

## **II-128 - CODIGESTÃO DE BIOMASSA DE MICROALGAS E ESGOTO SANITÁRIO EM UM REATOR UASB: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS DO LODO**

**Ricardo Franci Gonçalves<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil - Ênfase Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com Especialização em Engenharia de Saúde Pública na ENSP - FIOCRUZ (RJ), DEA Sciences Et Techniques de L'environnement-Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées, doutorado em Engenharia do Tratamento de Águas -Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse. Pós-doutorado no Departamento de Gestão de Águas Urbanas da Universidade Técnica de Berlim - Alemanha. Professor Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

**Tatiana Izato Assis<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pelas Faculdades Integradas Espírito Santense (FAESA). Mestra em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Engenheira Ambiental na Prefeitura Municipal de Cariacica.

**Larissa Miranda Louzada<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

**Raquel Machado Borges<sup>(4)</sup>**

Engenheira Química Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Pós-doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professora da Coordenadoria de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES - Campus Vitória).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras - Vitória - ES - CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2222 - e-mail: [franci@npd.ufes.br](mailto:franci@npd.ufes.br)

### **RESUMO**

A biomassa de microalgas sem pré-tratamento cultivada em duas lagoas de algas de alta taxa foi codigerida com esgoto sanitário em um reator UASB em escala piloto ( $V=3,78 \text{ m}^3$ ). Os efeitos da codigestão nas características anaeróbias do lodo foram avaliados. Para isso, o reator foi alimentado primeiramente com esgoto por 164 dias e então operado em codigestão por 108 dias. O perfil de lodo mostrou que o processo de codigestão proporcionou o aumento de aproximadamente 14% na relação SV/ST na região de manta (49% - 68% para 70% - 75% para a relação SV/ST), prejudicando a estabilidade biológica do lodo de descarte e indicando dificuldades na digestão de células de microalgas. A idade do lodo diminuiu de 108 dias para 98 dias como consequência do aumento da produção de sólidos de  $0,5 \pm 0,3 \text{ kgST.d}^{-1}$  na digestão para  $0,6 \pm 0,4 \text{ kgST.d}^{-1}$  na codigestão, o que sugere aumento na frequência de descarga do lodo. Houve aumento de 11% na quantidade de EPS do reator durante a codigestão, o que pode influenciar na capacidade de perda de umidade do lodo anaeróbio do UASB através dos métodos de desidratação mais utilizados em ETEs. Esses resultados sugerem que a codigestão da biomassa de microalgas e do esgoto sanitário em um reator UASB modifica as características do lodo de descarte, o que afetará as unidades operacionais subsequentes e o gerenciamento desse resíduo na ETE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Codigestão anaeróbia, Esgoto, Lodo, Microalgas, UASB.

### **INTRODUÇÃO**

As estações de tratamento de esgoto (ETE) podem ser parte importante da sustentabilidade circular devido à integração da produção de energia e recuperação de recursos durante a produção de água limpa. Nesse sentido, a codigestão de esgoto com outros resíduos biodegradáveis nas ETEs é uma opção que oferece uma série de benefícios econômicos e ambientais (NECZAJ; GROSSER, 2018). Esse processo consiste na digestão

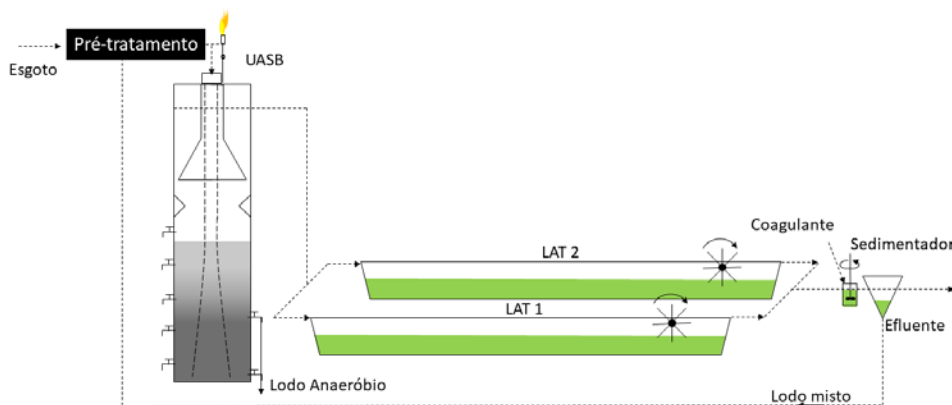
anaeróbia de duas ou mais substâncias biodegradáveis em um único reator e na maioria dos promove interações positivas no meio, como balanço de nutrientes, melhoria na capacidade de tamponamento, aumento do carbono/nitrogênio relação (C/N) e a diminuição da concentração de substâncias inibitórias. (KIM; KANG, 2015, BAYR et al. 2014). Adicionalmente, estudos indicam que a codigestão entre a biomassa de microalgas e substratos orgânicos aumenta a produção de biogás (OLSSON et al., 2014; HAGOS et al., 2017).

Os reatores anaeróbios de alta taxa, como Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), foram propostos como uma alternativa para digerir diretamente a biomassa de microalgas sem a necessidade de desidratar completamente a biomassa. Ao utilizar esses reatores, o custo associado à desidratação pode ser diminuído (ZAMALLOA et al., 2012). Além disso, o alto grau de estabilização encontrado no lodo anaeróbio, associado à sua alta idade de lodo, simplifica o fluxograma das estações de tratamento de efluentes (ETE), reduzindo os custos de implantação e operação (KHAN et al., 2015, RIZVI et al., 2015). Alguns fatores influenciam no processo de gerenciamento do lodo do reator como: a concentração de sólidos presentes no lodo, o grau de estabilidade e a quantidade de polímeros extra-celulares (EPS).

O aumento da quantidade de EPS no lodo permite o aprisionamento de moléculas de água nas cadeias poliméricas aumentando a quantidade de água intersticial e reduzindo a quantidade de água livre (WANG et al., 2016; LI et al., 2017). A alta relação SV/ST aumenta a instabilidade do lodo pela elevada quantidade de matéria orgânica levando ao aumento da resistência à filtração e a concentração de sólidos influencia no volume de lodo a ser manuseado. Sabe-se que as características do lodo de esgoto produzido nos reatores UASB dependem de inúmeros fatores, como a taxa de carregamento orgânico, as características do afluente, a idade do lodo e a velocidade do fluxo ascendente (JAYARAMAN; GÖKALP, 2015, VON SPERLING, 2007). Portanto, esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da codigestão de biomassa de microalgas sem pré-tratamento e esgoto sanitário sobre as características do lodo de descarte de um reator UASB em escala piloto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O aparato experimental consiste em um reator UASB piloto, feito de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), com 4,8 m de altura e 1 m de diâmetro, totalizando 3,78 m<sup>3</sup> de volume útil, seguido de duas lagoas de alta taxa (LATs) de 13,7 m<sup>3</sup> cada para pós-tratamento de efluente anaeróbio. O cultivo mixotrófico da biomassa de microalgas, denominada a seguir de lodo misto foi realizado nas duas LATs. Maiores detalhes do sistema de tratamento do fluxograma podem ser vistos na Figura 1. No sistema de separação sólido-líquido, um floculante comercial baseado em tanino TANAC® foi usado na dosagem média de 50 mg.L<sup>-1</sup>. O descarte do lodo misto do sistema de separação sólido-líquido para um reservatório de lodo era realizado diariamente, com o auxílio de uma bomba submersível. Do reservatório, o lodo era encaminhado por gravidade para o interior do reator UASB, onde ocorria o processo de codigestão anaeróbia com o esgoto sanitário.



**Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento.**

O reator estava em operação por 138 dias com regime estável e com o inóculo adaptado ao afluente quando este trabalho foi iniciado. A princípio, a digestão anaeróbia com esgoto durou 164 dias. Após essa etapa, foi iniciado o processo de codigestão de esgoto e lodo misto, que durou 108 dias. O reator foi continuamente

alimentado com esgoto e diariamente com lodo misto que foi bombeado a uma vazão média de  $7 \text{ mL.s}^{-1}$ , por um período médio diário de 6 horas. A Tabela 1 apresenta as características das condições de operação testadas.

**Tabela 1: Condições operacionais do reator UASB nos dois processos**

Condições Operacionais	Digestão	Codigestão
Dias monitorados (d)	164	108
Vazão ( $\text{L.s}^{-1}$ )	$0,12 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,02$
DQO afluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$406 \pm 116$	$395^1 \pm 147$
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$26,7 \pm 2,4$	$23,4 \pm 1,4$
COV ( $\text{kgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ )	$1,14 \pm 0,3$	$0,98 \pm 0,5$
TDH (h)	$8,8 \pm 2,1$	$9,5 \pm 1,6$
Velocidade ascensional ( $\text{m.h}^{-1}$ )	$0,55 \pm 0,1$	$0,50 \pm 0,1$

Nota: <sup>1</sup>A concentração de DQO na entrada corresponde à média ponderada entre a concentração de DQO de esgoto bruto e lodo misto

Amostras de lodo do UASB foram coletadas em diferentes alturas de reator (0,16m, 1,29m, 2,29m e 3,29m) e caracterizadas em termos de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV). O esgoto bruto e lodo misto foram caracterizados em termos de demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e fósforo total (PT) de acordo com os Métodos Padrão (APHA, 2012). Substâncias poliméricas extracelulares (EPS) foram quantificadas pelo método gravimétrico também utilizado por Comte et al. (2007), Felz et al. (2016) e Liu e Fang (2002). As amostras também foram coletadas de diferentes alturas (0,16m, 1,29m, 2,29m e 3,29m) do UASB ( $n = 1$ ). Uma alíquota de 50 mL foi centrifugada a 3000 rpm durante 20 minutos e o sedimento foi ressuspensão com 2% de EDTA e armazenado a 4 durante 24 horas. A amostra foi novamente centrifugada e o sobrenadante foi filtrado através de uma membrana de porosidade de  $0,45 \mu\text{m}$ . Carboidratos (DUBOIS et al., 1956) e proteínas (GALVANI; GAERTNER, 2006) foram analisados para quantificar e identificar o EPS extraído de forma fraca. Todo o processo foi replicado trocando a solução extrativa com água deionizada para obter uma amostra de controle. A metodologia descrita por Cavalcanti et al. (1999) foi utilizado para calcular a idade do lodo. No cálculo da produção de sólidos a metodologia de Souza (2010) foi adaptada utilizando dados a cada 20 dias do perfil de sólidos no lodo (zona de digestão).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a codigestão houve aumento na concentração de sólidos nas amostras para 2,29m e 3,29m de alturas e uma redução da mesma variável para 0,16m e 1,29m. Esse fato pode indicar a expansão do lodo na zona de digestão. Os valores médios da relação SV/ST indicam que o lodo estava estabilizado no processo de digestão. No entanto, na codigestão o lodo apresentou altos valores de SV/ST em todas as alturas, indicando que o lodo estava menos estabilizado. Houve tendência de diminuição da razão SV/ST em amostras retiradas de alturas mais altas ( $h > 1,29\text{m}$ ) no processo de digestão, refletindo o fato de que as frações de lodo mais estabilizadas são aquelas encontradas na região de manta do UASB. Por outro lado, na codigestão, os valores sugerem que as frações menos estabilizadas estão na região da manta. O teste  $t$  de Student indicou que não houve diferença significativa na relação SV/ST na altura de 0,16m entre os dois processos ( $p\text{-valor} = 0,250$ ). No entanto, houve diferença significativa nessa relação nas alturas de 1,29m ( $p\text{-valor} = 0,001$ ), 2,29m ( $p\text{-valor} = 0,000$ ) e 3,29m ( $p\text{-valor} = 0,001$ ) entre os dois processos. Tais alturas correspondem a região da manta. Assim, o processo de codigestão anaeróbia alterou a relação SV/ST da manta de lodo do reator, que se tornou menos estabilizada.

Embora a velocidade ascensional do UASB no processo de codigestão tenha sido mantida dentro da faixa operacional para reatores anaeróbios que operam com lodo floculento ( $0,50\text{-}0,70 \text{ m.h}^{-1}$ ) (LETTINGA; HULSHOFF, 1995) há evidências de que as microalgas foram arrastadas do leito para a manta de lodo do UASB causando instabilidade biológica nesta região. A produção de sólidos aumentou de  $0,5 \pm 0,3 \text{ kgST.d}^{-1}$  na digestão para  $0,6 \pm 0,4 \text{ kgST.d}^{-1}$  na codigestão, mas esse aumento não foi significativo ( $p\text{-valor} = 0,958$ ).

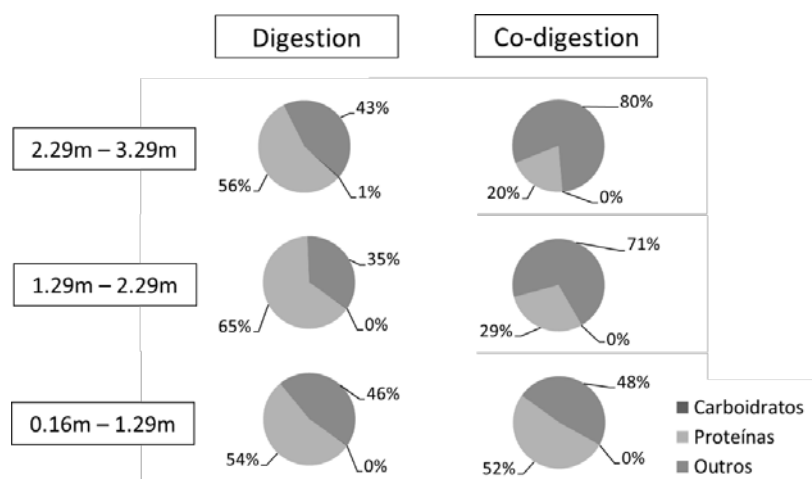
Como consequência, houve redução na idade do lodo do reator de 108 dias para 98 dias, embora essa diferença não seja significativa ( $p$ -valor = 0,062). A diminuição da idade do lodo não é desejável, uma vez que a alta idade do lodo facilita a oxidação da matéria orgânica biodegradável e sua conversão em substrato solúvel para metanização (VAN HAANDEL et al., 2015). O valor da DQO removida foi de 2,6 kgDQO<sub>removido</sub>.d<sup>-1</sup> e 2,7 kgDQO<sub>removido</sub>.d<sup>-1</sup> na digestão e codigestão, respectivamente. Assim, a produção específica de sólidos foi de 0,19 kgST/kgDQO<sub>removido</sub> e 0,22 kgST/kgDQO<sub>removido</sub> na digestão e codigestão, respectivamente. O aumento na produção de sólidos leva a uma maior frequência de descarte excessivo de lodo, aumentando os custos na operação da ETE. Além disso, o tempo de permanência das bactérias digestoras no reator diminui. A produção de sólidos em um reator UASB depende da composição do esgoto bruto, bem como das condições de operação do reator e está na faixa de 0,14 a 0,20 kgST/kgDQO<sub>removido</sub> (GONÇALVES et al., 1999).

A quantificação de EPS mostrou valores muito próximos para cada seção do reator (Tabela 2). No entanto, em uma avaliação relativa como é proposta por vários autores (COMTE et al., 2007; FELZ et al., 2016; LIU et al., 2016; LI et al., 2017), nota-se que a relação é maior nas porções superiores para ambos os processos. Considerando que a EPS é uma substância secretada para a proteção da célula contra o ambiente externo (ADAV; LEE, 2008; LIU; FANG, 2002) e para a formação de uma reserva energética durante as fases de escassez (LIU; FANG, 2002) esperava-se que a quantidade de EPS fosse maior nas porções superiores, pois estas possuem menor conteúdo de matéria orgânica dissolvida. Houve aumento de 11% no EPS quantificado para todo o reator durante a codigestão em relação ao processo de digestão. Como o reator foi alimentado com o mesmo esgoto nos dois processos, deduz-se que as adições estão relacionadas à codigestão do lodo misto (COMTE et al., 2007). Esse aumento pode influenciar negativamente na capacidade de perda de umidade do lodo anaeróbio através dos métodos de desidratação mais utilizados em ETE. Essa influência justifica-se pelo fato de as EPS são substâncias hidrofílicas e a estrutura de favo de mel é capaz de promover a retenção de umidade através da ligação da molécula de água (LI et al., 2017).

**Tabela 2: Quantificação gravimétrica de EPS em lodo UASB.**

Alturas (m)	Variáveis	Digestão	Codigestão
0,16 – 1,29	kg SV (EPS)	6,1	7,3
	kg SV (EPS)/ kg SV (lodo)	24%	38%
1,29 – 2,29	kg SV (EPS)	6,5	6,9
	kg SV (EPS)/ kg SV (lodo)	77%	78%
2,29 – 3,29	kg SV (EPS)	6,6	7,2
	kg SV (EPS)/ kg SV (lodo)	87%	89%
Total	kg SV (EPS)	19,2	21,4

A identificação do EPS quantificado (Figura 2) mostrou que uma fração de 54,2% a 64,6% foi composta por proteínas, de 0,36% a 0,80% por carboidratos e de 35,1% a 45,4% por outras substâncias como ácidos orgânicos, substância húmica e genética material no processo de digestão. Na codigestão a identificação teve 20,3% a 51,8% por proteínas, 0,01% a 0,04% por carboidratos e 48,1% a 79,7% por outras substâncias. É possível observar que na digestão os compostos proteicos foram mais expressivos corroborando com os dados de Liu e Fang (2002). Esses compostos estão relacionados a enzimas e metabólitos secretados para a manutenção de atividades celulares. Na codigestão, a fração de outros compostos é destacada, indicando a liberação de conteúdos intracelulares devido à lise de células de microalgas devido ao processo de codigestão anaeróbia (COMTE et al., 2007).



**Figura 2: Identificação do EPS extraído do lodo UASB.**

## CONCLUSÕES

Esta pesquisa mostrou que a codigestão anaeróbia de esgoto e lodo misto em reatores UASB modificou as características operacionais e biológicas do lodo. A idade do lodo diminuiu como consequência do aumento da produção de sólidos, o que sugere aumento na frequência de descarga do lodo. O aumento da quantidade de EPS no lodo durante a codigestão pode influenciar na capacidade de perda de umidade do lodo anaeróbio do UASB através dos métodos de desidratação mais utilizados em ETE, uma vez que são substâncias hidrofílicas. A concentração de sólidos voláteis indicou que o processo de codigestão reduz a estabilização biológica do lodo anaeróbio e provoca um arraste ascendente da biomassa em direção ao lodo de descarte, o que indica na necessidade de estabilizar o lodo do UASB antes da disposição final, implicando em aumento de custos no gerenciamento do material na ETE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAV, S.; LEE, D. *Extraction of extracellular polymeric substances from aerobic granule with compact interior structure. Journal of hazardous materials*, v.154, p.1120-1126, nov. 2008
- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association*, Washington, DC. 2012.
- BAYR, S. et al. *Long-term thermophilic mono-digestion of rendering wastes and co-digestion with potato pulp. Waste Management*, v.34, n. 10, p.1853-1859, out. 2014.
- CAVALCANTI, P. F. F. et al. *Excess sludge discharge frequency for UASB reactors. Water Science and Technology*, v.40, n. 8, p. 211-219, out. 1999.
- COMTE, S.; GUIBAUD, G.; BAUDU, M. *Effect of extraction method on EPS from activated sludge: an HPSEC investigation. Journal of hazardous materials*, v.140, n. 1-2, p.129-137, fev. 2007.
- DUBOIS, M. et al. *Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p.350-356, mar. 1956.
- FELZ, S. et al. *Extraction of structural extracellular polymeric substances from aerobic granular sludge. Journal of visualized experiments: JoVE* v.115, p.1-8, set. 2016.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. *Adequação da metodologia kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta. In: XI MET Encontro Nacional sobre Metodologias de Laboratório*, Concórdia, Santa Catarina, p. 34, 2006.
- GONÇALVES, R. F., ARAÚJO, V. L., BOF V. S. *Combining UASB reactors and submerged aerated biofilters for secondary domestic sewage treatment. Water Science and Technology*, v. 40, n. 8, p.7-79, out.1999.
- HAGOS, K. et al. *Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.76, p. 1485-1496, 2017.



11. JAYARAMAN, K., GÖKALP, I. *Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of miscanthus and sewage sludge. Energy Conversion and Management* v. 89, p. 83-91, jul. 2015.
12. KHAN, A. A., MEHROTRA, I., KAZMI, A. A. *Sludge profiling at varied organic loadings and performance evaluation of UASB reactor treating sewage. Biosystems Engineering* v.131, p.32-40, mar. 2015.
13. KIM, J; KANG, C. M. *Increased anaerobic production of methane by co-digestion of sludge with microalgal biomass and food waste leachate. Bioresource Technology* v.189, p. 409-412, ago. 2015.
14. LETTINGA, G.; HULSHOFF, P. L. *Anaerobic reactor technology: reactor and process design. In: International course on anaerobic treatment. Wageningen Agricultural University/IHE Delft, Wageningen* p.17-28, 1995.
15. LI, C. et al. *Hydrothermal and alkaline hydrothermal pretreatments plus anaerobic digestion of sewage sludge for dewatering and biogas production: Bench-scale research and pilot-scale verification. Water research* v.117, p.49-57, mar. 2017.
16. LIU, H. et al. *Towards understanding the dewatering mechanism of sewage sludge improved by bioleaching processing. Separation and Purification Technology* v.165, p.53-59, jun. 2016.
17. LIU, H.; FANG, H. HP. *Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges. Journal of biotechnology*, v. 95, n. 3, p. 249-256, jan. 2002.
18. NECZAJ, E.; GROSSER, A. *Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers. In: Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.* v. 2, n. 11, p. 614, jul. 2018.
19. OLSSON, J. et al. *Co-digestion of cultivated microalgae and sewage sludge from municipal waste water treatment. Bioresource technology*, v. 171, p. 203-210, jul. 2014.
20. RIZVI, H. et al. *Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. Arabian Journal of Chemistry*, v. 8, n. 6, p. 780-786, nov. 2015.
21. SOUZA, C. L. *Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. Belo Horizonte, 2010. Tese de Doutorado-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.*
22. VAN HAANDEL, A. et al. *Influência do projeto do separador de fases sobre o desempenho do reator UASB no tratamento de águas residuárias municipais. Revista DAE.* Set-Dez, v. 63, p. 64-75, mai. 2015.
23. VON SPERLING, M. *Biological Wastewater Treatment Series. Volume one: Wastewater characteristics, treatment and disposal. Londres, Inglaterra: IWA publishing. 2007.*
24. ZAMALLOA, C.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. *Anaerobic digestibility of Scenedesmus obliquus and Phaeodactylum tricornutum under mesophilic and thermophilic conditions. Applied Energy*, v. 92, p. 733-738, abr. 2012.