

II-187 – AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO NA GERAÇÃO DE ESCUMA EM REATORES UASB OPERANDO EM ESCALA PLENA

Bárbara Zanícotti Leite Ross⁽¹⁾

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Engenheira de Alimentos pela PUC – PR, mestre em Tecnologia Química pela UFPR e doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR (2015).

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa⁽²⁾

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Engenheira de Alimentos pela UEPG – PR, Engenheira Química pela PUC-PR, mestre em Ciência e Tecnologia em Alimentos pela UEPG – PR e doutora em Engenharia de Alimentos pela UFPR.

Clodoaldo José Marques⁽³⁾

Técnico em Química, gestor de estação de tratamento de esgotos da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

Sandro Froehner⁽⁴⁾

Professor associado da UFPR no curso de Engenharia Ambiental, onde orienta alunos de mestrado e doutorado. Graduado, Mestre e Doutor em Química pela UFSC (1992, 1995 e 1999), com estágio sandwiche em Rutgers University. Pós-Doutorado em Engenharia Ambiental pela UFSC e Pós-Doutorado em Geoquímica Orgânica pela Bristol University.

Miguel Mansur Aisse⁽⁵⁾

Professor Titular do Mestrado e Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica (EP USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, nº151 – Tatumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777 7261 - e-mail: 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 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⁻¹. Após o nivelamento do nível de lodo nos 3 reatores, cada um 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⁻¹ contra 1.413 mg.kg⁻¹, 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 sanitário, lodo anaeróbio, reator UASB.

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 em reatores UASB 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.

Desde sua implantação, a tecnologia UASB vem sofrendo uma série de indagações, inicialmente, difundiu-se a ideia de que suas eficiências seriam semelhantes às atingidas com o tratamento secundário convencional (lodos ativados). 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 espuma 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 (Ross *et al.*, 2013).

FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DA ESCUMA

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).

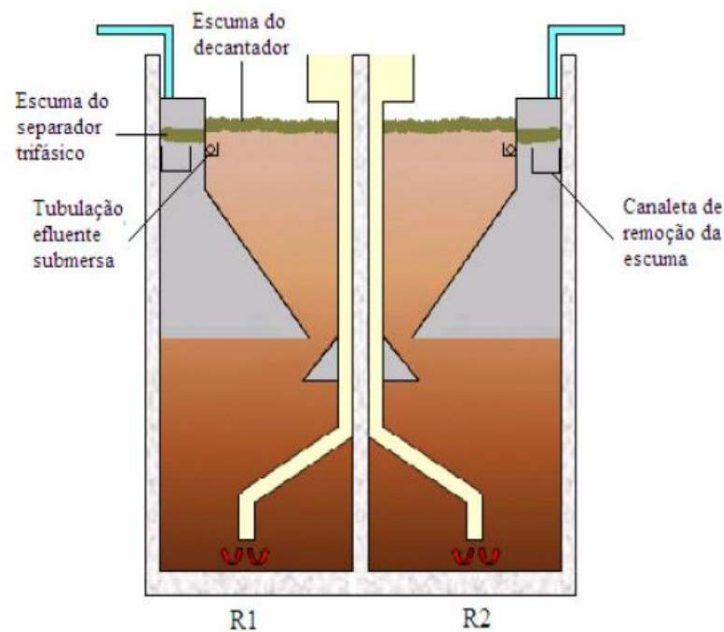


Figura 1: Corte esquemático de reatores UASB geminados (R1 e R2).
Fonte: Souza *et al.* (2006)

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, este trabalho objetivou avaliar o efeito da frequência de retirada de lodo na geração de espuma, em reatores operando em escala plena.

METODOLOGIA

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 L.s^{-1} , vazão para a qual foi projetada. O sistema de tratamento da ETE 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 L.s^{-1} cada um, e um filtro biológico percolador com distribuidor rotativo seguido de decantador para o pós-tratamento do efluente (Figura 2).



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

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, afim 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 m^3 . O experimento seguiu o esquema apresentado na Tabela 1, foram feitas medições de vazão e temperatura ambiente, as análises laboratoriais da espuma foram feitas na mistura das amostras de espuma de cada um dos reatores. Sendo as amostras das duas áreas de acúmulo misturadas e as concentrações de O&G, ST, STF e STV determinadas para cada um dos reatores. Foram avaliados igualmente a qualidade do esgoto bruto e do tratado, com a determinação de DQO, pH e O&G, em coletas pontuais. Maiores informações são encontradas no trabalho Ross (2015).

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 e pH	DQO, O&G e pH		
	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 e pH	DQO, O&G e pH		
	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 e pH	DQO, O&G e pH		
	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 e pH	DQO, O&G e pH		
	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.

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.

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 (Figura 3), com diâmetro de 200 mm, cortados no comprimento de 1 m, em uma das extremidades do tubo foram fixadas 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. Para 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.



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

A preservação, transporte e armazenamento das amostras seguiram 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.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

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 °C e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de 2,1 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 L.s⁻¹ em cada reator, o que gerou como consequência um TDH de 7,93 h e uma velocidade ascensional de 0,52 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 2 e na Tabela 3 encontram-se os resultados médios de características e produção de espuma.

Tabela 2: 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
Frequência de retirada de lodo (dias)	NA	3	7	15
Volume de lodo (m ³)	NA	225	225	225
Sólidos totais do lodo (%)	NA	3	3	3
Vazão (L.s ⁻¹)	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 ⁻¹)	655 (±102,33)	103 (±27,8)	107 (±32,6)	113 (±23,7)
E _{DQO} (%)	NA	84 (±2,7)	84 (±3,8)	83 (±2,7)
O&G (mg.L ⁻¹)	131 (±61,99)	93 (±47,2)	85 (±50,8)	56 (±27,06)
E _{O&G} (%)	NA	23 (± 36,32)	32 (±36,80)	44 (±31,17)

Obs.: NA = não se aplica.

De acordo com o apresentado na Tabela 2 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⁻¹ 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⁻¹ 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 (volume) de lodo antes a avaliação iniciar. Pode-se concluir que uma maior quantidade de lodo no interior do reator permite a melhor degradação de O&G.

Tabela 3: 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
Espuma acumulada (mL) no amostrador	do decantador	2054 (±726,2)	2806 (±468,6)
	do IST	33 (±17,5)	75 (±46,9)
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 ⁻¹)	1127 (±124,8)	1122 (±156,3)	1413 (±230,4)

Observa-se que os SST, constituídos de flocos de lodo anaeróbio mais leves ou de material não degradado do afluente, podem ser carregados 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.

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 $3,94 \text{ mL.L}^{-1} (\pm 1,80)$ e obteve-se saídas próximas a $0,1 \text{ mL.L}^{-1}$, 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 à 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 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^{-1} contra 1413 mg.kg^{-1} , 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.

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.

AGRADECIMENTOS

À toda equipe de operação da ETE Vassoural que contribuiu para a realização deste experimento, Marcia Mendes Costa Guareski, Arnaldo Felipe dos Santos, Dora Roberta de Arruda Bender, David Ida Junior, Edegar Morando, entre outros. Agradecemos também a Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, APD/DMA, da SANEPAR e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, PPGERHA da UFPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12.209: Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio de Janeiro, 2011.
2. APHA, American Public Health Association, AWWA, American Water Works Association, WEF, Water Environment Federation *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, 2012.
3. CHERNICHARO, C. A. L., ALMEIDA, P.G.S., COUTO, T.C., SOUZA, C.L., BORGES, J.M. 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, 2009.
4. CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores Anaeróbios*, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Brasil, 380pp., 2011.
5. CHERNICHARO, C.A.L., VAN LIER, J.B., NOYOLA, A., RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. *Rev. Environmental Science Biotechnology*, v.14 (4), 649-679, 2015.
6. HALALSHEH, M., KOPPEL, J., DEN ELZEN, J., ZEEMAN, G., FAYYAD, M., LETTINGA, G. Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. *Water Research*, v. 39, 2475-2482, 2005.
7. METCALF, EDDY, Inc. *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, 4. ed. New York, 2003.

8. NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M., GÜERECAL, L.P. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales – Guia de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. 1. ed., México: Universidade Nacional Autônoma de México, 113 pp, 2013.
9. NOYOLA, A., RIVERA-PADILLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M., GÜERECAL, L.P., HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean-Soil, Air Water*. v. 40 (9), 926 – 932, 2013.
10. RAMOS, R.A. *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., 2008.
11. ROSS, B.Z.L., CARNEIRO, C., AISSE, M.M., FROEHLNER, S. Caracterização da espuma produzida em reatores anaeróbios de manta de lodo, Estado do Paraná, *XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Goiânia, Brasil, 2013.
12. ROSS, B.Z.L. Espuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. 166 f. *Tese* (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
13. 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, 2006.
14. SOUZA, C.L., AQUINO, S.F., CHERNICHARO, C.A.L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science & Technology*, v. 54, 201-208, 2006.
15. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., MELO, G.C.B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v. 65, 1229 – 1237, 2012.
16. VERSIANI, B.M., JORDÃO, E.P., VOLSCHAN JUNIOR, I., DEZOTTI, M.W.C., AZEVEDO, J.P.S. Intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais. *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, Brasil, 2005.