Nesta fase foi verificado o melhor desempenho das unidades na remoção de matéria orgânica, sendo que as eficiências médias de remoção de DQO dos reatores UASB1 e UASB2, para COVs médias de 3,6 e 1,7 $\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ de DQO e TDHs de 2,1 e 2,1 dias foram de 52 e 52%, respectivamente. A eficiência média global dos reatores em série foi de 76%. Acredita-se que estas COVs promoveram um menor acúmulo de ácidos nos reatores e a geração de alcalinidade bicarbonato, o que demonstra um possível equilíbrio entre as comunidades acidogênicas e metanogênicas e, possivelmente, refletiu nesta melhora do desempenho.

Diante disso, constata-se que a COV pode ser considerada um fator limitante ao processo de tratamento anaeróbio da vinhaça. No entanto, deve-se levar em consideração que a vinhaça é um efluente rico em compostos fenólicos (CABELLO et al., 2009) que podem dificultar ou mesmo inibir o desenvolvimento microbiano (FIA et al., 2010).

DOLL e FORESTI (2010) verificaram a capacidade de um reator anaeróbio em batelada sequencial no tratamento da vinhaça e obtiveram na fase de partida (COV = 0,85 $\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ de DQO) 43% de remoção de DQO a 35°C de temperatura. CABELLO et al. (2009) verificaram que reator anaeróbio de leito fluidizado foi capaz de remover 54% da DQO ao ser aplicado um TDH de 2,55 dias para uma concentração afluente de 10.396 mg L^{-1} de DQO. Assim, constata-se que mesmo sendo operado com maiores COVs, os reatores apresentaram eficiências compatíveis com as obtidas na literatura.

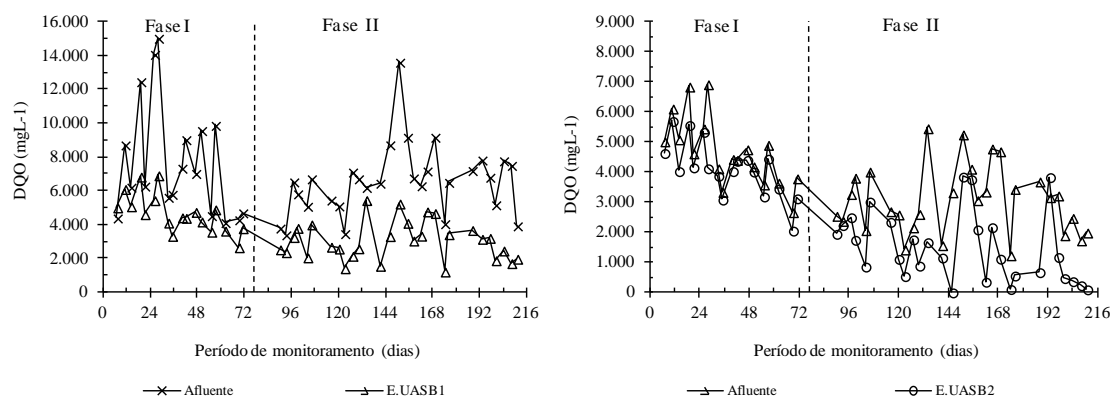


Figura 3: Variação dos valores médios de DQO no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1 e UASB 2 durante o primeiro ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)

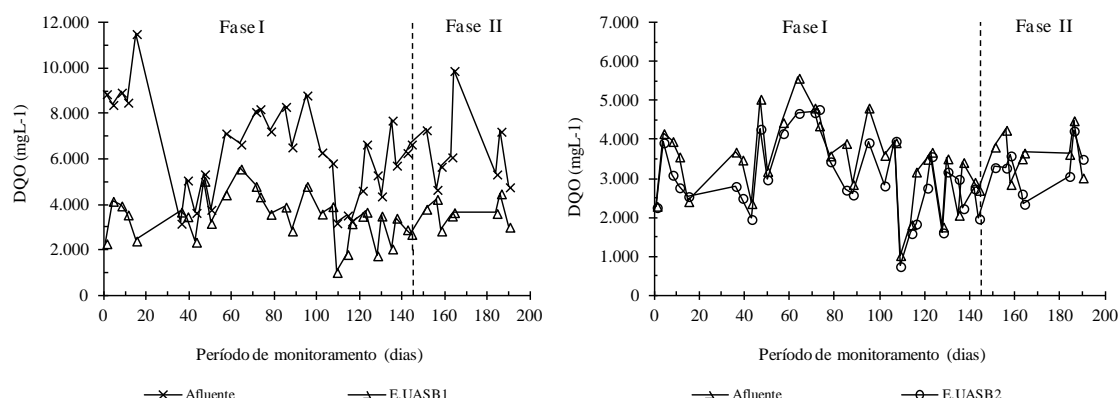


Figura 4: Variação dos valores médios de DQO no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1 e UASB 2 durante o segundo ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)

Tabela 3: Valores médios e desvio-padrão da eficiência de remoção de DQO nos reatores UASB 1 e UASB 2 durante o período de monitoramento do sistema

Ano	Fase	DQO (%)	
		UASB1	UASB2
I	I	35±17	12±10
	II	52±15	52±30
II	I	43±21	14±12
	II	40±16	15±13

CONCLUSÕES

Durante a maior parte do monitoramento, os valores de alcalinidade bicarbonato efluente dos reatores UASB foram iguais à zero, com exceção da Fase II do primeiro ano de monitoramento, que se mostrou mais estável.

Na Fase II foi verificado o melhor desempenho das unidades na remoção de matéria orgânica, sendo que as eficiências médias de remoção de DQO dos reatores UASB1 e UASB2, para COVs médias de 3,6 e 1,7 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO e TDHs de 2,1 e 2,1 dias foram de 52 e 52%, respectivamente. A eficiência média global dos reatores em série foi de 76%. Estas COVs promoveram geração de alcalinidade bicarbonato e um menor acúmulo de ácidos nos reatores, o que demonstrou um possível equilíbrio entre as comunidades acidogênicas e metanogênicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Fapemig pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].

CABELLO, P. E. et al. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidizado. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 6, n. 1, p. 321-338., 2009.

CONAB, Acompanhamento Da Safra Brasileira, Cana De Açúcar, 2013/2014. Disponível em: www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf. Acesso em: 30 de abril de 2015.

DAMIANO, E. S. G. Tratamento da vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidificado. Dissertação (Mestrado). EESC-USP, São Carlos. 98 p. 2005.

DÖLL, M. M. R.; FORESTI, E. Efeito do bicarbonato de sódio no tratamento de vinhaça em AnSBRR operado a 55 e 35°C. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, p. 275-282, 2010.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T. de; BORGES, A. C.; MOREIRA, D. A.; FIA, R.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1079-1086, 2010 .

GRADY C. P. L. JR AND LIM H. C. (1980). *Biological Wastewater Treatment*, Chap. 12. Dekker, New York.

METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4th.

RIPLEY, L.E; BOYLE, W.C; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*, Alexandria, v. 8, n. 5, p. 406-411, May 1986.

VIANA, A. B. *Tratamento anaeróbio da vinhaça em reator UASB operado em temperatura na faixa termofílica (55° C) e submetido ao aumento progressivo da carga orgânica*. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

WEBER, M. I. *Avaliação da eficiência de um reator anaeróbio de leito fluidizado para tratamento de resíduos líquidos da indústria de refrigerantes*. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. 166 p. 2006.