

II-394 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO E PERDAS DE METANO POR DIFERENTES MODELOS EM REATOR UASB DA ETE-UFLA

Mateus Pimentel de Matos⁽¹⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor na Universidade Federal de Lavras.

Lucas Barreto Campos⁽²⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Lavras.

Luciene Alves Batista Siniscalchi⁽³⁾

Bióloga pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora na Universidade Federal de Lavras.

Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi⁽⁴⁾

Meteorologista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professora na Universidade Federal de Lavras.

Lucas Cardoso Lima⁽⁵⁾

Geógrafo pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras. Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. Campus Universitário. Universidade Federal de Lavras - Lavras - MG - CEP: 37200-000 - Brasil - Tel: (35) 3829-4629- e-mail: mateus.matos@ufla.br

RESUMO

O metano (CH_4) é um gás de potencial de aproveitamento energético produzido no tratamento de esgotos (ETEs) em reatores UASB. Porém, o seu aproveitamento ainda apresenta muitos desafios para muitas das ETEs do país. Na ETE da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), existem seis reatores UASB em operação desde 2012, contudo o aproveitamento do gás não tem ocorrido, em função do baixo armazenamento nas bags. Por essa razão, objetivou-se neste trabalho estimar a produção teórica de CH_4 na ETE-UFLA, por diferentes modelos, UNFCCC e de DQO removida tradicional e modificada, e investigar as possíveis perdas. Para isso monitorou-se as eficiências de remoção de DQO, sólidos totais (ST) e voláteis (SV), os valores de pH, de alcalinidade e concentração de nutrientes na entrada do UASB, além da concentração de CH_4 dissolvido no efluente. Com os resultados, observou que as condições de operação não justificam a baixa produção/armazenamento de CH_4 , e que o método da DQO removida descontando a remoção física (remoção de SV) do balanço de DQO, foi o que proporcionou os valores mais próximos aos encontrados na literatura e estimados pelo software Probio 1.0. A produção estimada de metano indica que tem havido baixa recuperação e perdas de CH_4 dissolvido no efluente e durante o transporte do gás no interior do reator.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço de massa, metano dissolvido, reator UASB.

INTRODUÇÃO

Reatores anaeróbios têm sido largamente utilizados em estações de tratamento de esgotos (ETE) em função da sua compacticidade, da redução da área necessária para tratamento aeróbio, da menor geração de lodo, da possibilidade de se evitar algumas etapas no tratamento do resíduo sólido gerado, além de gerar biogás (CHERNICHARO, 2007).

A composição típica dos gases coletados em reatores UASB, utilizados no tratamento de esgoto sanitário, é em torno de 70 a 80% de CH_4 , 10 a 25% de N_2 e 5 a 10% de CO_2 (LOBATO et al., 2013; CHERNICHARO et al., 2015). A importância no controle dessas emissões se dá pela contribuição do metano no efeito estufa (HOWARTH, 2014; IPCC, 2014) e pelo potencial de produção de energia após sua queima (BIOLTTA; ROSS, 2016; ROSA et al., 2017). De acordo com Bressani-Ribeiro et al. (2017), com a queima do biogás

podem ser gerados cerca de 11.646 GWh ano⁻¹ de energia térmica e 6.562 GWh ano⁻¹ de eletricidade, demonstrando o grande potencial que há em estações de tratamento de esgotos.

No entanto, a utilização do biogás como fonte energética apresenta alguns desafios. A produção de metano é dependente das condições operacionais (tempo de detenção hidráulica), condições ambientais, como temperatura, pH, alcalinidade, nutrientes, presença de cargas tóxicas, de sulfatos e disponibilidade de substrato (CHERNICHARO, 2007; CHERNICHARO et al., 2015). O gás sulfídrico, mesmo em baixas concentrações, pode liberar odores e causar corrosão na tubulação de condução do biogás e da energia produzida (NOYOLA et al., 2006; VARNERO et al., 2012).

Além disso, do CH₄ produzido, nem todo ele é captado no separador trifásico, sendo perdido dissolvido no efluente e desprendido na atmosfera, sem ser captado (SOUZA et al., 2012). Novas pesquisas apontam ainda a presença de microrganismos metanotróficos, capazes de realizar a metanogênese reversa e dessa forma, promover a oxidação do CH₄ a CO₂, utilizando-se diferentes aceptores de elétrons, em sistemas anaeróbios, tendo redução da presença do gás no sistema (SINISCALCHI et al., 2016).

Para avaliar o potencial de geração de metano em uma ETE, existem alguns modelos na literatura, tais como o proposto pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC - Equação 1) e segundo o balanço de massa de DQO corrigido com a temperatura (Equação 2) (CHERNICHARO, 2007). A Equação 3 é utilizada para calcular o fator de correção com a temperatura.

$$P_{CH_4} = Q * S_0 * \eta_{rem} * CP_{CH_4} * FCM * FCI \quad \text{Equação (1)}$$

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T) \quad \text{Equação (2)}$$

$$f(T) = P \cdot K_{DQO} / R \cdot (273 + T) \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: P_{CH₄} é a produção de metano em uma ETE (kg d⁻¹); Q é o volume de água tratada (m³ d⁻¹); S₀ é a DQO da água residuária (kg m⁻³); η_{rem} é a eficiência de remoção de DQO do sistema; CP_{CH₄} é a capacidade de produção do metano (0,25 kg_(CH₄).kg_(DQO)⁻¹); FCM é o fator de correção do metano em função do tipo de tratamento; FCI é o fator de correção devido a incertezas (0,89); Q_{CH₄} é a produção volumétrica de metano (m³ d⁻¹); DQO_{CH₄} é a carga de DQO removida e convertida em metano (gDQO); f(T) é o fator de correção para a temperatura (kgDQO m⁻³); P é a pressão atmosférica (1atm), KDQO, corresponde a um mol de DQO (64 gDQO mol⁻¹), R é a constante dos gases (0,08206 atm L mol⁻¹ K⁻¹).

Dentro da Universidade Federal de Lavras (UFLA), há uma estação de tratamento de esgotos (ETE-UFLA), a qual recebe e trata os efluentes gerados no campus. Dentre as unidades de tratamento, há reatores UASB que geram metano, e existe uma preocupação da universidade em fazer o aproveitamento energético do biogás. No entanto, a ETE-UFLA tem apresentado problemas na captação e armazenamento do biogás, em função da baixa vazão que alimentam os bags, mesmo com a operação normal da estação. Dessa maneira, o presente trabalho objetivou avaliar as condições de operação do reator UASB, além de estimar a produção teórica, pela utilização de diferentes modelos, quantificando também as possíveis rotas de perdas do metano na estação de tratamento de efluentes da Universidade Federal de Lavras.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na estação de tratamento de esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), que é composta, dentre outras unidades de tratamento, por seis reatores UASB. Esses foram projetados para atender vazão de 900 m³ d⁻¹ de esgoto sanitário gerado no campus, operando, no período do experimento (junho a julho de 2017) com vazão de 150 m³ d⁻¹, garantindo um tempo de detenção hidráulica (TDH) seis vezes superior a de projeto, que é de 10 h.

O biogás produzido no reator anaeróbio sai pelo separador trifásico e é captado por tubulações que conduzem até o seu armazenamento em *bags*, onde ficaria retido até a queima. No entanto, pela baixa vazão de biogás, ainda não é feita a conversão do metano a dióxido de carbono. Como é proposta da universidade realizar o aproveitamento energético do metano, é necessário estimar a vazão produzida de metano e as avaliar as possíveis perdas.

Para a avaliação do potencial de produção de metano e estimar as perdas, foi monitorado apenas um dos seis reatores, realizando sete coletas (27 e 29/06, 4, 6, 11, 13 e 18/07) com determinação, em todos ou em alguns desses dias, das concentrações de DQO, Sólidos Voláteis (SV) e Totais (ST), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total e alcalinidade total, além dos valores de pH afluentes e efluentes ao reator UASB. As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFLA e de Análise de Águas do Departamento de Engenharia, onde foram realizadas análises em triplicata, seguindo metodologia presente em APHA et al. (2012).

As Equações 1 e 2, apresentadas na literatura, além das Equações 4, 5 e 6, propostas neste trabalho, foram utilizadas com o intuito de estimar a produção teórica de biogás na ETE-UFLA. A remoção da DQO em reatores UASB ocorre por degradação anaeróbia e por princípios não biológicos, com a sedimentação, precipitação ou adsorção na superfície da biomassa (CHERNICHARO, 2007). Segundo Oliveira e Foresti (2004), as remoções físicas são parte importante da remoção de matéria orgânica em reatores UASB, de acordo com a avaliação feita no tratamento da água residuária da suinocultura. Dessa forma, foi adicionado um outro termo à Equação 2, que é a remoção de sólidos voláteis (SV), retirando a contribuição da remoção física, que não acarreta em produção de metano ($DQO_{rem\ II}$).

$$Q_{CH_4} = [DQO_{rem} - SV_{rem}] / f(T) \quad \text{Equação (4)}$$

Em que, DQO_{rem} é a carga de DQO removida, que na Equação 2 é considerada convertida totalmente em CH_4 , e SV_{rem} é a carga de sólidos voláteis removidos. A utilização de sólidos voláteis (SV), ao invés dos sólidos totais (ST) se deve a apresentação de valores mais condizentes e relacionados com as mudanças nos valores de DQO dessa variável, avaliados na entrada do reator UASB.

Sabe-se que a degradação anaeróbia gera além de CH_4 , CO_2 e outros gases, energia para a reprodução e crescimento das células microbianas. Assim, nem toda a DQO removida é convertida em biogás. Na Equação $DQO_{rem\ III}$, foi avaliado o efeito de introdução do coeficiente de produção de biomassa (Y), dado em gSSV por gDQO_{remov}, que segundo Chernicharo (2007), varia de 0,12 a 0,15 gSSV gDQO⁻¹ (foi adotado o limite máximo na avaliação). Essa equação será denominada, para fins práticos, como Equação $DQO_{rem\ III}$.

$$Q_{CH_4} = [DQO_{rem} * (1 - Y)] / f(T) \quad \text{Equação (5)}$$

Como última tentativa, uniu-se os fatores relacionados das Equações 4 e 5, resultando na Equação $DQO_{rem\ IV}$.

$$Q_{CH_4} = [DQO_{rem} - SV_{rem}] * (1 - Y) / f(T) \quad \text{Equação (6)}$$

Os valores da DQO removida foram multiplicados pela massa específica teórica do metano (0,7143 kg m⁻³) para que ficasse na mesma unidade dos resultados do método UNFCCC e eles pudessem ser comparados (GERVASONI; CANTÃO, 2011). Nos cálculos, também assumiu-se uma temperatura de 20°C para o efluente dentro do reator, valor normalmente encontrado na unidade nesta época do ano.

Para avaliar a rota do metano dissolvido no efluente, adaptou-se as metodologias descritas por Alberto et al. (2000) e Souza et al. (2011). Amostras diárias da saída do reator foram coletadas em garrafas pet (com preenchimento total do recipiente), fechadas e armazenadas a 4 °C até o momento da análise. Do conteúdo, 25 mL foram transferidos para frascos tipo "conta gotas" (70 mL), sendo agitados por 10 min, em mesa agitadora a 250 rpm.

Os testes foram realizados em triplicata e os frascos selados com silicone a fim de evitar a perda de gás pelos orifícios feitos para coleta com a agulha. Os frascos foram levados à Central de Análises e Prospecção Química da Universidade Federal de Lavras para a determinação da concentração de metano por cromatografia gasosa, no equipamento GC 2010 da Shimadzu, equipado com uma coluna RT-QPLOT. Os resultados obtidos nos dias 05 a 07/07 (3 amostras em triplicata) foram utilizados na equação apresentada por Souza et al. (2011).

$$[\text{CH}_4] = \{([\% \text{CH}_4]_g / 100) \cdot [d \cdot V_g + (P_T - P_V)] \cdot K_H \cdot V_L\} / V_L$$

Equação (7)

Em que, $[\text{CH}_4]$ é a concentração de metano dissolvido em mg L^{-1} ; $[\% \text{CH}_4]_g$ é a concentração percentual de metano na fase gasosa do frasco (%); d é a massa específica do metano (calculada como $582,3 \text{ mg L}^{-1}$ a 25°C e $0,89 \text{ atm}$); V_g é o volume da fase gasosa (mL); P_T é a pressão atmosférica ($0,89 \text{ atm}$ para a cidade de Lavras, MG); P_V é a pressão de vapor de água ($0,032 \text{ atm}$ a 25°C); K_H é a constante da lei de Henry para metano ($21,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ a 25°C); V_L é o volume da fase líquida (mL).

Para comparação dos valores obtidos de produção de metano, foi utilizado o software ProBio 1.0, programa desenvolvido para estimativa de produção de biogás em reatores UASB tratando esgotos sanitários, sendo uma parceria entre a Sanepar e a UFMG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios, do desvio padrão e o número de dados de cada variável monitorada, além das eficiências de remoção.

Tabela 1: Valores médios afluentes e efluentes ao reator UASB monitorado, além do número de dados (N), desvio padrão e eficiência de remoção (E).

	DQO	ST	SV	Alcalinidade	NTK	P-total	pH
	-----mg L ⁻¹ -----						-
Afluente	847±652	986±655	986±655	528±138	154±50	5,7±1,3	7,45±0,23
Efluente	263±233	550±383	550±383	-	-	-	7,13±0,30
N	7	7	7	2	2	2	7
E (%)	62±28	33±20	48±21	-	-	-	-

A partir dos resultados apresentados, observa-se que a eficiência de remoção de DQO está dentro da faixa comumente encontrada de 55-70% no tratamento de esgoto sanitário. A relação DQO:N:P média nos dois dias avaliados foi de 149:27:1, inferior ao máximo recomendado para o tratamento anaeróbio, que é de 350:5:1. Outras duas variáveis de grande importância para o bom funcionamento de reatores anaeróbios são o pH e a alcalinidade. A segunda variável deve proporcionar uma condição de tamponamento que impeça o abaixamento brusco do pH, para valores fora da faixa de 6,6 a 7,4. Assim, observa-se que, comparando aos valores recomendados em Chernicharo (2007), as condições de operação e o desempenho do reator UASB da ETE-UFLA não explicam o baixo armazenamento de biogás. Assim, possíveis rotas de perdas devem ser investigadas.

Os resultados das análises de metano dissolvido no efluente do reator UASB estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Concentração média de metano dissolvido no efluente do reator UASB.

Dias	Média CH ₄ (mg L ⁻¹)
05/07/17	35,85
06/07/17	10,79
07/07/17	34,16
Média	26,93

A concentração de metano dissolvido encontrada no efluente do reator UASB foi, nos dias 05 e 07/07, superior ao observado nos trabalhos de Gervasoni e Cantão (2011) (10 mg L^{-1}) e Souza et al. (2011) (17 a 22 mg L^{-1}), indicando ser uma dissolução do gás, uma importante fonte de perda do gás.

Para Greenfield e Batson (2005), outro fator influente é o grau de agitação do líquido. Na ETE-UFLA, a saída do líquido tratado no reator UASB ocorre por meio de um vertedouro tipo tulipa, havendo um ressalto hidráulico que causa turbulência na massa líquida. Desta maneira, as concentrações de metano dissolvido poderiam ser ainda maiores, o que sugere que uma parte do gás pode estar escapando pela estrutura do UASB.

Na Tabela 3, estão apresentadas as porcentagens que equivalem o CH₄ dissolvido, a DQO efluente e a estimativa do CH₄ recuperado (CH₄(rec)), em relação à carga de DQO que entrou no reator UASB. Para cálculo do CH₄ recuperado, foi subtraída a porcentagem referente a produção estimada pelos modelos avaliados (UNFCCC, DQOrem I, II, III e IV), pela porcentagem de metano dissolvido (CH₄(d)). Para comparação dos valores obtidos, foi aplicada a vazão afluente no reator UASB avaliado (23,3 m³ d⁻¹) e a DQO afluente média no software ProBio 1.0 (que já fornece todas as porcentagens diretamente).

Tabela 3: Porcentagens da DQO afluente convertidas a metano dissolvido (CH₄(d)), recuperado (CH₄(rec)) e a parcela da DQO não removida (DQO_{efl}). A parte complementar (Compl.) é a subtração das três frações.

	CH ₄ (rec.) (%)	CH ₄ (d) (%)	DQO _{efl} (%)	Compl. (%)
UNFCCC	-12,2	18,2	33,7	60,3
DQO_{rem} I	54,5	18,2	33,7	-6,4
DQO_{rem} II	29,6	18,2	33,7	18,5
DQO_{rem} III	49,3	18,2	33,7	-1,2
DQO_{rem} IV	-0,1	18,2	33,7	48,2
ProBio 1.0	34,4	10,5	33,7	21,4

O complemento, que é a diferença da porcentagem que não saiu no efluente e o que não resultou na produção de metano (recuperado e dissolvido), é devido à DQO utilizada pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS), convertida em lodo e perdas para a atmosfera e gás residual como CH₄ (discriminados em porcentagem no ProBio 1.0).

Ao comparar os dois primeiros métodos, Gervasoni e Cantão (2011) observaram que os valores obtidos pela DQO removida eram muito superiores aos do primeiro método (UNFCCC), resultado que corrobora as observações do trabalho. Desconsiderando do balanço de massa de DQO, o que foi removido por sedimentação ou sorção dos sólidos, a produção diminui. No entanto, não se pode afirmar que toda a remoção de SV ocorreram por mecanismos físicos. Oliveira e Foresti (2004) encontraram que as remoções físicas eram responsáveis por 49 a 72% de toda a redução da concentração de DQO em reatores UASB tratando a água residuária da suinocultura. Utilizando o método da DQO removida II, houve desconto de 32 a 55%, o que parece ser razoável.

Calculando pelo método da DQO removida III, em que se leva em conta que nem toda a massa de DQO consumida é convertida em metano, uma parte é utilizada para crescimento celular, a produção bruta de metano diminui em relação ao método da DQO removida I. Porém, assim como o método mencionado, ambos apresentam causar superestimativa da produção de gás metano (complemento negativo). Ao se considerar a Equação 6, na qual há desconto da remoção física e da DQO utilizada para crescimento microbiano, chega-se a um complemento positivo de 48,2%, sendo que parte pode ter sido usado pela microbiota para redução de sulfato.

Souza et al. (2011) encontraram que 46,8% da DQO afluente foi convertida a metano, sendo que parte do gás saiu como biogás (29,7%) e o restante foi perdido dissolvido no efluente (17,1%), valores próximos aos encontrados pelo método da DQO removida II (29,6% recuperado e 18,2% dissolvido no efluente do UASB). Segundo Chernicharo (2007), essa porcentagem de conversão fica entre 50 a 70%, enquanto a estimativa pelo DQOrem II, esse valor estaria em 47,8%. Desta forma, o modelo da DQO removida se apresenta adequado, aproximando do que está apresentado na literatura, o que contraria as conclusões do estudo de Gervasoni e Cantão (2011), que consideram o método UNFCCC mais apropriado.

Comparando com as porcentagens obtidos usando o software ProBio 1.0, verifica-se, novamente, que o método DQO_{rem} II é que o mais se aproxima. As diferenças podem estar relacionadas à subestimativa das perdas de metano dissolvido em função da maior perda para atmosfera; ao uso de DQO pelas BRS; além das grandes variações de condições de operação da ETE, com grande variabilidade das concentrações de matéria orgânica afluente.

Em função da produção teórica de 1,650 kgCH₄ d⁻¹ (DQOrem II), sugere-se a investigação de possíveis perdas durante a saída pelo separador trifásico e a condução pela tubulação até as bags, para não perder esse potencial de produção de energia elétrica.

CONCLUSÕES

Com a realização do estudo exploratório, foi possível observar que as condições de operação da Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA) não são limitantes à produção/armazenamento de CH₄ nas *bags* presentes. De acordo com a comparação com a literatura e utilizando o software ProBio 1.0, observou-se que o método da DQO removida II, com supressão do efeito da remoção física (DQOremov II), é aquele que se mostrou mais adequado para estimar a produção de metano na ETE-UFLA, indicando uma produção teórica de 1,650 kgCH₄ d⁻¹. Sugere-se a adoção de medidas para que a ETE não perca o potencial de produção de energia elétrica, que pode resultar em economia na sua operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBERTO, M. C. R.; ARAH, J. R. M.; NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; ADUNA, J. B.; BRONSON, J. R. A sampling technique for the determination of dissolved methane in soil solution. *Chemosphere: Global Change Science*, v. 2, p. 57-63, 2000.
2. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2012. 1496 p.
3. BILOTTA, P.; ROSS, B. Z. L. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, p.275-282, v.21, n.2, 2016.
4. BRESSANI-RIBEIRO, T.; BRANDT, E .M. F.; GUTIERREZ, K. G.; DÍAZ, C. A.; GARCIA, G. B.; CHERNICHARO, C. A. L. Potential of resource recovery in UASB/trickling filter systems treating domestic sewage in developing countries. *Water Science and Technology*.2017.
5. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento de águas residuária - Reatores anaeróbios, v.5, 2a edição. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007. 380p.
6. CHERNICHARO, C. A. L.; VAN LIER,J. B.; NOYOLA, A.; BRESSANI-RIBEIRO, T. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraintsand challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v.14, p.649-679, 2015.
7. GERVASONI, R., CANTÃO, M. P. Produção de metano a partir da digestão anaeróbia: relação entre teoria e prática. *Espaço Energia*, n.15, out. 2011.
8. GREENFIELD, P. F., BATSTONE, D. J. Anaerobic digestion: impact of future greenhouse gases mitigation policies on methane generation and usage. *Water Science and Technology*. v. 52, n1, p. 39-47. 2005.
9. HOWARTH, R. W. A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Science and Engineering*, p.1-14, 2014.
10. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.
11. LOBATO, L. C. S; CHERNICHARO C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates ofmethane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v.66, n.12, p.2745–2753, 2012.
12. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M. M.; LÓPEZ-HERNANDES, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v.5, n.93, p.93-114, 2006.
13. OLIVEIRA, R. A.; FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.3, p.807-820, 2004.
14. ROSA, A. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; LOBATO, L. C. S.; SILVA, R. V.; PADILHA, R. F.; BORGES, J. M. Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. *Renewable Energy*, online, 2017.
15. SINISCALCHI, L. A. B.; VALE, I. C. C.; ANTUNES, J. D.; CHERNICHARO, C. A. L.; ARAÚJO, J. C. Enriquecimento de microrganismos metanotróficos a partir de lodo de reator UASB tratando esgotos domésticos. *Journal of Environmental Management*, v.151, p.200-209, 2015.
16. SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L.; AQUINO, S. F. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. *Water Science and Technology*, v.64, n.11, 2011.
17. SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L.; MELO, G. C. B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactorstreating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v.65, n.7, 2012.
18. VARNERO, M. T.; CARÚ, M.; GALLEGUILLOS, K.; ACHONDO, P. Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en laGeneración Eléctrica. *Información Tecnológica*, v.23, n.2, p.31-40, 2012.