



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO E A FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO NA GERAÇÃO DE ESCUMA EM REATORES UASB OPERANDO EM ESCALA PLENA

\*Bárbara Zanicotti Leite Ross<sup>1</sup>  
Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa<sup>1</sup>  
Clodoaldo José Marques<sup>2</sup>  
Sandro Froehner<sup>3</sup>  
Miguel Mansur Aisse<sup>3</sup>

UPFLOW VELOCITY EFFECT ASSESSMENT OF RAW SEWAGE  
AND FREQUENCY OF SLUDGE DISCHARGE IN SCUM  
GENERATION IN UASB REACTORS FULL SCALE OPERATING

Recibido el 29 de diciembre de 2015; Aceptado el 11 de octubre de 2016

### Abstract

*The UASB reactor is widely used for sewage treatment. Except for the excess of scum formation, the UASB reactor is well accepted. The excess of scum can be limited through some technical adjustments. In this work, the up flow velocity of sewage and the frequency of sludge removal from reactor in full-scale operation was assessed. The experiments were conducted in real scale at Vassoural Waste Water Treatment Plant (WWTP), located in South-West of Parana State, Brazil. The Vassoural WWTP has three reactor arranged in parallel and the flow rate is 240 L.s<sup>-1</sup>. The purpose of experiment were to assess the ascendant speed and frequency of sludge removal effect on scum formation. For this, firstly, each reactor worked in different speed. The reactor whit highest hydraulic retention time (THR) formed scum 3 times higher in the decanted area and 4.8 times higher in the three phase separator (TPS) than the reactor with lowest THR. In the second batch of experiments the time of sludge removal from reactor was assessed. The sludge was removed in different periods. The best result was obtained for the reactor, which the sludge was removed in interval of 3 days. The amount of scum was 2 times less in decanted area and 4.5 times less in the TPS than the reactor which sludge discharge with 15 days interval. Also, the oil and grease content in the scum was 1.127 mg.kg<sup>-1</sup> and 1.413 mg.kg<sup>-1</sup>, respectively. This result indicates that lipids concentrate in scum instead sludge.*

**Keywords:** *anaerobic sludge, scum, sewage, UASB reactor, upflow velocity.*

<sup>1</sup>Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento (APD) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Paraná, Brasil.

<sup>2</sup>Unidade Regional de Guarapuava (URGA) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Paraná, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil.

\*Autor correspondente: Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Sanepar. Rua Eng Antonio Batista Ribas, 151, Tarumã, Curitiba, Paraná. CEP 82.800-130. Brasil. Email: [barbarazl@sanepar.com.br](mailto:barbarazl@sanepar.com.br)

## Resumo

Os reatores UASB são muito utilizados para o tratamento de esgotos domésticos, porém, a formação de espuma é um sério problema operacional. Para que o uso deste tipo de tecnologia não seja desacreditado são necessárias recomendações de projeto e operacionais para o manejo da espuma. Este trabalho avaliou o efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto e a frequência de retirada de lodo na geração de espuma, em reatores operando em escala plena. Os testes foram realizados na ETE Vassoural, localizada no Estado do Paraná, Brasil, que possui três reatores UASB, operando em paralelo, e trata a vazão de 240 L.s<sup>-1</sup>. Para a avaliação do efeito da velocidade ascensional, cada um dos três reatores foi regulado para operar com vazões diferentes, sendo que o reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais espuma na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no interior do separador trifásico (IST) que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). Na segunda etapa do experimento, cada reator sofreu descargas de lodo em períodos diferenciados, o reator UASB no qual as descargas foram a cada três dias, produziu 2 vezes menos espuma na área de decantação e 4,5 vezes menos no IST do que o reator que tinha retiradas quinzenais. A espuma produzida possuía um teor de O&G inferior, 1.127 mg.kg<sup>-1</sup> contra 1.413 mg.kg<sup>-1</sup>, o que indica que ocorre uma migração destes compostos do esgoto para a espuma quando a quantidade de lodo no interior do reator é maior.

**Palavras-chave:** espuma, esgoto anaeróbio, lodo anaeróbio, reator UASB, velocidade ascensional.

## Introdução

O crescimento urbano desordenado acarreta um desequilíbrio no fornecimento de água para a população e nos serviços de saneamento básico. Nos países da América Latina e Caribe, 91 % da população recebe água tratada em suas residências, 79 % possui a coleta de seus esgotos, mas apenas 15 % deste montante recebe o tratamento adequado antes de ser devolvido aos rios (Noyola *et al.*, 2012). O Brasil fez parte desta avaliação, portanto é fundamental o desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias capazes de suprir esta demanda, oferecendo inovações e considerando as limitações e condições específicas de cada região.

Os reatores UASBs são a terceira tecnologia mais utilizada em países da América Latina e Caribe, atendendo a 17% das estações avaliadas, em primeiro lugar encontram-se as lagoas de estabilização (43%) (Noyola *et al.*, 2012). Nos novos projetos de estações de tratamento no Brasil os UASBs aparecem como a alternativa mais empregada (Chernicharo, 2011). No Paraná, a tecnologia é utilizada desde 1979, no ano de 2005 a companhia estadual de saneamento já operava mais de 300 reatores, número que cresceu ao longo destes anos.

Apesar das vantagens de não consumir energia no tratamento e ocupar pequena área para implantação, um reator anaeróbio de manto de lodo apresenta não só limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento, como também, um sério problema operacional

relacionado à formação de espuma. Seu acúmulo pode prejudicar o desempenho do sistema em termos de qualidade do efluente, ocasionar perdas de biogás e até mesmo o rompimento do separador trifásico dos reatores.

#### Tratamento de efluentes utilizando reatores UASB

Nos reatores UASB o fluxo do líquido a ser tratado é ascendente, seu funcionamento está baseado na formação de um manto de lodo, que ocupa o terço inferior do volume total do reator. A parte superior é formada por duas zonas, a zona de decantação, onde ocorre a separação entre as fases sólida e líquida, e outra conhecida como Interior do Separador Trifásico (IST), onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa. Isso é conseguido com auxílio do separador trifásico, que também favorece a sedimentação dos flocos de lodo, mantendo os micro-organismos no interior do reator aumentando consideravelmente o tempo de retenção celular sem elevar o tempo de detenção hidráulica (Noyola *et al.*, 2013; Souza, 2006).

Os parâmetros de processo a serem controlados são: tempo de detenção de sólidos, tempo de detenção hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional (Versiani *et al.*, 2005). O monitoramento da estabilidade do reator UASB passa também pelo controle do pH, a alcalinidade e a concentração de ácidos orgânicos.

A velocidade ascensional é um importante fator no desempenho do processo. A norma brasileira recomenda o uso de velocidades inferiores a  $0,7 \text{ m.h}^{-1}$ , sendo o máximo permitido de  $1,2 \text{ m.h}^{-1}$  para as vazões máximas diárias (ABNT, 2011). Já reatores UASB projetados na Índia, possuem o valor de  $0,5$  a  $0,6 \text{ m.h}^{-1}$  como recomendação de velocidade ascensional (Chernicharo *et al.*, 2015). A aplicação de velocidades inferiores a  $1 \text{ m.h}^{-1}$  favorece o desempenho da unidade, devido a uma maior adsorção e captura de sólidos afluentes no próprio manto de lodo. Enquanto que o uso de velocidade ascensional superior a  $1 \text{ m.h}^{-1}$  implica na piora do desempenho da unidade, que pode ter sido responsável pelo aumento na força hidráulica de cisalhamento, promovendo uma desagregação dos sólidos capturados (Versiani *et al.*, 2005). A formação da espuma pode ser intensificada quando os reatores UASB estão operando com baixos tempos de detenção (5h), a alta velocidade ascensional ( $1,1 \text{ m/h}$ ) aumenta a quantidade de sólidos arrastados para a superfície do reator contribuindo para uma maior formação de espuma (Souza *et al.*, 2006).

Desde sua implantação, a tecnologia UASB vem sofrendo uma série de indagações, inicialmente, difundiu-se a idéia de que suas eficiências seriam semelhantes as atingidas com o tratamento secundário. Depois disso, começou-se a combinar seu uso com pós-tratamento para melhoria da qualidade final do efluente da ETE, entretanto novos problemas como a geração de odor e

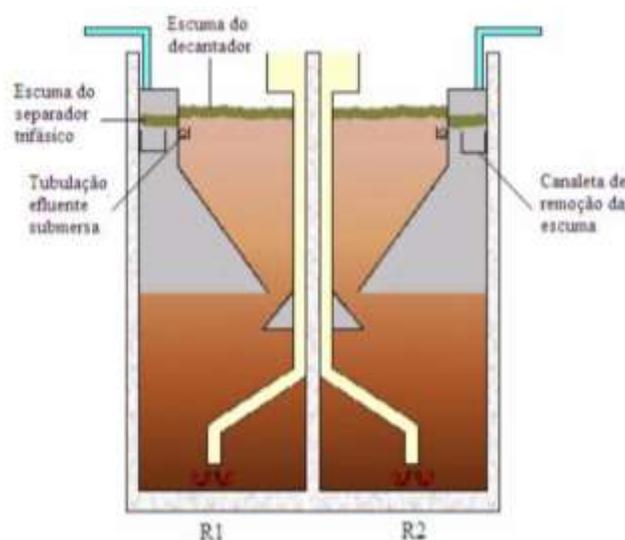
escuma têm sido apontados (Souza *et al.*, 2012). Se não houver diretrizes adequadas de projeto e operação dos reatores UASB a tecnologia pode ser desacreditada e seu uso diminuído (Chernicharo *et al.*, 2009). Existem aspectos internos do reator como a forma de captação de biogás, sistema de distribuição do esgoto, forma de retirada de espuma e de lodo que não estão padronizados e por esta razão o desenho proposto e sua funcionalidade irão depender da experiência do projetista (Noyola *et al.*, 2013).

### Escuma

A espuma pode ser definida como uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores e pode aparecer no tratamento de águas residuárias tanto domésticas quanto industriais (Souza *et al.*, 2006). A composição e quantidade gerada de espuma irá depender da composição do esgoto afluente, do sistema preliminar de tratamento e do modelo de reator empregado.

### Fatores que influenciam na formação da espuma

Nos reatores UASB o acúmulo de espuma ocorre em dois compartimentos distintos: na superfície do compartimento de decantação e no IST (Figura 1). As duas subunidades apresentam diferenças funcionais importantes na formação da espuma. Na superfície do decantador não deve haver desprendimentos de biogás, enquanto que no interior do separador há um importante desprendimento de biogás (Souza *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Corte esquemático de reatores UASB geminados (R1 e R2). Fonte: Souza *et al.* (2006)

Esgotos com altos teores de proteína também tendem a produzir mais espuma e formar um lodo menos granular, mais floculento, que possui maior dificuldade de sedimentação (Metcalf e Eddy, 2003).

Outro parâmetro de operação dos reatores UASBs que pode influenciar na formação da espuma é o descarte de lodo, seu acúmulo certamente provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e a possível deterioração da qualidade do efluente final (Chernicharo *et al.*, 2009).

Considerando que o acúmulo de espuma está relacionado ao arraste de partículas do lodo do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, devido à imposição de velocidades ascensionais superiores (Souza, 2006), este trabalho objetivou avaliar o efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto e a frequência de retirada de lodo na geração de espuma, em reatores operando em escala plena.

## Metodologia



**Figura 2.** Fotografia aérea da ETE Vassoural em obras. Fonte: Arquivo fotográfico Sanepar (2010)

Este trabalho foi desenvolvido na ETE Vassoural, localizada em Guarapuava, sudoeste do Estado do Paraná, Brasil. Inaugurada em 2010, opera com a vazão de  $240 \text{ L.s}^{-1}$ , idêntica a vazão para a qual foi projetada. Seu o sistema de tratamento é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecânico de 10 mm e peneiramento de 6 mm, desarenador ciclônico e calha parshall), três reatores UASBs, com capacidade nominal de  $80 \text{ L.s}^{-1}$  cada um, e um filtro biológico percolador com distribuidor rotativo seguido de decantador para o pós-tratamento do efluente (Figura 2).

#### Avaliação da geração de espuma em função da variação da velocidade ascensional

Os três reatores UASB da ETE Vassoural recebem esgoto, através de uma caixa divisora de fluxos. As comportas da caixa divisora de fluxos foram abertas de modo que cada um dos reatores recebesse uma quantidade diferenciada de esgoto, mas mantendo-se o somatório de  $240 \text{ L.s}^{-1}$ , assim tem-se uma variação da velocidade ascensional, controlada através da variação de vazão. Considerando que cada reator possui o volume de  $2304 \text{ m}^3$  e uma altura de 4 m, obteve-se as seguintes correlações:

- Reator 1: vazão de  $100 \text{ L.s}^{-1}$ , equivalente a  $\text{TDH} = 6,4\text{h}$  e  $v = 0.62 \text{ m.h}^{-1}$ ;
- Reator 2: vazão de  $80 \text{ L.s}^{-1}$ , equivalente a  $\text{TDH} = 8\text{h}$  e  $v = 0.50 \text{ m.h}^{-1}$ , e;
- Reator 3: vazão de  $60 \text{ L.s}^{-1}$ , equivalente a  $\text{TDH} = 10,7\text{h}$  e  $v = 0.37 \text{ m.h}^{-1}$ .

Uma vez por semana foi retirada a espuma produzida em cada um dos reatores, tanto da superfície do decantador quanto do IST e este material foi encaminhado aos leitos de secagem. O volume de espuma produzido em cada uma das áreas foi determinado com o uso de coletores colocados na superfície do decantador e do IST. Os coletores foram elaborados com tubos de PVC, com diâmetro de 200 mm, cortados no comprimento de 1 m, em uma das extremidades do tubo foram pregadas duas ripas de madeira a fim de dar sustentação ao tubo, evitar a movimentação na superfície e o afundamento do mesmo no reator. A coleta da espuma contida no interior do tubo, foi feita com auxílio de uma escumadeira, o material teve seu volume determinado em um becker graduado e encaminhado ao laboratório (Figura 3). Para se mensurar a quantidade de espuma produzida, foi calculada a área total de acúmulo do reator e este valor foi multiplicado pela quantidade obtida em cada tubo.

As amostras das duas áreas de acúmulo foram misturadas e as concentrações de O&G, ST, STF e STV foram determinadas para cada um dos reatores. Foram avaliados igualmente a qualidade do esgoto bruto e do tratado, com o controle de DQO, pH, O&G, SSed, ST, STF e STV. Estes procedimentos ocorreram uma vez por semana, durante o período de dois meses, durante os meses de fevereiro e março de 2015. Paralelamente foi mensurada a temperatura ambiente, volume de chuvas, vazão da ETE e anotados procedimentos da remoção do lodo.



**Figura 3.** Fotografia do tubo armazenador de espuma. Fonte: os autores.

### Avaliação da geração de espuma em função da frequência da retirada do lodo de esgoto anaeróbico em excesso

Os três reatores da ETE Vassoural foram operados com a mesma vazão de entrada, sendo adotado o valor de  $80 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  a fim de garantir 8 h como tempo de detenção, em cada um deles. No dia inicial do experimento foi feita a retirada de espuma e do excesso de lodo dos três reatores, a fim de que os três estivessem em condições equivalentes, após isso foram feitas retiradas de lodo alternadas em cada um dos reatores, o volume de lodo a ser retirado será de  $225 \text{ m}^3$ . O experimento seguiu o esquema apresentado na Tabela 1, as análises laboratoriais da espuma foram feitas na mistura das amostras de espuma de cada um dos reatores. A mensuração da quantidade de espuma produzida por cada reator seguiu o mesmo procedimento da etapa anterior. Estes procedimentos ocorreram no período de 15 dias, sendo repetidos por duas vezes, paralelamente foi mensurada a temperatura ambiente, volume de chuvas e vazão da ETE. Este experimento ocorreu durante os meses de março e abril de 2015.

A preservação, transporte e armazenamento das amostras seguiu as especificações detalhadas pelo procedimento Preservation and Storage 9060 B. definidas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). As análises de pH, DQO, sólidos sedimentáveis (SSed), óleos e graxas (O&G), sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) também seguiram o preconizado na referida literatura.

**Tabela 1.** Delineamento experimental da avaliação do impacto da retirada de lodo de esgoto na produção de espuma

Dia	Atividade	Esgoto bruto	Reator 1	Reator 2	Reator 3
0	análises no esgoto	DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV		DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV	
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, medição de volume nos dois compartimentos e análise de O&G, ST, STF e STV		
	procedimento no lodo	---	descarte, medição de volume e determinação de ST do lodo		
3	análises no esgoto	DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV		DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV	
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, medição de volume nos dois compartimentos e análise de O&G, ST, STF e STV		
	procedimento no lodo	---	descarte, medição de volume e determinação de ST do lodo	---	---
11	análises no esgoto	DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV		DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV	
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, medição de volume nos dois compartimentos e análise de O&G, ST, STF e STV		
	procedimento no lodo	---	descarte, medição de volume e determinação de ST do lodo	descarte, medição de volume e determinação de ST do lodo	---
15	análises no esgoto	DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV		DQO, O&G, pH, SSed, ST, STF e STV	
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, medição de volume nos dois compartimentos e análise de O&G, ST, STF e STV		
	procedimento no lodo	---	descarte, medição de volume e determinação de ST do lodo	---	---

NOTA: As análises no esgoto, na espuma e no lodo foram realizadas em separado para cada reator.

## Resultados e Discussões

### Geração de espuma com variação da velocidade ascensional do esgoto bruto

Foram realizadas sete amostragens, totalizando um período de avaliação de 43 dias, durante este período a temperatura média do ar foi de 27.2 °C e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de 9 mm.d<sup>-1</sup>, totalizando 65 mm de chuva durante as coletas. Na Tabela 2 nota-se que a divisão do esgoto na caixa distribuidora de fluxos foi eficiente, conseguindo-se diferenciar a quantidade de esgoto destinada a cada um dos reatores, sem prejudicar o funcionamento global da ETE. Obteve-se velocidade ascensional máxima de 0.69 m.h<sup>-1</sup> e mínima de 0.46 m.h<sup>-1</sup>.

Ainda na Tabela 2, pode-se analisar que o reator 1 apresentou eficiência negativa para a remoção de O&G. Das 7 amostras avaliadas neste reator, 4 apresentaram eficiência negativa

para a remoção de O&G. Já no caso do reator 2, que operou com TDH superior ao reator 1, apenas em uma das amostragens obteve-se eficiência negativa para a remoção de O&G no efluente; e no reator 3 em todas as amostragens a remoção de O&G foi positiva. O maior tempo de detenção apresentou maior eficiência na remoção de O&G do efluente dos reatores, tempos de detenção reduzidos causam uma piora de qualidade do efluente no tocante a este parâmetro. A remoção de DQO foi positiva e bastante elevada nos três reatores, sempre superior a 80 %, porém não se pode afirmar que exista diferença entre as eficiências para cada um dos casos. Outros parâmetros que não apresentaram modificação foram a temperatura do esgoto e o pH, sendo que o pH do esgoto bruto mostrou-se um pouco mais alcalino que o pH do esgoto tratado, porém sem diferença entre o efluente dos três reatores. Os resultados médios de produção e características da espuma dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2.** Resultados médios de eficiência dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais

Parâmetro	Esgoto bruto	Efluente do reator 1	Efluente do reator 2	Efluente do reator 3
Vazão (L.s <sup>-1</sup> )	276 (±20.6)	110 (±8.2)	92 (±6.9)	73 (±5.5)
TDH (h)	NA	5.8 (±0.4)	7.0 (±0.5)	8.7 (±0.6)
Vasc (m.h <sup>-1</sup> )	NA	0.69 (±0.05)	0.57 (±0.04)	0.46 (±0.03)
Temperatura (°C)	24 (±1.26)	23 (±0.9)	24 (±1.0)	24 (±0.9)
pH	7.41 (±0.3)	6.95 (±0.1)	6.93 (±0.1)	6.94 (±0.1)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	421 (±182.1)	70 (±17.3)	74 (±20.2)	76 (±27.5)
E <sub>DQO</sub> (%)	NA	82 (±4.9)	81 (±4.2)	80 (±6.3)
O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	123 (±57.4)	136 (±30.6)	76 (±22.6)	75 (±21.7)
E <sub>O&amp;G</sub> (%)	NA	-22 (±44.5)	29 (±26.9)	30 (±26.9)

Obs.: NA = não se aplica.

**Tabela 3.** Resultados médios de produção de espuma dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais

Parâmetro		Escuma reator 1	Escuma reator 2	Escuma reator 3
TDH (h)		5.83 (±0.4)	7,00 (±0.5)	8.75 (±0.6)
Vasc (m.h <sup>-1</sup> )		0.69 (±0.05)	0,57 (±0.04)	0.46 (±0.03)
Escuma acumulada (mL)	do decantador	1109 (±248)	2821 (±1108)	3355 (±1149)
	do IST	31 (±40)	65 (±67)	149 (±151)
ST (%)		12.73 (±1.2)	13.98 (±1.3)	13.24 (±1.6)
STF (%)		3.72 (±0.3)	4.70 (±0.4)	4.43 (±0.8)
STV (%)		9.01 (±1.0)	9.28 (±1.0)	8.82 (±1.0)
O&G (mg.kg <sup>-1</sup> )		1076 (±69)	1171 (±213)	1566 (±257)

Obs.: O tempo de acúmulo da espuma foi de 7 dias.

Comparando-se as Tabelas 2 e 3 observa-se que a concentração de O&G no efluente do reator que trabalhou com TDH inferior foi mais alta que os demais, enquanto que os valores encontrados na espuma são contrários, ou seja, os maiores teores de O&G foram encontrados na espuma do reator que operou com TDH superior, sugerindo uma transferência deste conjunto de compostos quando o TDH é superior, evitando sua saída no efluente e migrando para a espuma.

Com relação à quantidade de espuma formada, o reator que funcionou com TDH superior (8.75 h) formou 3 vezes mais espuma área de decantação e 4.8 vezes mais espuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5.83 h). Acreditava-se, de acordo com o encontrado em literatura, que velocidades ascensionais menores permitiriam a formação de menos espuma. Porém, como os reatores recebem esgoto doméstico, a aplicação de velocidades inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e conseqüentemente maior produção de lodo e de biogás, que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na espuma. A ocorrência de lodo flotado na espuma pode ser justificada pela grande produção de gás, o que transforma o reator UASB em um flutador natural, onde uma grande quantidade de sólidos passa a se acumular na superfície dos tanques (Ramos, 2008). Infelizmente, os reatores avaliados não possuem medidores de produção de biogás, o que permitiria a validação desta hipótese.

Os teores de sólidos totais, voláteis e fixos avaliados na espuma formada nos três reatores não apresentou variação significativa. O esgoto afluente à ETE Vassoural apresentou concentração de sólidos sedimentáveis média de  $4.3 \text{ mL.L}^{-1}$  ( $\pm 3.3$ ) enquanto que o efluente dos três reatores não apresentaram alteração, sendo que os valores médios são de  $0.1 \text{ mL.L}^{-1}$ . Acredita-se que caso tenha ocorrido o arraste de sólidos para fora do reator, estes ficaram retidos na espuma e não chegaram a impactar a qualidade do esgoto tratado.

#### Geração de espuma com variação da frequência de retirada de lodo

Foram realizadas oito amostragens, totalizando um período de avaliação de 32 dias, o que permitiu a repetição do experimento por 3 vezes. Durante este período a temperatura média do ar foi de  $27.7 \text{ }^\circ\text{C}$  e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de  $2.1 \text{ mm.d}^{-1}$ , totalizando 17 mm de chuva durante as coletas. Ressalta-se que nesta etapa do experimento os três reatores operaram com iguais vazões, sendo a média de  $82.65 \text{ L.s}^{-1}$  em cada reator, o que gerou como consequência um TDH de 7.93 h e uma velocidade ascensional de  $0.52 \text{ m.h}^{-1}$ .

A taxa de formação de espuma está intimamente ligada ao correto gerenciamento do lodo no interior dos reatores, desta forma, a não retirada do lodo na frequência e quantidades adequadas provocará uma maior perda de sólidos, aumentando a taxa de formação de espuma

(Chernicharo *et al.*, 2009). Em outros estudos, verificou-se que tanto o tempo de retenção celular como a variação da temperatura dos reatores de 15 para 25 °C influenciaram na formação de espuma (Halalsheh *et al.*, 2005). Os resultados médios de eficiência dos reatores UASB, operando com diferentes retiradas de lodo está apresentado na Tabela 4 e na Tabela 5 encontram-se os resultados médios de características e produção de espuma.

**Tabela 4.** Resultados médios de eficiência dos reatores UASB, operando com diferentes retiradas de lodo

Parâmetro	Esgoto bruto	Efluente do reator 1	Efluente do reator 2	Efluente do reator 3
Retirada de lodo (dias)	NA	3	7	15
Volume de lodo (m <sup>3</sup> )	NA	225	225	225
Sólidos totais do lodo (%)	NA	3	3	3
Vazão (L.s <sup>-1</sup> )	247.94 (±35.05)	82.65 (±11.7)	82.65 (±11.7)	82.65 (±11.7)
Temperatura (°C)	23 (±1.17)	23 (±0.4)	23 (±0.3)	23 (±0.3)
pH	7.24 (±0.08)	6.9 (±0.1)	6.9 (±0.1)	6.9 (±0.1)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	655 (±102.33)	103 (±27.8)	107 (±32.6)	113 (±23.7)
E <sub>DQO</sub> (%)	NA	84 (±2.7)	84 (±3.8)	83 (±2.7)
O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	131 (±61.99)	93 (±47.2)	85 (±50.8)	56 (±27.06)
E <sub>O&amp;G</sub> (%)	NA	23 (± 36.32)	32 (±36.80)	44 (±31.17)

Obs.: NA = não se aplica.

**Tabela 5.** Resultados médios de produção de espuma dos reatores UASB, operando com diferentes retiradas de lodo

Parâmetro		Escuma reator 1	Escuma reator 2	Escuma reator 3
Retirada de lodo (dias)		3	7	15
Escuma acumulada (mL) no amostrador	do decantador	2054 (±726.2)	2806 (±468.6)	4085 (±782.8)
	do IST	33 (±17.5)	75 (±46.9)	150 (±96.4)
ST (%)		13.3 (±1.2)	13.7 (±1.2)	14,2 (±0.8)
STF (%)		3.6 (±0.5)	3.9 (±0.5)	4,6 (±0.7)
STV (%)		9.7 (±0.9)	9.8 (±0.9)	9,6 (±0.7)
O&G (mg.kg <sup>-1</sup> )		1127 (±124.8)	1122 (±156.3)	1413 (±230.4)

De acordo com o apresentado na Tabela 4 não houve variação no pH, mantendo-se um pouco mais alcalino no esgoto afluente, 7.24 (± 0.08) e de 6.9 (± 0.1) nos efluentes. A temperatura do

esgoto manteve-se abaixo a temperatura atmosférica, tendo-se a média para o ar de 28 °C e para o esgoto médias de 23 °C. A eficiência para a remoção de DQO foi bastante alta nos três reatores, mantendo-se acima de 83%.

Nota-se que a concentração de O&G no esgoto afluente foi de 131 mg.L<sup>-1</sup> e que a tendência para o efluente é que quanto maior o número de retiradas de lodo de esgoto, maior a concentração de O&G, chegando a média de 93 mg.L<sup>-1</sup> quando as retiradas foram a cada três dias. Anteriormente ao início do experimento, o nível de lodo dos três reatores foi equalizado, de modo que os três reatores possuíam a mesma quantidade de lodo antes a avaliação iniciar. Pode-se concluir que uma maior quantidade (volume) de lodo no interior do reator permite a melhor degradação de O&G.

Observa-se que os SST, constituídos de flocos de lodo anaeróbio mais leves ou de material não degradado do afluente, podem ser carreados da zona de digestão para a zona de decantação sem terem condições de retornar para a zona de digestão, comprometendo a concentração de SST no efluente e na camada de espuma (Souza *et al.*, 2006). A respeito da espuma produzida pelos reatores durante o período de avaliação (Tabela 5), verifica-se que, de acordo com o encontrado na literatura, uma maior quantidade de lodo no interior do reator, tem como consequência uma maior produção de espuma. Informação esta que pode ser observada quando são comparados os resultados do reator 1 que recebeu retiradas de lodo a cada 3 dias e produziu 2054 mL de espuma no decantador e 33 mL no IST, enquanto que o reator 3, que recebeu retiradas de lodo a cada 15 dias, produziu 4085 mL de espuma no decantador e 150 mL no IST. Além disso, a espuma produzida possui um teor de O&G também superior, o que indica que ocorre uma migração destes compostos do esgoto para a espuma quando a quantidade de lodo no interior do reator é maior.

Assim como na avaliação sobre a interferência da velocidade ascensional sobre a formação de espuma, não foram verificadas alterações significativas no teor de sólidos das amostras. Quanto aos sólidos sedimentáveis, partiu-se de um esgoto afluente com concentração média de 3.94 mL.L<sup>-1</sup> ( $\pm 1.80$ ) e obteve-se saídas próximas a 0.1 mL.L<sup>-1</sup>, sugerindo que caso as retiradas de lodo do interior do reator sejam minimizadas, o lodo excedente pode se acumular na espuma formada, não prejudicando a qualidade do efluente tratado.

Contatou-se que a ETE Vassoural apresenta eficiências de remoção de DQO bastante elevadas, que podem estar relacionadas a qualidade do esgoto afluente, boa condução nos procedimentos operacionais adotados pelos operadores responsáveis e o *design* do reator UASBs, que segue o modelo tradicional.

## Conclusões

O reator que funcionou com TDH superior (8.75 h) formou 3 vezes mais espuma na área de decantação e 4.8 vezes mais espuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5.83 h). A aplicação de velocidades ascensionais inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e conseqüentemente uma maior produção de lodo e de biogás que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na espuma.

O reator UASB que sofreu retiradas de lodo de esgoto a cada três dias produziu 2 vezes menos espuma na área de decantação e 4.5 vezes menos no IST do que o reator que tinha retiradas quinzenais. Além disso, a espuma produzida possuía um teor de O&G inferior, 1127 mg.kg<sup>-1</sup> contra 1413 mg.kg<sup>-1</sup>, o que indica que ocorre uma migração destes compostos do esgoto para a espuma quando a quantidade acumulada de lodo no interior do reator é maior.

Ainda sobre estas duas últimas avaliações, não foram verificadas alterações significativas no teor de sólidos sedimentáveis nos efluentes dos três reatores. Sugerindo que caso as retiradas de lodo do interior do reator sejam minimizadas o lodo excedente pode se acumular na espuma formada, assim como no caso do aumento da velocidade ascensional o lodo arrastado será também acumulado na espuma.

## Referências

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011) NBR 12.209: *Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio De Janeiro.
- APHA, American Public Health Association, AWWA, American Water Works Association, WEF, Water Environment Federation (2012) *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington: Publication Office American Public Health Association.
- Chernicharo, C.A.L., Almeida, P.G.S., Couto, T.C., Souza, C.L., Borges, J.M. (2009) Contribuição para a melhoria do projeto e da operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos: gerenciamento da espuma, XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, Brasil.
- Chernicharo, C.A.L. (2011) *Reatores Anaeróbios*, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Brasil, 380pp.
- Chernicharo, C.A.L., Van Lier, J.B., Noyola, A., Ribeiro, T.B. (2015) Anaerobic sewage treatment: state of the art, constrains and challenges. *Rev. Environmental Science Biotechnology*, **14**(4), 649-679.
- Halalsheh, M., Koppes, J., den Elzen, J., Zeeman, G., Fayyad, M., Lettinga, G. (2005) Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. *Water Research*, v. 39, 2475-2482.
- Metcalf, Eddy, Inc. (2003) *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, 4. ed. New York.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J.M., Güereca, L.P. (2013) *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales – Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. 1. ed., México: Universidade Nacional Autonoma de México, 113 pp.



- Noyola, A., Rivera-Padilla, A., Morgan-Sagastume, J.M., Güereca, L.P., Hernández-Padilla, F. (2013) Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean-Soil, Air Water*. **40**(9), 926 – 932.
- Ramos, R.A. (2008) *Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de esgoto no Distrito Federal*, Tese de mestrado, Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 135 pp.
- Souza, C.L. (2006) *Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos*, Tese de mestrado, Programa de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 105pp.
- Souza, C.L., Aquino, S.F., Chernicharo, C.A.L. (2006) Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science & Technology*, **54**, 201-208.
- Souza, C.L., Chernicharo, C.A.L., Melo, G.C.B. (2012) Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, **65**, 1229 – 1237.
- Versiani, B.M., Jordão, E.P., Volschan Junior, I., Dezotti, M.W.C., Azevedo, J.P.S. (2005) Intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais. *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, Brasil.