

REVISTA AIDIS

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

AVALIAÇÃO DO PERFIL ESPACIAL E POTENCIAL ENERGÉTICO DO METANO DISSOLVIDO EM REATOR UASB OPERANDO EM ESCALA PLENA

* Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa¹
Bárbara Zaniccotti Leite¹
André Luiz de Faria¹

EVALUATION OF THE SPATIAL PROFILE AND ENERGY POTENTIAL OF DISSOLVED METHANE IN FULL-SCALE UASB REACTOR

Recibido el 28 de mayo de 2020. Aceptado el 19 de octubre de 2020

Abstract

The anaerobic reactors, such as UASB reactors, are widely used in Brazil and require adequate management of sludge, scum and biogas that are the by-products of UASB. A portion of the gases generated in anaerobic treatment may remain dissolved in the liquid. The present work aimed to evaluate the content and energy potential of dissolved methane in the effluent of a full scale UASB reactor, along the height of the reactor. The results obtained allowed to conclude that the dissolved methane concentration inside the reactor is variable and increases with the effluent sampling depth, the determined average concentration of 11.04 ± 1.93 mg / L at the top of the reactor and 13.93 ± 1.32 mg / L at the bottom of the reactor. Furthermore, the standart deviations between experimental and simulation results of dissolved methane in the effluent are 50%. The energy from biogas and dissolved methane recovered from the UASB effluent is a feasible and sustainable alternative because it allows 553 homes to be supplied, or 34% of the ETE's energy needs to be met.

Keywords: dissolved methane, energy potential, UASB reactor.

¹ Gerência de Pesquisa e Inovação Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Brasil.

* *Autor correspondente:* Companhia de Saneamento do Paraná, Gerência de Pesquisa e Inovação. Rua Engenheiro Antonio Batista Ribas, 151 – Taramã, Curitiba, Paraná. CEP 82800-130 Brasil. Email: janainaogc@sanepar.com.br

Resumo

Os reatores anaeróbios, tais como os reatores UASB, são amplamente utilizados no Brasil e requerem o gerenciamento adequado do lodo, espuma e biogás que são os subprodutos do tratamento de esgotos nesse tipo de reator. Uma parcela dos gases gerados no tratamento anaeróbio pode permanecer dissolvida no líquido. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração e o potencial energético do metano dissolvido em efluente de reator UASB operando em escala plena, ao longo da altura do reator. Por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que a concentração de metano dissolvido no interior do reator é variável e aumenta quanto maior for a profundidade de coleta do efluente, sendo a concentração média determinada de 11.04 ± 1.93 mg/L no topo do reator e de 13.93 ± 1.32 mg/L no fundo do reator. Ainda, os desvios entre resultados experimentais e de simulação de metano dissolvido no efluente teóricos foram em média de 50%. O aproveitamento energético do biogás e do metano dissolvido recuperado do efluente de UASB é uma alternativa factível e sustentável, pois permite que 553 residências sejam abastecidas ou, ainda, que 34% da necessidade energética da ETE sejam supridas.

Palavras chave: metano dissolvido, potencial energético, reator UASB.

Introdução

Os reatores anaeróbios de manta de lodo possuem grande atuação no tratamento de esgoto no Brasil, devido às favoráveis condições operacionais. A utilização dos sistemas anaeróbios possui diversas vantagens em relação aos processos aeróbios, tais como o baixo consumo de energia, baixo custo de implantação, baixa produção de sólidos, dentre outras características, contudo, a utilização destes sistemas apresenta também características desfavoráveis como a remoção insatisfatória de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e patógenos (CHERNICHARO, 2011).

De acordo com Molloy (2005) e Souza *et al.* (2012), com a utilização de sistemas anaeróbios obtém-se alguns subprodutos, dentre eles o lodo, que após ser tratado pode ser utilizado como condicionador de solo e o biogás que pode ser utilizado como combustível e geração de energia. Park *et al.* (2014) descreve que entre os gases que compõe o biogás, tem-se o metano e o gás sulfídrico, sendo o primeiro responsável pelo potencial energético do biogás e o segundo, um dos principais geradores de maus odores nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Sedundo Caicedo (2014), uma parcela dos gases gerados no tratamento anaeróbio pode permanecer dissolvida no líquido e tal fato ocorre devido ao fenômeno de solubilidade líquido-gás. A solubilidade de um gás depende principalmente da natureza do gás, da composição do líquido, da temperatura, da pressão, do pH e das possíveis impurezas contidas no líquido. Há uma correlação linear entre a solubilidade do metano e a pressão parcial do gás em diferentes temperaturas, assim, quanto maior a pressão parcial maior a concentração de metano dissolvido no efluente.

Nelting (2016) relata em seus estudos que a pressão parcial de metano acima do compartimento de decantação influencia na quantidade de metano dissolvido no efluente. As medições em escala laboratorial mostraram que a cobertura dos reatores influencia na quantidade de metano dissolvido, sendo que em um reator UASB aberto a concentração de metano dissolvido é em média 20% menor do que em um reator coberto, à mesma temperatura e com o mesmo tempo de retenção hidráulica.

Souza *et al.* (2012) evidencia que o gás metano que não é direcionado à câmara de gás pode estar presente na forma dissolvida na massa líquida do efluente do UASB e na condição de supersaturação pode apresentar uma concentração na ordem de 19.8 mg/L. Ainda, segundo Nelting *et al.* (2017) quanto maior a profundidade de coleta do efluente no interior do reator anaeróbio maior a concentração de metano dissolvido.

Adicionalmente, nas observações realizadas por Souza *et al.* (2012) em reatores tipo UASB com tratamento e esgoto doméstico em escala plena foi confirmado que entre a zona de decantação e canaleta de saída do efluente há o desprendimento de 40% do metano que estava dissolvido no efluente de saída do reator anaeróbio e tal fato se deve ao turbilhonamento causado nos vertedores.

A presença de biogás dissolvido no efluente líquido de reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico tem sido uma problemática recorrente, que impacta no aproveitamento dos gases de potencial energético (metano em altas concentrações), no controle dos gases de efeito estufa (metano fugitivo em baixas concentrações) e os odorantes (sulfeto de hidrogênio) (BANDARA *et al.*, 2011; SANTO, 2017). De acordo com Caicedo (2014), é essencial que a concentração de metano dissolvido seja mensurada para estimar as emissões de biogás em ETEs e, também, para mensurar as perdas de potencial energético e direcionar tomadas de decisão para minimizar/eliminar sua ocorrência.

Os objetivos desse trabalho foram de avaliar a concentração de metano dissolvido em diferentes profundidades no compartimento de decantação de um reator UASB em escala plena visando determinar o ponto ótimo de coleta de efluente para futuras instalações de sistemas de recuperação de metano dissolvido. Também, realizar a comparação entre os valores medidos e estimados teoricamente de metano dissolvido em efluentes e determinar o potencial energético desta parcela do gás.

Material e métodos

O experimento foi realizado ao longo de 24 horas em um dos seis reatores UASB, de uma ETE de grande porte localizada na cidade de Curitiba-PR com capacidade de tratamento de 440 L/s.

Amostragem

As coletas foram realizadas em duplicata às 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 e 22 horas sendo que a coleta do efluente ocorreu em um dos reatores UASB da ETE com detenção de 8 horas a quatro profundidades diferentes 0.0; 0.5; 1.0 e 1.5 m da zona de decantação do reator (Figura 1). Visando minimizar e evitar as perdas de metano dissolvido no processo de amostragem, as amostras foram retiradas utilizando uma bomba portátil para extração de líquidos com tambor em plástico e êmbolo (tipo seringa). A vazão da ETE foi monitorada com medidor ultrassônico e foram realizadas análises de DQO no afluente e efluente em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* APHA et al. (2012).

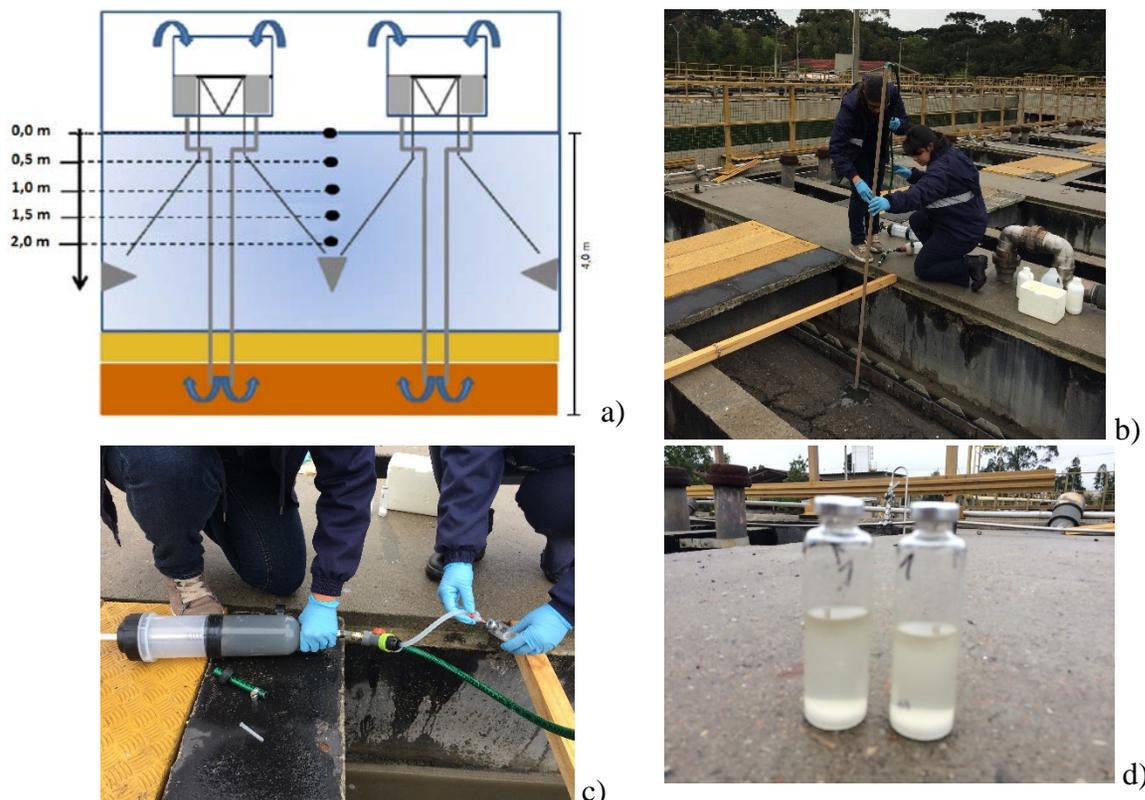


Figura 1. Desenho esquemático dos ponto de coleta de efluente (a), coleta do efluente em profundidade (b), transferência da amostra para o frasco de *head space* e frasco contendo amostra e NaCl (d).

Métodos Analíticos

As concentrações de CH_4 dissolvido foram monitoradas por meio da técnica de cromatografia gasosa de alta resolução, empregando um amostrador automático com *headspace*. As amostras foram previamente preparadas utilizando o método *salting out*. Para tanto, doze gramas de NaCl

foram colocados em frascos de *headspace*, com posterior fechamento à vácuo, sendo a massa da amostra mensurada em uma balança analítica. Adicionaram-se 10 ml de efluente a cada frasco para as análises.

Após a coleta das amostras, os frascos foram vigorosamente agitados manualmente por três minutos e mantidos sob refrigeração até o momento da análise. Antes da análise do gás, as amostras foram mantidas em uma incubadora até a temperatura de aproximadamente 25 ° C. Uma amostra de gás (0.15 mL) foi retirada por meio de seringa do *headspace* de cada frasco e analisada usando um cromatógrafo de gás Shimadzu GC-2014 (Shimadzu Deutschland GmbH, Duisburg, Alemanha) com hélio (99.999%) como gás de arraste e uma taxa de 27 mL min⁻¹ (CAICEDO, 2014).

Cálculos

As concentrações teóricas de CH₄ dissolvido foram calculadas de acordo com o modelo matemático de estimativa de produção de biogás proposto por Lobato (2011) que segue apresentado nas equações 1 e 2.

$$Q_{L-CH_4} = Q_{méd} \times p_L \times f_{CH_4} \times \left[\frac{R \times (273+T)}{P \times K_{DQO}} \right] \quad \text{Equação (1)}$$

$$p_L = \frac{\%CH_4}{100} \times K_h \times f_s \quad \text{Equação (2)}$$

Onde

$Q_{méd}$ = vazão média de esgoto (m³/d);

Q_{L-CH_4} = perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente (m³/d);

f_{CH_4} = fator de conversão de massa de metano em massa de DQO (coeficiente estequiométrico 4kgDQO/kgCH₄);

p_L = perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente (kg/m³);

K_h = constante de Henry (mg/L.atm);

f_s = fator de supersaturação de CH₄ na fase líquida;

P = pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO} = DQO correspondente a um mol de CH₄ (0.064 kgDQO/mol);

R = constante dos gases (0.08206 atm.L/mol.K);

T = temperatura operacional do reator (K).

A estimativa do potencial energético disponível do metano também foi calculada de acordo com o modelo matemático proposto por Lobato (2011), conforme equação 3.

$$PE_{CH_4} = Q_{N-CH_4} \times E_{CH_4} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde

PE_{CH_4} = potencial energético disponível (MJ/d);

Q_{N-CH_4} = vazão normalizada de metano (Nm³/d);

E_{CH_4} = energia calorífica decorrente da combustão do metano (35.9 MJ/Nm³).

Análises estatísticas

Os resultados das análises foram tratados estatisticamente no programa estatístico Minitab® 18, considerando-se um nível de confiança de 95%.

Resultados e discussões

Os perfis de DQO afluente e efluente estão dispostos na Figura 2 e demonstram que a DQO afluente foi em média igual a 571.29 ± 190.45 mg/L e a DQO efluente foi em média igual a 277.67 ± 50.26 mg/L. A eficiência de remoção de DQO foi de 60% e, tal fato, evidencia que os reatores operaram de modo satisfatório, uma vez que esse valor está próximo do indicado por Chernicharo (2011), o qual indica que a eficiência média de remoção de DQO em reatores anaeróbios varia tipicamente entre 55 e 75%.

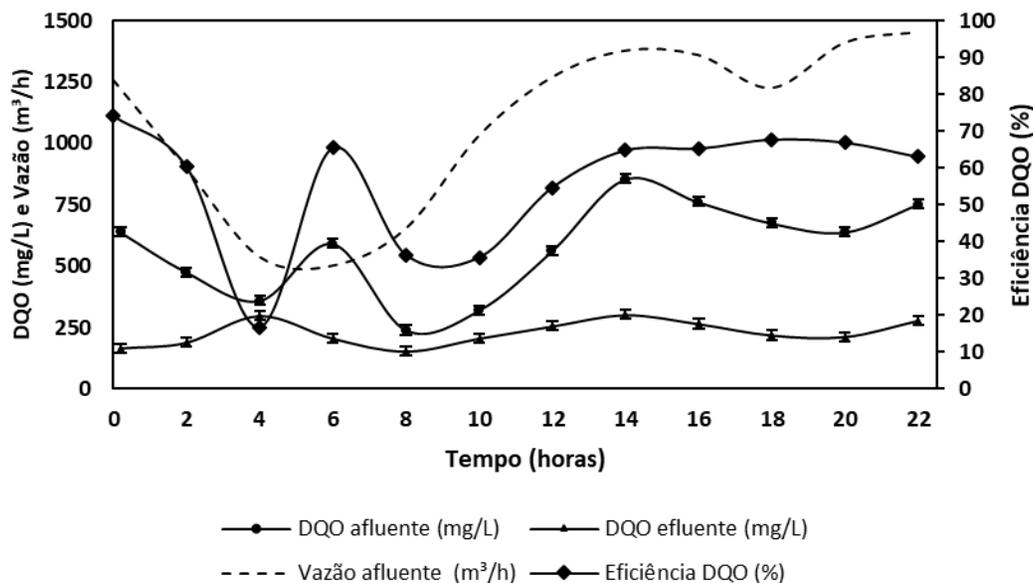


Figura 2. Monitoramento de vazão afluente da ETE e DQO afluente e efluente.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados obtidos para a concentração de metano dissolvido ao longo da profundidade do reator anaeróbio. Deste modo foi possível observar a tendência das medições, ou seja, a concentração de metano dissolvido é mais elevada ao nível do separados trifásico, ou seja, na maior profundidade e diminui ao longo da altura do compartimento de decantação, ou seja, mais próximo da superfície. O referido comportamento está de acordo com o descrito por Nelting *et al.* (2017) onde quanto maior a profundidade de coleta do efluente no interior do reator anaeróbio maior a concentração de metano dissolvido. Portanto, de acordo com as medições, o ponto ótimo de coleta

de efluente para futuras instalações de sistemas de recuperação de metano dissolvido se encontra ao nível do separador trifásico, ou seja, a 1.5 metros de profundidade. Ainda, considerando a mediana de todas as medições, pode-se resumir que aproximadamente 18% do metano dissolvido é perdido dentro do compartimento de decantação.

As concentrações calculadas e medidas de metano dissolvido ao longo de 24 horas no compartimento de decantação do reator estão representadas na Figura 4.

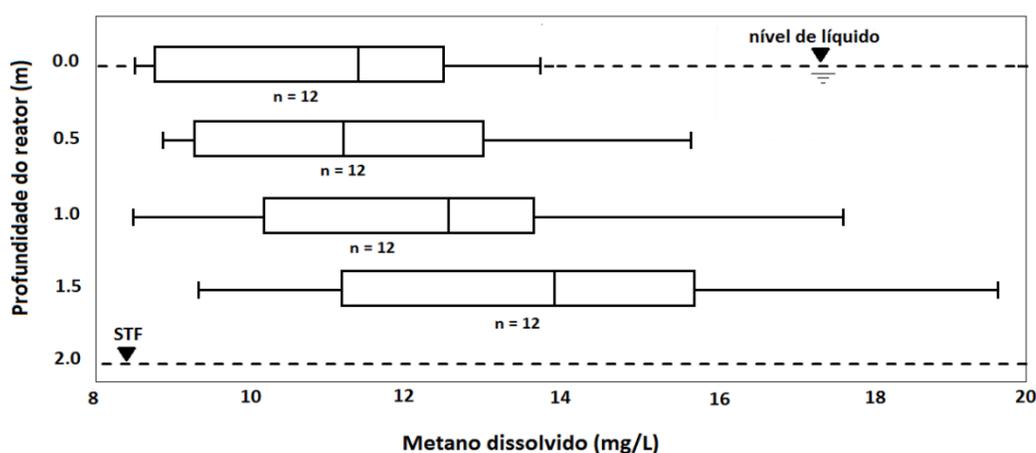


Figura 3. Concentrações de metano dissolvido em função da profundidade de coleta do efluente. n = número de amostras; STF – separador trifásico.

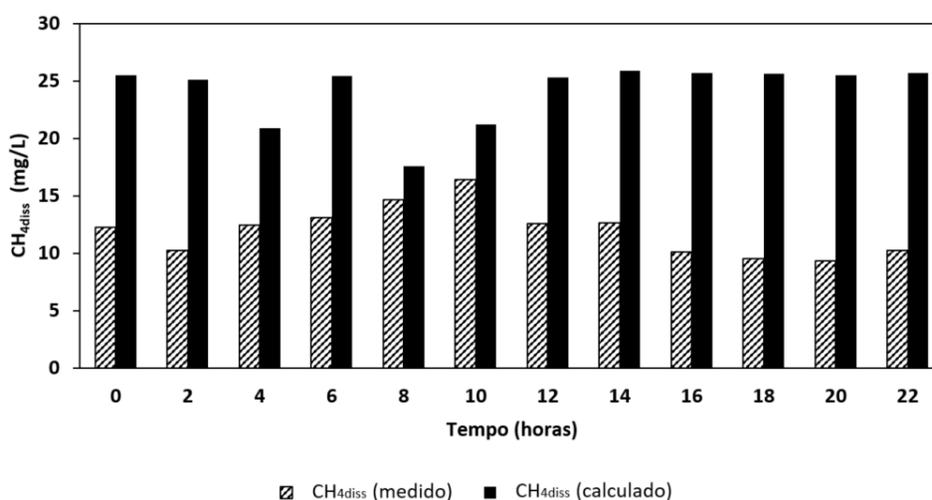


Figura 4. Concentrações calculadas e medidas de metano dissolvido ao longo de 24 horas no compartimento de decantação do reator UASB.

O teor médio de metano dissolvido foi de 11.95 ± 2.08 mg/L e este valor está próximo do indicado por Nelting *et al.* (2017), o qual indica que em efluentes o teor de metano dissolvido está entre 13 e 27 mg/L. De uma forma geral, os desvios entre resultados experimentais e de simulação foram altos, em média de 50%. As diferenças entre os resultados podem ter diversas fontes, como por exemplo: modelo proposto pode não representa adequadamente o processo experimental, como condições de contorno adotadas de temperatura, pressão e tratabilidade do esgoto. Ainda, tais incompatibilidades teóricas e práticas podem ocorrer devido aos resultados experimentais diferirem dos valores reais das grandezas observadas devido a possíveis erros experimentais, ou ainda se há algum problema desconhecido no processo.

A ETE apresenta um potencial energético proveniente do biogás de 4857 kWh/d e do metano dissolvido de 3459 kWh/d. Desta forma, se o biogás e o metano dissolvido recuperado, após purificação, forem destinados à um grupo motogerador com 35% de eficiência é possível ocorrer a geração de energia elétrica na ordem de 2910 kWh/d. A energia elétrica proveniente do aproveitamento energético do biogás e do metano dissolvido são suficientes para abastecer 553 residências ou, ainda, suprir 34% da necessidade energética da ETE. Portanto, diante do exposto entende-se que o aproveitamento energético do biogás e a recuperação e aproveitamento do metano dissolvido do efluente dos reatores UASB é uma alternativa factível e sustentável.

Conclusões

Por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que, ao longo de 24 horas, a concentração de metano dissolvido no interior do reator do tipo UASB é variável, quanto maior a profundidade de coleta do efluente no interior do reator anaeróbio maior a concentração de metano dissolvido. Portanto, de acordo com as medições, o ponto ótimo de coleta de efluente para futuras instalações de sistemas de recuperação de metano dissolvido se encontra ao nível do separador trifásico, ou seja, a 1,5 metros de profundidade. Ainda, os desvios entre resultados experimentais e de simulação de metano dissolvido no efluente foram em média de 50%, indicando uma necessidade de atualização do modelo. O aproveitamento energético do biogás e do metano dissolvido recuperado do efluente de UASB é uma alternativa factível e sustentável, pois permite que 553 residências sejam abastecidas ou, ainda, que 34% da necessidade energética da ETE sejam supridas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a grande contribuição dos colaboradores da Gerência de Pesquisa e Inovação (GPIN) e da Gerência de Tratamento de Esgotos (GTESG) da Sanepar na execução dessa pesquisa. Estendemos nossos agradecimentos ao grupo de pesquisas do INCT – ETEs Sustentáveis pela divulgação de conhecimentos valiosos.

Referências bibliográficas

- APHA, American Public Health Association (2012) *Standard methods for examination of water and wastewater*, 22th ed., Washington, DC, USA, 1504 pp
- Bandara, W.M., Satoh, H., Sasakawa, M., Nakahara, Y., Takahashi, M., Okabe S. (2011). Removal of residual dissolved methane gas in an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating low-strength wastewater at low temperature with degassing membrane, *Water Research*, **45**(11), 3533-3540.
- Caicedo, C. (2014) *Quantification of dissolved methane in different anaerobic systems treating domestic wastewater*, Tese de Mestrado, Institute of Water Quality and Waste Management, Universität Hannover, Hannover, 100 pp.
- Chernicharo, C.A.L. (2011) *Reatores Anaeróbios*. 2ª ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte, 380 pp.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland, 104 pp
- Lobato, L. C. S. (2011) *Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgotos domésticos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 184 pp.
- Molloy, R., McLaughlin, M., Warne, M., Hamon, R., Kookana, R., Saison, C. (2005) *Background and scope for establishing a list of prohibited substances and guideline limits for levels of contaminants in fertilizers*, Austrália, 58 pp.
- Nelting, K. (2016) *Prozessanalyse und Bemessung großtechnischer UASB-Reaktoren zur Kommunalabwasserbehandlung*. Tese de Mestrado. Institute of Water Quality and Waste Management, Universität Hannover, Hannover, 116 pp.
- Nelting, K., Trautmann, N., Caicedo, C., Weichgreb, D., Rosenwinkel, K. H., Costa, F. J. O. G., Possetti, G. R. C. (2017) Constraints on the dissolved methane in the effluent of full scale municipal UASB reactors, *The 14th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies*, Florianópolis, Brasil.
- Park, K., Lee, H., Phelan, S., Liyanaarachchi, S., Marleni, N., Navaratna, D., Jegatheesan, V., Shu, L. (2014) Mitigation Strategies of Hydrogen Sulphide Emission in Sewer Networks. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **95**(A), 251-252.
- Santo, B. C. E. (2017) *Avaliação de câmara de dessorção de metano e sulfeto de hidrogênio dissolvidos em efluentes de reatores uasb tratando esgoto doméstico*. Tese de Mestrado, Programa de Pós-graduação Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 131 pp.
- Souza, C., Chernicharo, C., Melo, G. (2012) Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science & Technology*, **65**(7), 1229-1237.