

II-124 - CODIGESTÃO DE BIOMASSA DE MICROALGAS E ESGOTO SANITÁRIO EM UM REATOR UASB: EFEITOS NO TRATAMENTO ANAERÓBIO

Ricardo Franci Gonçalves⁽¹⁾

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⁽²⁾

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.

Gabriela Boechat Povoa Maciel⁽³⁾

Engenheira Ambiental pelas Faculdades Integradas Espírito Santense (FAESA). Engenheira de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Raquel Machado Borges⁽⁴⁾

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⁽¹⁾: Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras - Vitória - ES - CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2222 - e-mail: franci@npd.ufes.br

RESUMO

Neste trabalho, foi avaliado o desempenho de um reator UASB em escala piloto de 3,78 m³ de volume útil durante o processo de codigestão anaeróbia de esgoto sanitário e biomassa de microalgas no decorrer de 223 dias. Para tanto, a biomassa de microalgas proveniente de duas lagoas de algas de alta taxa, de 13,7 m³ cada, foi recuperada por meio de processos de coagulação-flocação-sedimentação e inserida no reator, sem qualquer pré-tratamento. O tempo de detenção hidráulica (TDH) e carga orgânica aplicada (COV) adotados foram de 8,8 horas e 1,0 kgDQO.m⁻³.d⁻¹, respectivamente. Os valores médios de remoção de DQO e SST foram de 63% e 73%. No efluente do reator a concentração média de NTK foi 61 ± 36 mg.L⁻¹ e o pH do afluente e efluente permaneceu dentro da neutralidade, não sendo constatado indícios de toxicidade devido ao aporte da biomassa de microalgas. Observou-se a presença de células inteiras de microalgas dentro do reator e no efluente, o que ratifica a necessidade de pré-tratar a biomassa antes de codigerir. Os resultados apontam que o UASB apresentou desempenho satisfatório para o tratamento anaeróbico durante o processo de codigestão anaeróbia sem perdas de eficiência no tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, Biomassa de microalgas, Codigestão anaeróbia, Reator UASB.

INTRODUÇÃO

A biomassa de microalgas tem sido considerada um recurso promissor para a produção de biocombustíveis (MURPHY; ALLEN, 2011), já que é possível a produção de biogás a partir da sua digestão anaeróbia (THORIN et al., 2017). Uma estratégia para fomentar a produção de biogás a partir dessa biomassa é o processo de codigestão anaeróbia, que consiste em digerir anaerobicamente duas ou mais substâncias biodegradáveis em um único reator. Esse processo pode proporcionar sinergismos positivos no meio como o

balanço de nutrientes, melhora na capacidade de tamponamento, aumento da relação carbono/nitrogênio (C/N) e diminuição da concentração de substâncias inibidoras. (BAYR et al., 2014).

Nas estações de tratamento de esgoto (ETE), o processo de codigestão pode concentrar o esgoto sanitário afluente ao reator (SONG et al., 2018) e incrementar a população e atividade da biomassa no sistema promovendo aumento da taxa de remoção de matéria orgânica e produção de biogás (MOÑINO et al., 2017). Os reatores UASB são sistemas de alta taxa, que operam com baixos tempos de detenção hidráulica (TDH), elevados tempos de retenção de sólidos (TRS) e baixo crescimento celular, características que os tornam capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica por unidade volumétrica de reator (HENZE, 2008).

Por ser considerado robusto do ponto de vista operacional, esse reator é apontado como uma interessante alternativa para o processo de codigestão. Pouco se sabe, no entanto, sobre os impactos que a codigestão anaeróbia entre a biomassa de microalgas e esgoto sanitário pode causar em um reator anaeróbio em termos de estabilidade operacional. Desta forma, o presente trabalho buscou investigar os efeitos do processo de codigestão anaeróbia em um UASB em escala piloto principalmente em termos eficiência na remoção de DQO e SST.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema piloto estudado é composto por um reator UASB de $3,78 \text{ m}^3$ de volume útil, duas lagoas de alta taxa (LATs) de $13,7 \text{ m}^3$ cada e um sistema físico-químico de separação sólido-líquido contendo um tanque de mistura rápida para coagulação ($V = 0,472 \text{ m}^3$) e um tanque de decantação ($V = 0,723 \text{ m}^3$) (Figura 1). Nesse sistema, após passar por tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), o esgoto sanitário chega por gravidade até o UASB, em seguida é encaminhado para as LATs para pós-tratamento e cultivo mixotrófico de microalgas. O efluente das lagoas contendo a biomassa é conduzido para o sistema físico-químico para coagulação e sedimentação da biomassa de microalgas na forma de lodo misto (Algumas, bactérias e floculante). Para tanto, é utilizado um floculante orgânico a base de tanino modificado na dosagem média de 50 mg.L^{-1} .

O reator UASB trabalhou nas seguintes condições operacionais: Vazão $0,12 \pm 0,02 \text{ L.s}^{-1}$, TDH $8,8 \pm 1,37\text{h}$, velocidade ascensional $0,56 \pm 0,17 \text{ m.h}^{-1}$, COV $1,0 \pm 0,40 \text{ kgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ e CHV $0,12 \pm 0,01 \text{ m}^3.\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. 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. O reator foi monitorado por 223 dias.

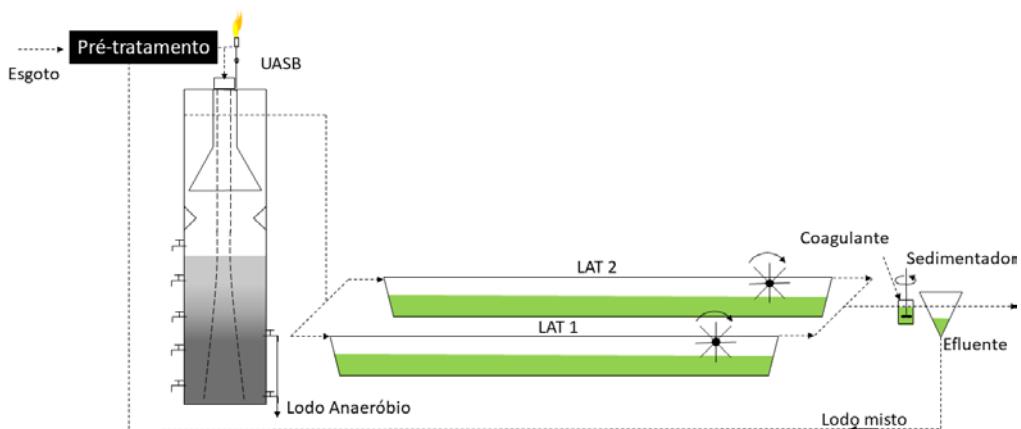


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento.

Amostras simples do esgoto bruto e efluente do reator foram caracterizadas em termos de DQO total, DQO filtrada, SST, SSV, ST, SV, NTK, PT, Sulfato, Temperatura e pH. No lodo misto foram realizadas análises DQO total, ST, SV, NTK, PT, Sulfato e pH durante os 223 dias de operação do sistema. As amostras foram armazenadas, preservadas e analisadas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination

of Water and Wastewater (APHA, 2012). A concentração de carbono da relação C:N foi calculada pelo fator de conversão Demanda Química de Oxigênio (DQO) para Carbono Orgânico Total (COT), no qual a DQO é dividida pelo fator de 3 (MENGER-KRUG, 2012).

Com objetivo de identificar espécies e verificar a existência de células de microalgas dentro do reator, realizou-se a observação microscópica de amostras coletadas nos seguintes pontos: Entrada no reator UASB (esgoto sanitário e lodo misto), tomadas de amostra 1 a 5 do reator UASB e efluente do reator UASB. A coleta foi realizada utilizando-se um Becker, coletando-se cerca de 500mL e depois transferindo-se cerca de 50mL para o tubo Falcon. As amostras foram analisadas no laboratório LUCCAR, UFES Maruípe, utilizando-se o Microscópio Eletrônico de Varredura marca JEOL modelo JSM6610LV. As amostras foram lidas com escala de 1µm, 5µm, 10µm e 50µm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo misto apresentou valores médios para PT, NTK, COT e DQO total de 19 mgP.L⁻¹, 290 mgN.L⁻¹, 1,6 g.L⁻¹ e 5 g.L⁻¹, respectivamente, o que leva as relações C:N:P de 88:15:1 e C:N de 6 ± 3, sendo tais valores de acordo com o reportado na literatura (SIALVE et al., 2009). Durante todo o monitoramento, o esgoto bruto apresentou concentração média de DQO total, SST, NTK e PT de 327 mg.L⁻¹, 151 mg.L⁻¹, 57 mg.L⁻¹ e 6 mg.L⁻¹, respectivamente, o que leva a relação C:N:P de 20:10:1 e C:N de 3 ± 1, sendo que esse valor corresponde a 43% do valor típico encontrado no esgoto sanitário (7C:N) (PARK; CRAGGS, 2010). Desta forma, o esgoto sanitário objeto deste estudo possui características médias (TCHOBANOGLOUS et al., 2003).

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E SÓLIDOS

Com o processo de codigestão, houve aumento de 16% na DQO afluente ao reator que passou de 327 mg.L⁻¹ (esgoto) para 380 mg.L⁻¹ (esgoto + lodo misto) (Figura 2). Era esperado maior acréscimo da DQO afluente na codigestão, já que a DQO do lodo misto é aproximadamente 15 vezes superior à do esgoto bruto. No entanto, devido ao baixo volume produzido e disponível (163 L.d⁻¹), a carga referente a biomassa inserida no sistema foi pequena. Contudo, o lodo misto contribuiu para concentrar o afluente, aumentando a disponibilidade de matéria orgânica a ser convertida em biogás (MOÑINO et al., 2017). De acordo com os dados de monitoramento (Tabela 1), observou-se que o reator alcançou remoção de DQO total de 63% e SST de 73%, sendo tais valores dentro da faixa indicada na literatura para reatores UASB tratando tipicamente esgoto sanitário (SYUTSUBO et al., 2011). As microalgas presentes no afluente possuem variações na sua composição química que podem afetar o desempenho do processo de digestão anaeróbia (SIALVE et al., 2009), porém não foi observado impacto negativo na remoção de matéria orgânica e sólidos.

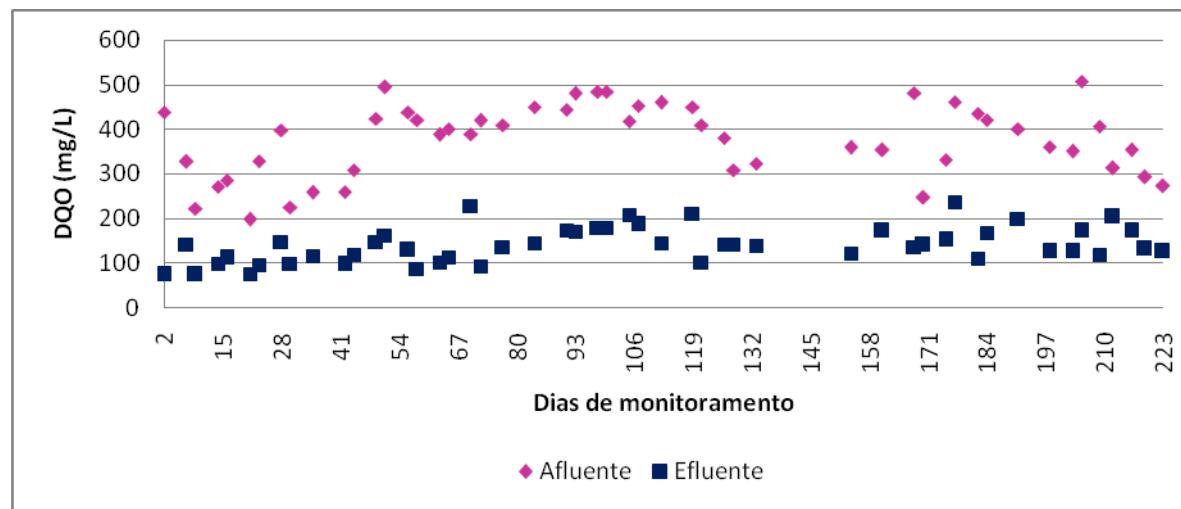


Figura 2: Dados de monitoramento da DQO afluente e efluente ao reator.

Tabela 1: Características da fase aquosa na entrada e na saída do reator UASB.

Variáveis	(n)		Média		CV(%)	
	Afl	Efl	Afl¹	Efl	Afl	Efl
DQO total (mg.L ⁻¹)	44	44	380 ± 100	139 ± 40	26	29
DQO filtrada (mg.L ⁻¹)	10	44	148 ± 60	78 ± 40	41	51
NTK (mg.L ⁻¹)	39	39	67 ± 14	61 ± 36	21	59
P Total (mg.L ⁻¹)	39	39	5,2 ± 0,7	4,4 ± 1,8	13	41
Sulfato (mgS.L ⁻¹)	39	39	26,4 ± 7,3	12,3 ± 6,8	28	55
ST (mg.L ⁻¹)	39	39	1028 ± 601	656 ± 182	58	28
SV (mg.L ⁻¹)	39	39	301 ± 252	140 ± 100	84	71
SST (mg.L ⁻¹)	30	39	177 ± 70	48 ± 26	40	54
SSV (mg.L ⁻¹)	30	39	121 ± 60	31 ± 19	50	61
Temperatura (°C)	57	57	24,6 ± 1,8	24,4 ± 1,9	7,3	7,8
pH	57	57	7,3 ± 0,2	7,1 ± 0,1	3	1

Nota: Aflu = afluente, Eflu = efluente, CV: Coeficiente de variação

¹Concentração corresponde à média ponderada da característica do esgoto sanitário e do lodo misto.

FATORES INIBITÓRIOS

A relação média DQO:N:P de 73:13:1 no esgoto esteve dentro da faixa de valores descritos por outros autores como não limitantes da digestão anaeróbia: 50:4:1 (THAVEESRI, 1995) a 350:5:1 (BRUNETTI et al., 1983). Entretanto, a maior preocupação se referia a eventual toxicidade que poderia ser causada pelo aporte do lodo misto no UASB. A degradação anaeróbia de compostos proteicos das microalgas poderia liberar quantidades importantes de nitrogênio amoniacal para a fase líquida do processo, o que sob determinadas condições ambientais pode inibir a atividade dos microrganismos anaeróbios (SARATALE et al., 2018). No efluente do reator a concentração média de NTK foi 61 ± 36 mg.L⁻¹, sendo observada uma variação relativamente alta (59%) dessa concentração durante o período monitorado. No entanto, a concentração de NTK no efluente se manteve menor do que o afluente, o que pode indicar o não acúmulo de nitrogênio amoniacal livre dissolvido na fase líquido decorrente da digestão anaeróbia das microalgas.

Com relação aos compostos de enxofre, a concentração de sulfato decresceu de 26,4 mgS²⁻/L no afluente para 12,3 mgS²⁻/L no efluente. Essa mudança ocorre principalmente devido à redução de sulfato para sulfeto pela ação das bactérias redutoras de sulfato (BRS), as quais metabolizam diversos compostos orgânicos intermediários (LU et al., 2016). A concentração média de sulfato lodo misto foi aproximadamente 43% inferior ao esgoto sanitário (15 mgS.L⁻¹), indicando baixo teor de aminoácidos sulfurados, o que ocasiona menor liberação na quantidade de sulfeto de hidrogênio do que outros tipos de substratos orgânicos (BECKER, 1988). Portanto, o lodo misto não contribuiu para aumentar a concentração de sulfato no afluente. De fato, a concentração de sulfato no afluente afeta significativamente o desempenho dos sistemas de tratamento anaeróbio, pois interfere na competição entre as bactérias que reduzem o sulfato e outras bactérias (SARTI et

al., 2010) e pode causar efeitos adversos nas arqueias metanogênicas (HU et al., 2015). Adicionalmente, não houve alteração na relação DQO/SO₄²⁻ após o processo de codigestão, sendo essa relação mantida em torno de 5 (380 mgDQO.L⁻¹ / 79 mgSO₄²⁻.L⁻¹). De acordo com Lobato (2011), quando a relação DQO/SO₄²⁻ está abaixo de 10 o sistema anaeróbio tem dificuldades para proceder à degradação da matéria orgânica em taxas satisfatórias. No entanto, não foi constatada perda de eficiência do reator em termos de remoção de matéria orgânica.

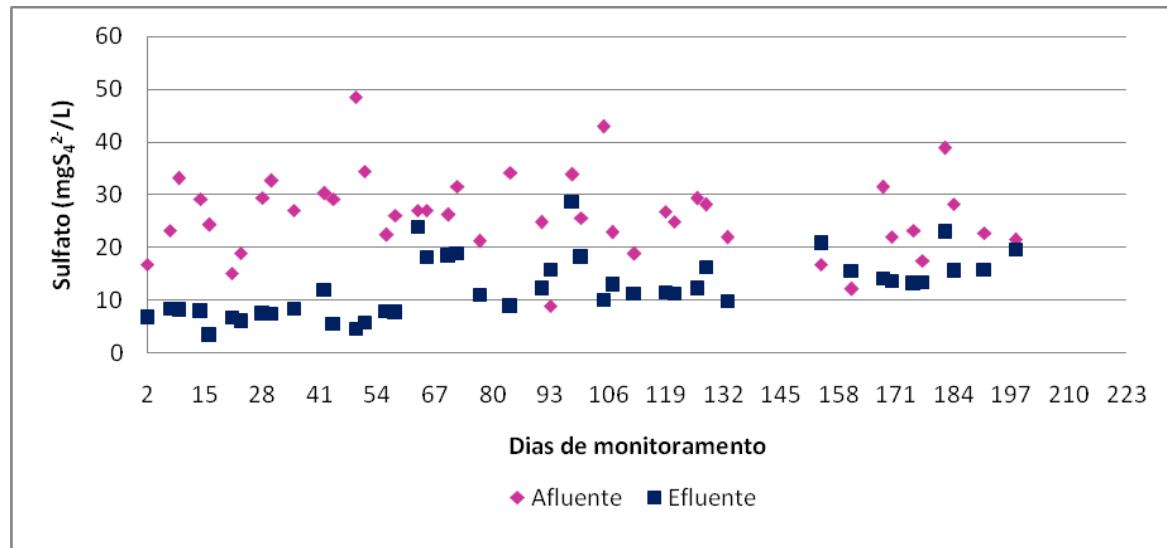


Figura 3: Dados de monitoramento de sulfato no afluente e efluente do reator.

O pH do afluente (esgoto + lodo misto) e efluente situou-se próximo à neutralidade, o que indica que não houve acumulação de ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV) dentro do reator. Os AGV são formados na acidogênese por bactérias anaeróbias e são indicadores importantes de problemas no processo (TUNES, 2017). Desta forma, os dados sugerem que o processo de codigestão anaeróbia não resultou em modificações negativas neste parâmetro e não interferiu negativamente na estabilidade do reator.

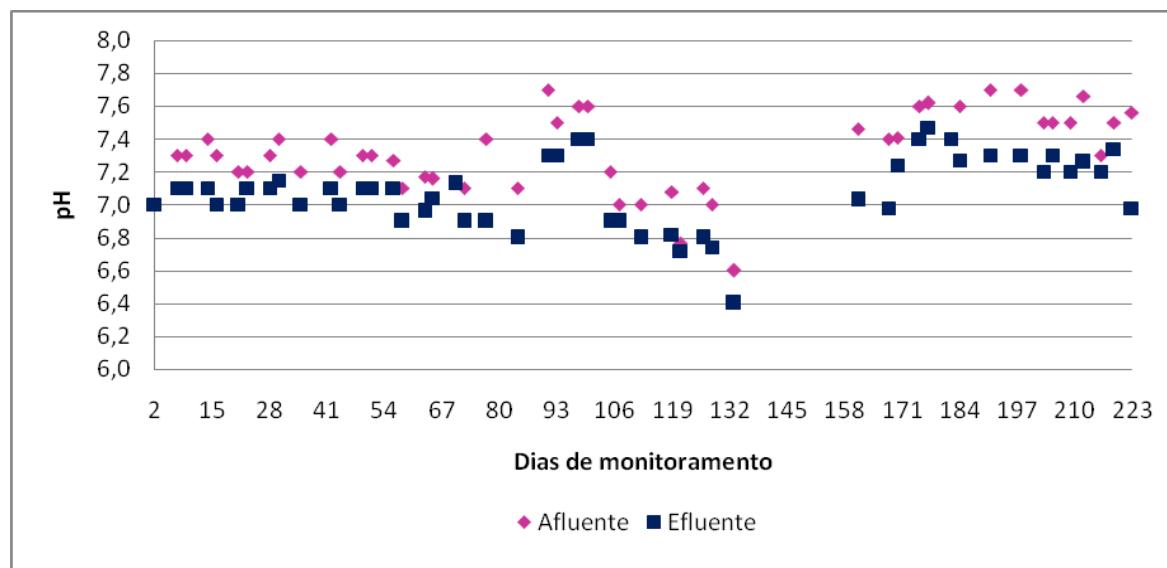


Figura 4: Dados de monitoramento de pH afluente e efluente ao reator.

PRESENÇA DE CÉLULAS DE MICROALGAS NO REATOR

Dentre os táxons observados (Figura 5), detectou-se a presença de *Chlorella vulgaris* em grupos no lodo misto aparentando uma possível lise na tomada de amostra 5 (4,29m) do reator. Foi detectada a presença da *Nitzchia*

amphibia na tomada de amostra 1 (0,16m) e a presença de diatomáceas cêntricas do gênero *Cyclotella* (*Stephanodiscaceae*) nas tomadas de amostra T2, T3 e T4 e no efluente do reator UASB. A presença de microalgas inteiras em todas as camadas de digestão nessa pesquisa provavelmente tem relação direta com as características químicas da parede celular. Em sua maioria composta por matéria orgânica de baixa biodegradabilidade e ou biodisponibilidade, como a celulose (25 a 30%), hemicelulose (15 a 25%), glicoproteínas (5 a 10%) e 35% de pectina (WANG; EVANGELOU, 1995).

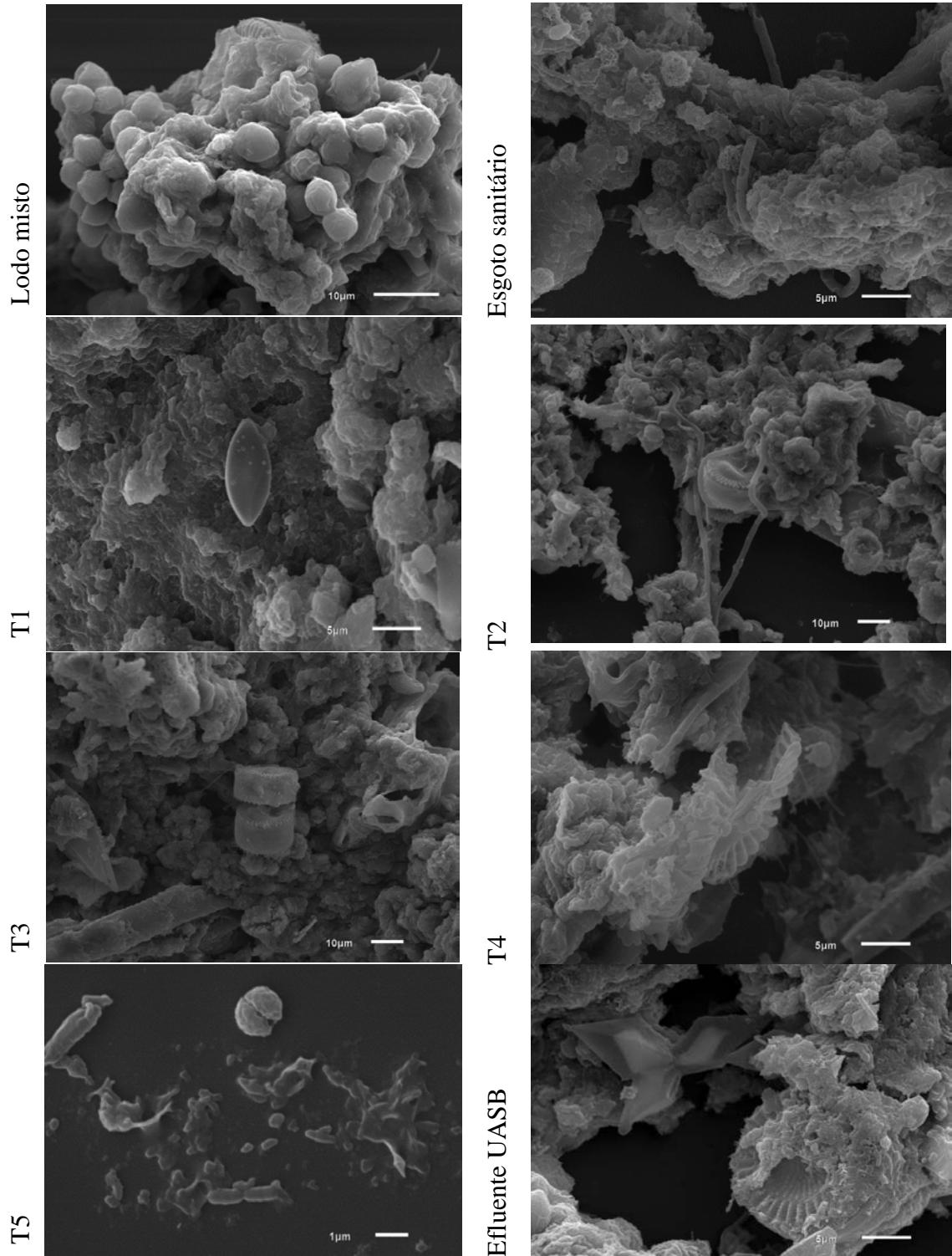


Figura 5: Observação de células de microalgas.

CONCLUSÕES

O reator UASB manteve desempenho satisfatório no tratamento anaeróbio do esgoto sanitário durante o período avaliado e apresentou eficiência de tratamento semelhante a reatores UASBs tratando apenas esgoto sanitário. Além disso, o reator manteve a estabilidade do sistema, já que não foi constatado indícios de acúmulo de ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV) ou efeitos de toxicidade durante o processo de codigestão anaeróbia. Foi observada a presença de células inteiras de microalgas dentro do reator e no efluente, constatando a necessidade de pré-tratar o lodo misto antes de codigerir. Conclui-se que o UASB demonstrou ser um sistema robusto em relação à manutenção da estabilidade do sistema nesse processo, sendo possível a utilização desse reator para codigerir esgoto sanitário e lodo misto sem alterar a eficiência de tratamento em termos de remoção de DQO e SST.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American public health association, Washington, DC. 2012.
2. BAYR, S. et al. *Long-term thermophilic mono-digestion of rendering wastes and codigestion with potato pulp*. *Waste Management*, v. 34, n.10, p. 1853–1859, out. 2014.
3. BECKER, E. W. *Micro-algae for human and animal consumption*. *Micro-algal biotechnology*, 1988.
4. BRUNETTI, A. et al. *Physico-chemical factors affecting start-up in UASB digestors*. In: *Proc. of European Symposium on Anaerobic Wastewater Treatment*, Noordwijkerhout, The Netherlands, p. 317-334, 1983.
5. HENZE, M. et al. *Biological wastewater treatment*. IWA publishing, 2008.
6. HU, Y. et al. *Effect of influent COD/SO₄²⁻ ratios on UASB treatment of a synthetic sulfate-containing wastewater*. *Chemosphere*, v. 130, p. 24-33, jul.2015.
7. LOBATO, L.C da S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Belo Horizonte, 2011. Tese de doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
8. LU, X. et al. *Effect of influent COD/SO₄²⁻ ratios on biodegradation behaviors of starch wastewater in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor*. *Bioresource Technology*. v. 214, p. 175-183, ago. 2016.
9. MENGER-KRUG, E. et al. *Integration of microalgae systems at municipal wastewater treatment plants: implications for energy and emission balances*. *Environmental science & technology*, v. 46, n. 21, p. 11505-11514, 2012.
10. MOÑINO, P. et al. *A new strategy to maximize organic matter valorization in municipalities: Combination of urban wastewater with kitchen food waste and its treatment with AnMBR technology*. *Waste Management*, v. 62, p. 274-289, 2017.
11. MURPHY, C., ALLEN, D.T. *Energy-water nexus for mass cultivation of algae*. *Environmental Science & Technology*, v.45, n. 13, p. 5861-5868, jun. 2011.
12. PARK, J. B. K.; CRAGGS, R. J. *Wastewater treatment and algal production in high rate algal ponds with carbon dioxide addition*. *Water Science & Technology*, v. 61, n. 3, p. 633-639, 2010.
13. SARATALE R. G. et al. *A critical review on anaerobic digestion of microalgae and macroalgae and co-digestion of biomass for enhanced methane generation*. *Bioresource technology* v. 262, p. 319-332, ago. 2018.
14. SARTI, A. et al. *Microbial processes and bacterial populations associated to anaerobic treatment of sulfate-rich wastewater*. *Process Biochem.* v. 45, n. 2, p. 164–170. mar. 2010.
15. SIALVE, B., BERNET, N., BERNARD, O. *Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step make microalgal biodiesel sustainable*. *Biotechnology Advances*, v.27, n. 4, p. 409- 416, ago. 2009.
16. SONG, X. et al. *Effects of sulphur on the performance of an anaerobic membrane bioreactor: Biological stability, trace organic contaminant removal, and membrane fouling*. *Bioresource technology*, v. 250, p. 171-177, 2018.
17. SYUTSUBO, K. et al. *Evaluation of sludge properties in a pilot-scale UASB reactor for sewage treatment in a temperate region*. *Water Science and Technology*, v. 64, n. 10, p. 1959-1966, 2011.
18. TCHOBANOGLOUS, G.B.F.L. *Fundamentals of biological treatment*. *Wastewater engineering: treatment and reuse*, p. 611-635, 2003.
19. THAVEESRI, J. *Granulation and stability in upflow anaerobic sludge bed reactors in relation to substrates and liquid surface tension*. Ph.D. Thesis. Ghent University, Belgium, 1995.

20. THORIN, E., OLSSON, J., SCHWEDE, S., NEHRENHEIM, E. *Biogas from co-digestion of sewage sludge and microalgae*. *Energy Procedia*, v.105, p. 1037-1042, mai. 2017.
21. TUNES, C.R. Produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de efluentes orgânicos em reator UASB. Gurupi, 2017. Dissertação de mestrado-Programa de pós-graduação em biotecnologia-Universidade Federal do Tocantins, 2017.
22. WANG, J.; EVANGELOU, V. P. *Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole. Handbook of Plant and Crop Physiology*. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 695- 717, 1995