

PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO EM REATOR EGSB COM LODO FLOCULENTO

Mario T. Kato, Lourdinha Florencio e Ricardo F.M. Arantes

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Escola de Engenharia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Saneamento Ambiental. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária. 50740-530 Recife, Pernambuco, Brasil. Tel.: +55 81 3271-8743 / 8742 / 8228. Fax: +55 81 3271-8219 / 8205. E-mail:kato@npd.ufpe.br

RESUMO

O desempenho de um reator tipo EGSB, para o pós-tratamento de efluente de reator UASB tratando esgoto sanitário, foi estudado durante um período de cerca de 300 dias, em escala piloto (volume reativo de 157,5 L). Estudos prévios mostraram, aparentemente, a viabilidade desse reator para o pós-tratamento. Embora concebido para o uso com lodo granular e imposição de alta velocidade líquida ascensional, o EGSB com o uso de lodo floculento da ETE Mangureira, Recife, mostrou-se também adequado para os requisitos de alta turbulência para promover o adequado contato biomassa-substrato e, muito importante, de alta retenção de biomassa. Para um Θ_h fixado em 4 horas, variou-se a velocidade ascensional (1,25 m/h; 2,50 m/h; 3,75 m/h) usando-se a recirculação do efluente. Os valores médios de DQO efluente para todas as 3 condições de velocidade ficaram abaixo de 87 mg/L e 55 mg/L, para amostras bruta e filtrada, respectivamente. Isto representou uma eficiência de cerca de 70% comparando-se a DQO afluente bruta e DQO efluente filtrada; e as concentrações médias de SST efluente ficaram abaixo de 32 mg/L. A estabilidade verificada ao longo do período experimental reforçou o excelente desempenho do EGSB para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, mesmo com o uso de lodo floculento.

PALAVRAS CHAVE

Efluente anaeróbio; esgotos sanitários; lodo floculento; pós-tratamento; reator EGSB; remoção de DQO e SST remanescente.

INTRODUÇÃO

O reator conhecido como EGSB (*expanded granular sludge bed*) foi concebido a partir da necessidade de se aperfeiçoar o UASB (*upflow anaerobic sludge bed*), devido a ocorrência neste reator, na prática, de problemas como fluxos preferenciais, curto-circuitos hidráulicos e zonas mortas. As altas velocidades ascensionais que pode-se impor no reator EGSB quando se utiliza lodo granular, podem alcançar valores acima de 10 m/h, em contraste com as do reator UASB, em geral abaixo de 1,5 m/h, mais comumente entre 0,5 e 1,0 m/h. As altas velocidades líquidas ascensionais no EGSB podem ser obtidas através do uso de uma relação altura/diâmetro maior e do uso de recirculação do efluente, se for necessário.

O aumento da velocidade ascensional resulta num aumento da energia de contato entre as diversas partículas presentes no interior do reator, sendo mais importante o conseqüente maior grau de mistura entre a biomassa e o esgoto (Kato et al., 1994; van Lier et al., 1997). Adicionalmente, em reatores UASB o leito de lodo comporta-se mais ou menos como um leito estático, problema minimizado nos reatores EGSB. Estes, quando o leito é completamente expandido, são considerados como de mistura completa (Kato et al., 1999a). Entretanto, a expansão total do leito nem sempre é necessária.

Em geral, o sistema de separação de sólidos no EGSB deve ser mais sofisticado, pois devido as suas características hidrodinâmicas, há o risco de perder a biomassa com o efluente, que em pouco tempo reduziria drasticamente a sua quantidade no reator, o que resultaria em uma queda de eficiência (Kato et al., 1999b). Uma outra característica é a maior produção de biogás que ocorre em função da maior atividade resultante do melhor contato devido aos fatores hidráulicos; o biogás, por sua vez, auxilia ainda mais para uma maior intensidade da mistura interna no reator. Van der Last e Lettinga (1991) observaram uma diminuição na taxa de remoção de DQO durante a época de inverno no tratamento de esgotos domésticos pré-sedimentados. Atribuiu-se este fato à natural menor atividade metanogênica e conseqüentemente, à menor produção de biogás; entretanto, associou-se o pouco biogás como fator significativo para a diminuição na intensidade da mistura hidráulica.

O EGSB tem sido estudado isoladamente em pesquisas para o tratamento de esgotos predominantemente solúveis e de baixas concentrações, apesar de suas potencialidades para uma ampla faixa de aplicabilidade, em termos de natureza de efluente (simples ou complexo) e de concentração (baixa ou elevada). Esgotos provenientes de matadouro foram estudados por Núñez e Martinez (1999), resultando em remoção de DQO (demanda química de oxigênio) de 67% para uma carga orgânica volumétrica (C_v) aplicada da ordem de 15 kg DQO/m³.d. Efluentes de baixa concentração contendo etanol foram estudados por Kato et al. (1994). A eficiência de remoção de DQO foi de aproximadamente 80% para valores de C_v acima de 12 kg DQO/m³.d, com concentrações afluentes tão baixas como 100 a 200 mg DQO/L. Esses resultados demonstraram a vantagem do uso de reatores EGSB para o tratamento anaeróbio de esgotos de baixa concentração, quando se utiliza lodo granular. Trabalhos de outros autores também demonstram as potencialidades do reator EGSB para diversas aplicações (Kurusu et al., 1997; Lettinga et al., 1999).

Até o presente, entretanto, o reator EGSB não tem sido estudado extensivamente para o uso em tratamento ou pós-tratamento de esgotos domésticos. Isso pode ser atribuído a sua aparente não adequação para efluentes com alta concentração de sólidos suspensos, bem como a necessidade de uso de lodo floculento de UASB. Em geral se desenvolve lodo floculento nestes reatores, os quais via de regra, serão utilizados como inóculos dos reatores EGSB, no caso de esgotos domésticos. Wang et al. (1997) apresentaram os resultados da utilização do reator EGSB para o pós-tratamento de esgotos domésticos, provenientes de um reator hidrolítico de fluxo ascendente. O conjunto apresentou uma eficiência de remoção de 70% para a DQO e de 83% para sólidos suspensos totais (SST) a temperaturas acima de 15 °C. Para temperatura de 12 °C e tempo de detenção hidráulica (Θ_h) de 5h, a eficiência de remoção foi de 51% para a DQO e de 76% para SST.

Estudos prévios com o uso de reator EGSB com lodo floculento para o pós-tratamento de efluente anaeróbio demonstraram que o desempenho foi relativamente satisfatório, em experimentos de curta duração (Vieira et al., 2000). Para concentrações de DQO bruta afluente na faixa entre 300 e 350 mg/L, as eficiências de remoção ficaram entre 38% e 62% para a DQO

efluente bruta, entre 62 e 74% para a DQO efluente filtrada e entre 45% e 92% para sólidos suspensos voláteis (SSV), quando operados com Θ_h entre 2 e 4 h, com velocidades ascensionais entre 1,25 m/h e 7,63 m/h.

Tendo em vista a necessidade de se avaliar o uso do reator EGSB para o pós-tratamento de efluentes anaeróbios a longo termo, este trabalho teve como objetivo dar continuidade aos trabalhos prévios, enfocando o desempenho para a remoção de DQO e sólidos suspensos, bem como a sua estabilidade operacional.

METODOLOGIA

Os trabalhos experimentais foram realizados em uma unidade piloto, implantada junto à estação de tratamento de esgotos (ETE), localizado no bairro da Mangueira em Recife, Pernambuco. A ETE era composta de um reator UASB e de uma lagoa de polimento e atendia uma população de cerca de 13 500 habitantes servida por rede condominial. O reator UASB possuía um volume total de 810 m³, dividido em 8 células que operavam em paralelo. O valor de projeto de Θ_h no reator era de 8 h e na lagoa de 3,5 d.

A unidade piloto foi construída ao lado da caixa de areia da ETE. O reator EGSB possuía uma altura de 5 m e um volume reativo de 157,5 L. O decantador possuía um volume de 243,5 L e uma altura de 1 m, perfazendo todo o conjunto um volume total de 401 L e uma altura total de 6 m. O reator foi construído em PVC revestido externamente com fibra de vidro. Foram instalados 10 registros ao longo do reator, para permitir a coleta de amostras e medir a concentração de sólidos durante as diversas fases de pesquisa, para a obtenção do perfil do lodo. Na parte superior da câmara de sedimentação foi acoplado um medidor de gás. O biogás coletado passava previamente numa solução de NaOH 7,5% para a remoção de CO₂ e posteriormente num medidor Alexander Wright modelo DM3A. A Figura 1 mostra um esquema da unidade piloto.

O reator piloto recebia o efluente de uma das células do reator UASB em escala real, coletado num canal externo e conduzido por gravidade até um recipiente de 200 L, a partir do qual uma bomba alimentava o EGSB. A bomba de alimentação do reator piloto era da marca Flender ATB – Loher AFT 63/4A – 7R; quando era utilizada a recirculação, o efluente do reator era lançado em um segundo recipiente de 200 L, e recirculado através de uma segunda bomba de mesmas características.

O principal parâmetro de projeto e operação foi a velocidade ascensional do líquido, o que implicou em variar a vazão de recirculação, uma vez que foi fixado o Θ_h em 4 horas, com base nos resultados dos estudos prévios (Vieira et al., 2000). Foram adotadas 3 taxas de recirculação diferentes (0, 1 e 2), que resultaram em velocidades ascensionais do líquido variáveis, conforme apresentados na Tabela 1.

As amostras eram do tipo simples, sendo coletadas na entrada e na saída do reator EGSB, durante 3 vezes por semana em média. As análises foram feitas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE, cujo *campus* se situava próximo à ETE Mangueira. Os parâmetros determinados foram pH, temperatura, SST, sólidos suspensos voláteis (SSV), DQO total, DQO filtrada, NTK, nitrogênio amoniacal e ácidos graxos voláteis (AGV). Os dois primeiros, juntamente com a vazão, eram medidos diariamente no local; sólidos e DQO eram determinados 3 vezes por semana; e os demais eventualmente. As amostras de DQO filtrada foram feitas utilizando-se o papel de filtro de 1,2 µm, enquanto que os sólidos suspensos foram feitos utilizando a membrana de fibra de vidro

de 0,45 μm . Ao final de cada fase, foram coletadas amostras de lodo em cada registro, para se determinar sólidos e obter o perfil de lodo. Todas as análises foram feitas de acordo com os *Standard Methods* (AWWA/ APHA/ WEF, 1995).

Tabela 1 – Condições operacionais impostas ao reator piloto EGSB (valores nominais)

Fase	Sub-Fase	Q afluente (L/h)	Q recirculação (L/h)	Velocidade ascensional (m/h)
Única ($\Theta_h = 4\text{ h}$)	1	39,375	0,000	1,25
	2	39,375	39,375	2,50
	3	39,375	78,750	3,75

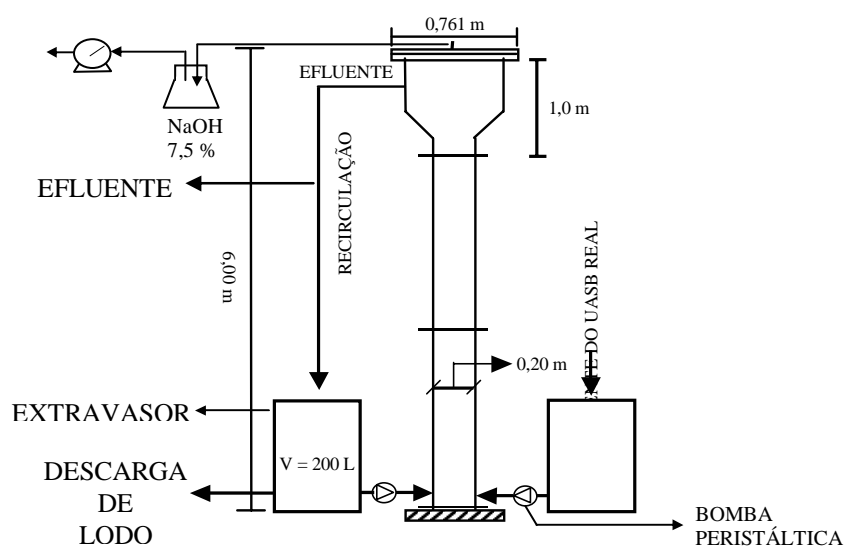


Figura 1 – Desenho esquemático do reator EGSB piloto

O experimento foi conduzido durante um período de cerca de 300 dias, sendo 100 dias aproximadamente para cada sub-fase. O inóculo para este experimento foi o mesmo lodo existente no reator piloto durante a última fase dos estudos prévios (Vieira et al., 2000), de apenas 4,6 g SSV/L de reator.

As características médias do afluente do EGSB durante o experimento são apresentadas na Tabela 2. O cálculo de eficiência de remoção de DQO foi baseado na diferença entre DQO bruta (total) do afluente e efluente (eficiência DQO efluente total) e DQO bruta afluente e DQO filtrada do efluente (eficiência DQO efluente filtrada).

Tabela 2 – Características médias do afluente do reator piloto EGSB

Sub-Fase	Temperatura (°C)	pH	DQO total (mgO ₂ /L)	DQO filtr (mgO ₂ /L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
1 (0 a 113 dias)	29,7 ± 1,7	6,9 ± 0,1	126 ± 53	56 ± 22	94 ± 68	42 ± 27
2 (114 a 206 dias)	30,3 ± 2,0	6,7 ± 0,2	180 ± 50	79 ± 31	115 ± 67	54 ± 29
3 (207 a 331 dias)	32,0 ± 1,9	6,9 ± 0,2	156 ± 48	55 ± 19	123 ± 70	63 ± 30

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais características médias do efluente do reator piloto EGSB, bem como a eficiência de remoção de DQO e de sólidos suspensos, são apresentadas na Tabela 3. As variações das concentrações de DQO afluente e efluente se encontram na Figura 2; as de eficiência de remoção de DQO, na Figura 3; e as de SST e SSV no efluente, na Figura 4.

Tabela 3 – Características médias do efluente do reator piloto EGSB

Sub-Fase	Veloc. ascensional (m/h)	DQO		Eficiência remoção de DQO		SST (mg/L)	SSV	
		Total (mgO ₂ /L)	Filtrada (mgO ₂ /L)	Total (%)	Filtrada (%)		(mg/L)	Eficiência (%)
1	1,23 ± 0,01	68 ± 29	42 ± 21	43	65	18 ± 10	13 ± 8	63
2	2,47 ± 0,03	87 ± 21	55 ± 22	48	68	11 ± 4	8 ± 3	82
3	3,83 ± 0,06	79 ± 26	44 ± 15	48	70	32 ± 21	24 ± 17	59

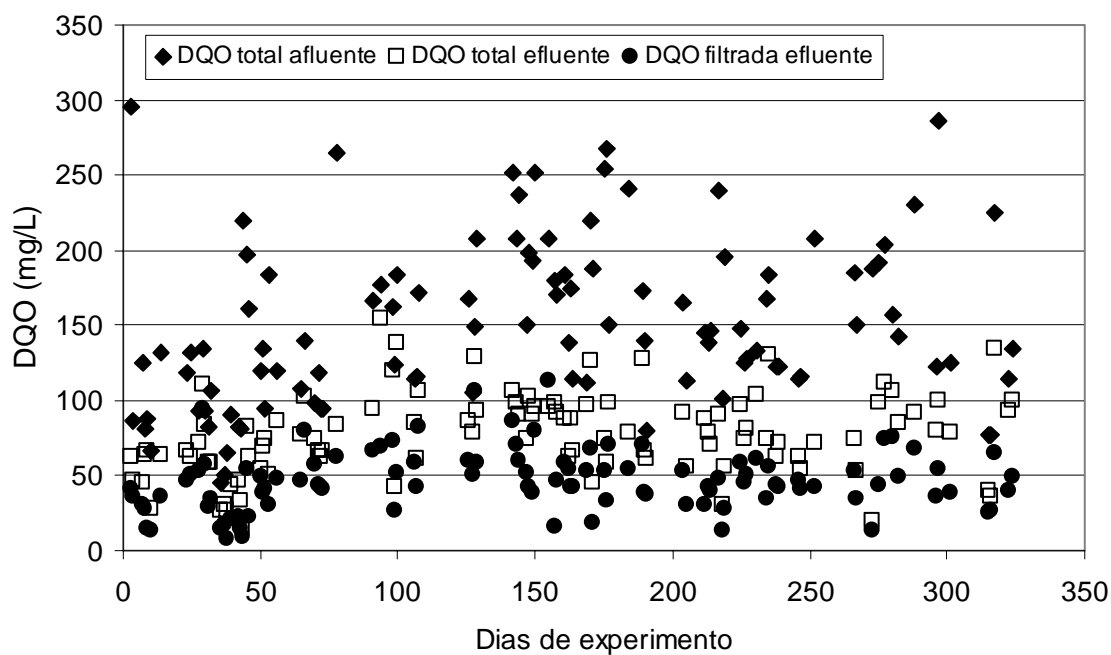


Figura 2 – Variações de concentrações de DQO no afluyente e efluente no reator piloto EGSB

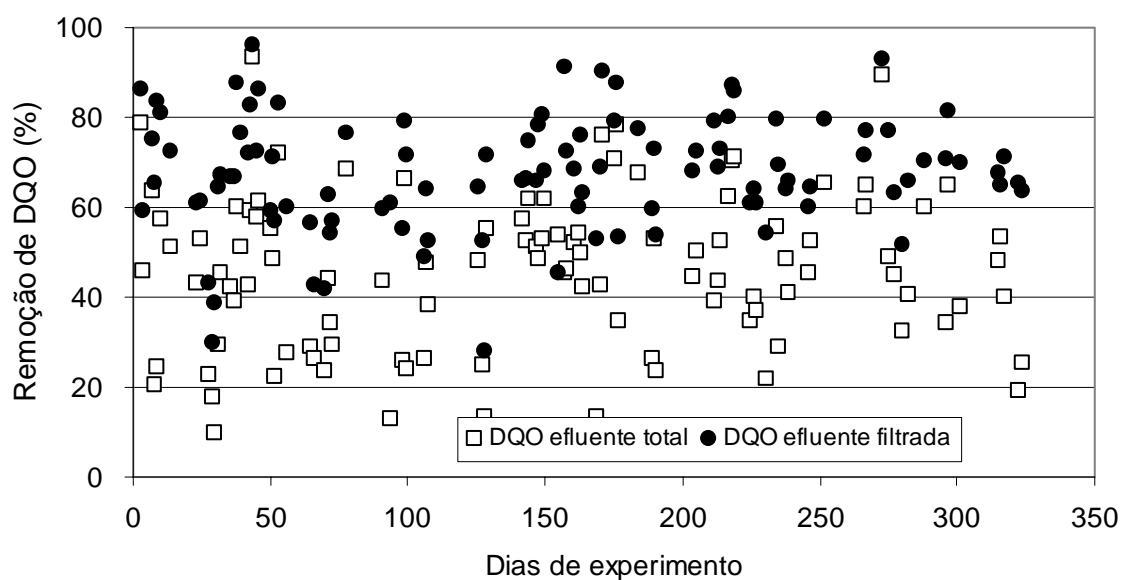


Figura 3 – Eficiência de remoção de DQO no reator piloto EGSB

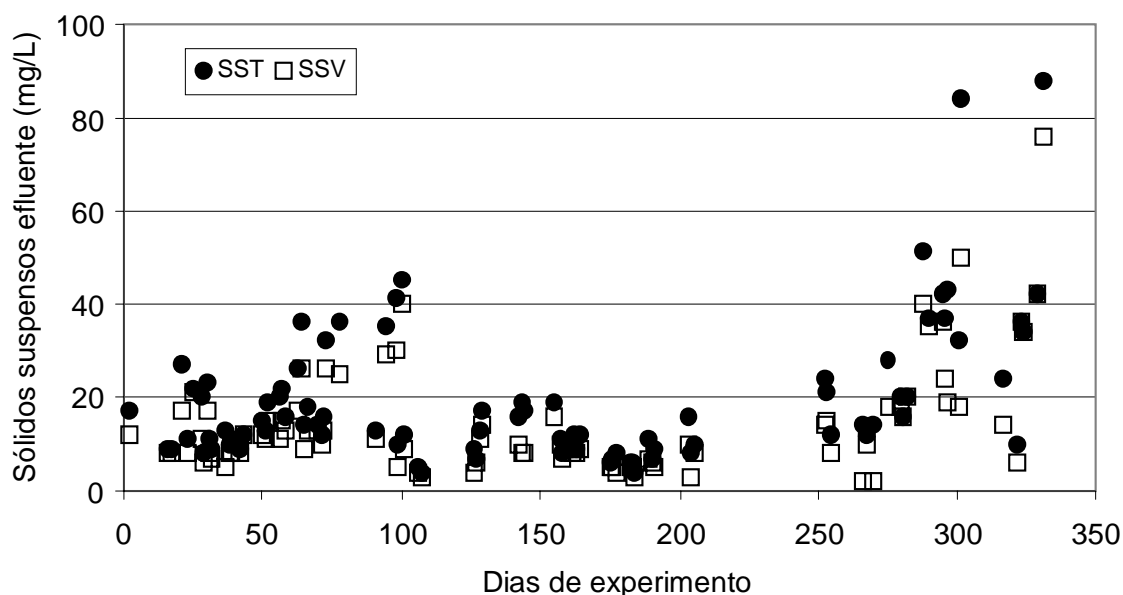


Figura 4 – Variações de concentrações de SST e SSV no efluente no reator piloto EGSB

Ao longo do experimento, observou-se que o reator piloto, sob as diferentes condições operacionais em termos de velocidades ascensionais e consequentemente, de regime hidráulico, apresentou-se muito estável, sem apresentar variações bruscas na eficiência de remoção de DQO e nos valores de sólidos suspensos no efluente.

Os resultados apresentados na Tabela 3 e Figuras 2 a 4, demonstram portanto, que não houve variação significativa devido às mudanças de regime hidráulico. Isso indica que o tempo de detenção fixado de 4 horas, que é relativamente baixo para esgotos domésticos, mesmo no caso de pós-tratamento, representa uma considerável vantagem para o uso de reator tipo EGSB. Este aspecto é relevante em se considerando o uso de lodo floculento em reator anaeróbio com velocidade ascensional obtido de até 3,75 m/h.

Tanto os valores médios de DQO e sólidos suspensos no efluente para as 3 fases, apresentaram valores abaixo de 87 mg/L no caso da DQO bruta, abaixo de 55 mg/L no caso de DQO filtrada e de menos de 32 mg/L e 24 mg/L, no caso de SST e SSV, respectivamente. Estes valores podem ser considerados muito bons para o tipo de reator e para as condições operacionais impostas. Esses melhores resultados obtidos, comparados com os de estudos prévios (Vieira et al., 2000), podem ser creditados em grande parte à melhoria no sistema de separação de sólidos. O decantador foi modificado em relação ao anterior, em função da excessiva perda de sólidos ocorrida nos experimentos anteriores, durante certos períodos.

A importância da maior velocidade ascensional pode ser considerada neste experimento ao fato relevante de se tratar de um afluente com DQO total com concentrações menores que 200 mg/L, mas que ainda assim resultou em valores de DQO bruta no efluente de menos de 87 mg/L e de DQO filtrada de menos de 55 mg/L, o que representa uma eficiência de remoção da ordem de 50% e 70%, respectivamente. Além de lodo no EGSB com boa atividade metanogênica específica, presumível com base nos resultados do lodo do UASB Mangueira, de cerca de 0,200 g DQO / g SSV.d (Florencio et al., 2000), certamente que a melhor mistura e contato biomassa-substrato resultante das condições hidráulicas favoráveis, permitiram a obtenção daqueles resultados altamente significativos, para efluente dessa natureza.

O fato de que não haver ocorrido variações significativas no desempenho, entre as 3 fases com diferentes velocidades ascensionais, pode ser atribuído à baixa carga orgânica aplicada, resultante das baixas concentrações afluentes. Para os valores médios de SSV no reator ao longo das 3 fases, de cerca de 12 g/L, as cargas orgânicas aplicadas sempre se situaram em cerca de 0,1 g DQO/g SSV.d ou menos, portanto, bem aquém da sua máxima capacidade específica. A carga orgânica volumétrica aplicada se situou em torno de 1,4 g DQO/L.d (Arantes, 2001).

A retenção da biomassa viável no EGSB, que é um dos requisitos para um bom desempenho de reator biológico, além dos méritos do bom funcionamento do novo decantador, deve ser também creditada às características de boa sedimentabilidade do lodo floculento oriundo do reator UASB em escala real. Devido ao teor de sólidos suspensos inertes, é possível que se tenha formado também um lodo bem denso no interior do reator EGSB.

CONCLUSÕES

O desempenho do reator EGSB como pós-tratamento de efluente anaeróbico foi altamente significativo, apresentado alta estabilidade e eficiência de remoção de DQO e de sólidos suspensos.

Valores de DQO bruta e filtrada no efluente de menos de 87 mg/L e de menos de 55 mg/L, respectivamente, foram obtidos para um tempo de detenção hidráulica de apenas 4 horas. Valores médios de SST e SSV no efluente ficaram abaixo de 32 mg/L e 24 mg/L, respectivamente.

Não houve diferença significativa quando se operou o reator com velocidade líquida ascensional entre 1,25 m/h e 3,75 m/h, atribuído à baixa carga orgânica aplicada, de cerca de 0,1 g DQO/g SSV.d ou 1,4 g DQO/L.dia.

De qualquer maneira, as condições hidrodinâmicas favoráveis, a qualidade do lodo floculento, em termos de densidade e atividades, aliado ao uso de decantador adequado, foram os fatores determinantes para confirmar a potencialidade do reator tipo EGSB também para pós-tratamento de esgotos domésticos, de efluentes anaeróbios de baixa concentração.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto da UFPE no programa PROSAB (Programa de Saneamento Básico), Edital 3 - Continuidade, na rede de pesquisas do tema 2 (pós-tratamento de efluentes anaeróbios). Agradecemos o apoio financeiro da FINEP, CNPq (bolsas IC e AT-NM) e Caixa, instituições coordenadoras do PROSAB. Agradecemos também à COMPESA, URB – Recife, Fibra Revestimentos (Jaboatão dos Guararapes) e Edmilson Marinho pelo apoio na ETE Mangueira; aos bolsistas IC e AT do CNPq que participaram do projeto PROSAB da UFPE: Cintia M.S. Silva, George M. Queiroga, Gilvanildo J. Oliveira, Jâmisson Q. Uchôa, Juilma A. Silva, Juliana C. Moraes e Saulo L. Araújo; ao técnico químico do LSA-UFPE Ronaldo Fonseca e às bolsistas Taciana A. Santos e Cintia B. Maranhão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANTES, R.F.M. *A viabilidade da utilização de reatores tipo EGSB para o tratamento e pós-tratamento de esgotos domésticos*. Dissertação de mestrado, UFPE, Recife, 2001.
- AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th edition. Washington, 1995.
- ELMITWALLI, T., ZEEMAN, G. and LETTINGA, G. Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature. *Anais da VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia*, Recife, Pernambuco, pp. 60-68. Recife, Editora UFPE, 2000.
- FLORENCIO, L., KATO, M.T. and MORAIS, J.C. Domestic sewage treatment in Mangueira full-scale UASB plant at Recife, Pernambuco. *Anais da VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia*, Recife, Pernambuco, pp. 113-121. Recife, Editora UFPE, 2000.
- KATO, M.T. Anaerobic treatment of low strenght soluble wastewaters. P.hD. thesis, Landbouwniversiteit. Wageningen, Holanda. 1994.
- KATO, M. T., FIELD, J. A., VERSTEEG, P. and LETTINGA, G. Feasibility of expanded granular sludge bed reactors for the anaerobic treatment of low strenght soluble wastewaters. *Biotechnology and Bioengineering*, **44**, 469 – 479, 1994.
- KATO, M.T., ANDRADE NETO, C.O., CHERNICHARO, C.A.L., FORESTI, E. e CYBIS, L.F. Configurações de reatores anaeróbios. In: J.R. Campos (coord.), *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*, cap.3, pp. 53-99. Projeto PROSAB, FINEP. Rio de Janeiro, ABES, 1999.
- KATO, M.T., REBAC, S. FIELD, J. A. and LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de águas residuárias em reatores RELGE In: IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Bucaramanga, Colombia, pp. 175-185. Bucaramanga, 1996.
- KATO, M.T., REBAC, S. and LETTINGA, G. Anaerobic treatment of low-strength brewery wastewater in expanded granular sludge bed reactors. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **76**, 15-31, 1999.
- KURISU, H., CHIKU, H., KATO, A. and ZOUBERG, G. Application of the Biobed EGSB reactor to brewery waste water. *Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, pp. 468-471. Sendai, 1997.
- LETTINGA, G. and HULSHOFF POL, L.W. Advanced reactor design, operation and economy. *Water Science and Technology*, **18** (12), 99 – 108, 1986.
- LETTINGA, G., FIELD, J., VAN LIER, J., ZEEMAN, G. and HULSHOFF POL, L.W. Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future. *Water Science and Technology*, **35** (10), 5 – 12, 1999.
- MORAIS, J. C., L. FLORENCIO e KATO, M.T. Avaliação de um sistema de esgotamento e tratamento descentralizado. In *Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, pp. 506-512. Rio de Janeiro, ABES, 1999.
- ÑUNEZ, L.A. and MARTÍNEZ, B. Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor. *Water Science and Technology*, **40** (8), 99 – 106, 1999.
- RINZEMA, A. Anaerobic treatment of wastewater with high concentration of lipids or sulfate. P.hD. thesis, Landbouwniversiteit. Wageningen, Holanda. 1988.
- VAN DER LAST, A.R.M. and LETTINGA, G. Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. *Proceedings of the 6th International Symposium on Anaerobic Digestion*, São Paulo, Brazil, pp. 153-154. São Paulo, 1991.
- VAN LIER, J., REBAC, S. and LETTINGA, G. High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions. *Water Science and Technology*, **36** (10), pp. 199-206, 1997.
- VIEIRA, A.G.F., KATO, M.T. e FLORENCIO, L. Pós-tratamento em reator EGSB de efluente de reator UASB tratando esgoto doméstico. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*, Coletânea de Trabalhos Técnicos, vol. 1, pp. 87-94. Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte, 2000.

WANG, K., VAN DER LAST, A.R.M. and LETTINGA, G. The hydrolysis upflow sludge bed (HUSB) and the expanded granular sludge blanket (EGSB) reactors process for sewage treatment. Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai, Japan, pp. 301-304. Sendai, 1997.