



IX congresso ibérico de
AGROENGENHARIA 2017

4 a 6 de setembro
Bragança – Portugal

Tratamento de efluente agroindustrial em reator UASB com valorização energética

Tatiane Mansano¹, Larissa Paulista², Rui Boaventura³, Ramiro Martins⁴

1 ESTiG, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.
tatiane.cmansano@gmail.com

2 ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. larissa-paulista@hotmail.com

3 LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto.
bventura@fe.up.pt

4 DTQB da ESTiG Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal e LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto.
rmartins@ipb.pt

Resumo

O acelerado crescimento da população traz consigo um aumento na geração de efluentes agroindustriais. A descarga inadequada desses efluentes afeta significativamente a qualidade dos recursos hídricos. Dessa forma, torna-se imperioso investir em processos de tratamento dos efluentes agroindustriais, em particular processos de baixo custo. Nesse contexto, o presente estudo compreende a concepção e construção de um reator UASB e otimização do tratamento por digestão anaeróbia do efluente bruto da produção de castanha pela empresa agroindustrial Sortegel. A eficiência do sistema foi avaliada mediante a determinação/monitorização dos parâmetros Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO₅), Sólidos Suspensos Totais (SST), taxa de produção e qualidade (% de metano) do biogás. O reator foi alimentado durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40°C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (HRT) e caudal volumétrico (QV): 0,66 d (QV=1509 L m⁻³ d⁻¹); 1,33 d (QV=755 L m⁻³ d⁻¹); 2,41 d (QV=415 L m⁻³ d⁻¹). A eficiência média de remoção de CQO alcançou valores de 69%, 82% e 75%, respetivamente e, simultaneamente, a eficiência de remoção de CBO₅ associada foi de 84%, 91% e 70%. Relativamente ao teor de SST, os valores de remoção foram 78%, 94% e 63%. A taxa de produção de metano situou-se entre 2500 e 4800 L CH₄ kg⁻¹ CQO removido d⁻¹. Para o conjunto dos tempos de retenção hidráulico testados, foram registadas elevadas concentrações de metano no biogás gerado: 66 - 75%, 70% e 75% para HRT de 0,66, 1,33 e 2,41 dias, respetivamente.

Palavras-chave: Biogás, Digestão Anaeróbia, Efluente Agroindustrial, Metano, Reator UASB.

Treatment of an agro-industrial effluent in UASB reactor with energy recovery

Abstract

The accelerated growth of the population brings with it an increase in the generation of agro-industrial effluents. The inadequate discharge of these effluents significantly affects the quality of water resources. In this way, it becomes important to invest in treatment processes for agro-industrial effluents, particularly low-cost ones. In this context, the present study includes the design and construction of a UASB reactor and optimization of the anaerobic digestion treatment of the raw effluent from chestnut production in the agro-industrial company Sortegel. The efficiency of the system was evaluated through the determination / monitoring of Oxygen Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Total Suspended Solids (TSS), biogas production rate and quality (% methane). The reactor was fed for 25 weeks and operated under mesophilic conditions (temperature 30-40 °C). Different values were tested for the hydraulic retention time (HRT) and volumetric flow rate $-(QV)$: 0.66 days ($QV=1509 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$); 1.33 days ($QV=755 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$); 2.41 d days ($QV=415 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$). The average COD removal efficiency reached values of 69%, 82% and 75%, respectively, and simultaneously the associated CBO₅ removal efficiency was 84%, 91% and 70%. As regards TSS, removal values were 78%, 94% and 63%. In addition, high methane production rates were obtained, between 2500 and 4800 L CH₄·kg⁻¹ COD removed·d⁻¹. For all the hydraulic retention times tested, high concentrations of methane in the biogas were recorded: 66-75%, 70% and 75% for HRT of 0.66, 1.33 and 2.41 days, respectively.

Keywords: Biogas, Anaerobic Digestion, Agro-industrial Effluent, Methane, UASB reactor.

1. Introdução

Por muitos anos a castanha foi utilizada como um recurso para a sobrevivência na Ásia, Europa do Sul e Norte da África. Atualmente a produção de castanhas na Europa e Ocidente não é mais uma fonte de subsistência, mas continua a desempenhar um papel importante na alimentação, obtenção de madeira e valorização da paisagem. Portugal foi o terceiro maior produtor de castanha na Europa (UE 28) e o sétimo a nível mundial em 2013, com uma produção anual de 24700 t, sendo o norte do País responsável por 84% da produção (Rosa *et al.*, 2015).

A produção industrial de castanha origina efluentes líquidos e seu descarte inadequado tem como uma das consequências a diminuição da qualidade de água potável para áreas urbanas (Sun *et al.*, 2016). Dessa forma, torna-se necessário haver intervenções das entidades governamentais, através de normas, políticas nacionais do ambiente e coimas aplicadas pelo não cumprimento das leis (Fernandes e Oliveira, 2006). Neste âmbito, torna-se imprescindível para a sobrevivência no mercado, a implementação de meios de tratamento convencionais dos efluentes, com custos mínimos que, garantindo a qualidade e comercialização do produto, combinem a depuração dos efluentes com a produção de energia renovável (Lasing *et al.*, 2008).

A digestão anaeróbia vem sendo implantada como uma alternativa adequada, muito eficiente e de baixo custo (Vieira e Alexandre, 2014). Esta tecnologia é muito utilizada no processo de tratamento de águas residuais, onde, em condições anaeróbias e mesofílicas, os microrganismos anaeróbios convertem a matéria orgânica em um material mais estabilizado gerando como coproduto o biogás que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica e energia térmica (Szarblewski *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2015). Este tratamento pode ser realizado utilizando um reator de leito de lama de fluxo ascendente (UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que mantém um leito de lama com maior concentração de biomassa no fundo, melhorando a eficiência do processo (Batstone e Jansen, 2015).

Neste projeto, foi avaliada, por meio de um reator UASB à escala laboratorial, a eficiência de tratamento do efluente da empresa agroindustrial Sortegel, através da monitorização da Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio ao fim de cinco dias a 20°C (CBO₅) e Sólidos Suspensos Totais (SST), e ainda da determinação da qualidade (% de metano) e taxa de produção de biogás.

2. Materiais e Métodos

O reator utilizado foi do tipo UASB em “Y”, construído a partir de tubos de PVC com diâmetro de 10 cm e um volume útil de 16 litros. Como inóculo (fonte de biomassa) foi utilizada lama proveniente do digestor anaeróbio da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Bragança – Portugal, que ocupou 6,2 L (39% do volume útil).

Conforme se pode ver na Figura 1, a entrada do substrato acontece no ponto 1 através de uma bomba peristáltica (WATSON 120S), sendo a alimentação feita em regime semi-contínuo, com o tempo de funcionamento da bomba controlado por um temporizador. Após o escoamento ascendente, a corrente líquida, já estabilizada, passa pelo separador trifásico e sai pela tubagem inclinada (ponto 5). O biogás gerado é coletado no ponto 4, quantificado através de um dispositivo de polietileno, em forma de “H”, que mede através de impulsos elétricos o volume produzido, sendo a concentração de CH₄ medida por um sensor de metano (*BlueSens*, *BCS_{CH4,biogás}*). O reator está revestido por uma mangueira em forma de serpentina, por onde circula água quente de modo a manter a temperatura dentro do reator entre 30 e 40°C. A temperatura interna é monitorada através de dois termopares (marca Multi) localizados no ponto 3 e entre os pontos 1 e 2.

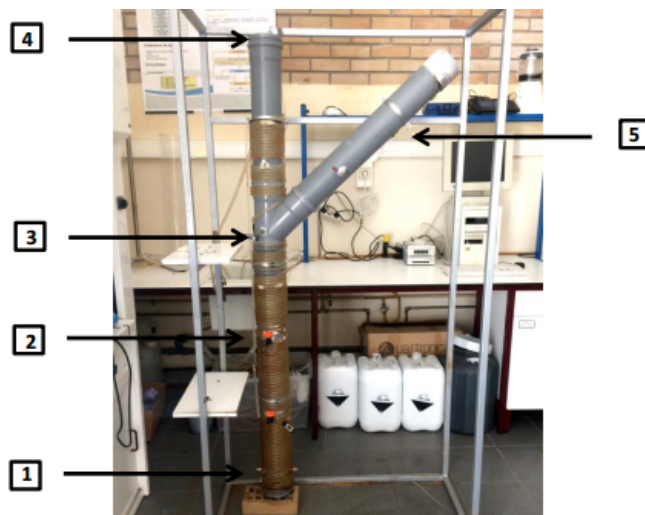


Figura 1: Reator UASB tipo "Y".

O reator foi alimentado com efluente agroindustrial durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40°C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (TRH) (ou caudal volumétrico - QV): 2,41 d ($QV=415 \text{ L m}^{-3} \text{ reator d}^{-1}$) – semanas 1 a 16; 1,33 d ($QV=755 \text{ L m}^{-3} \text{ reator d}^{-1}$) – semanas 17 a 23; 0,66 d ($QV=1509 \text{ L m}^{-3} \text{ reator d}^{-1}$) – semanas 24 a 25. A frequência das análises para o controle dos parâmetros físico-químicos e os métodos analíticos utilizados para a determinação desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros monitorados e frequência de amostragem.

Parâmetro	Frequência de Amostragem			Método analítico
	Entrada do Reator	Reator	Saída do Reator	
pH	Diário	Diário	Diário	4500 H ⁺ B (APHA, 2012)
Temperatura	Diário	Diário	Diário	-
Sólidos Totais (ST)	Semanal	Mensal	-	2540 B (APHA, 2012)
Sólidos Fixos (SF)	Semanal	Mensal	-	2540 E (APHA, 2012)
Sólidos Voláteis (SV)	Semanal	Mensal	-	2540 E (APHA, 2012)
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Semanal	-	Semanal	2540 D (APHA, 2012)
Alcalinidade	Semanal	Semanal	Semanal	2330 B (APHA, 2012)
Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO ₅)	Semanal	-	Semanal	5210 B (APHA, 2012)
Carência Química de Oxigênio (CQO)	Semanal	-	Semanal	5220 C (APHA, 2012)
Ácidos Gordos Voláteis (AGV)	Semanal	Semanal	Semanal	Buchauer, 1998

3. Resultados e Discussão

O pH ótimo para o crescimento microbiano deve estar na faixa de 6,5 a 8,2 (Maria, 2015), fato observado dentro do reator UASB na maior parte do tempo de operação, em que o pH variou de 5,6 a 8,0. Na alimentação o pH variou entre 4,9 a 8,1, valor usual para a generalidade dos efluentes industriais (Bustillo-Lecompte e Mahrab Mehrvar, 2015). A alcalinidade interfere diretamente no pH pois proporciona o efeito tampão quando há produção de ácidos na digestão anaeróbia, pelo que é necessário mantê-la entre 2000 a 5000 mg L⁻¹ de CaCO₃ (Linville *et al.*, 2016). Para compensar a baixa alcalinidade e pH ácido do substrato foi adicionado bicarbonato de sódio na alimentação.

Outro parâmetro monitorado foi a concentração de ácidos gordos voláteis (AGV) que podem inibir o potencial de degradação da biomassa quando o seu valor excede 1500 mg L⁻¹ (García-Sandoval *et al.*,

2016). Valores entre 1200-9900 mg L⁻¹ podem inibir parcialmente a fase metanogênica e valores acima de 5800 mg L⁻¹ provocam inibição total (Shi *et al.*, 2016). Tanto os valores analisados na entrada como à saída e dentro do reator não excederam os 300 mg L⁻¹. Além disso, o acompanhamento diário de temperatura dentro do reator mostrou que o sistema de aquecimento permitiu manter a temperatura entre 15 e 45°C, na maior parte do tempo dentro da gama mesofílica.

Para os diferentes tempos de retenção hidráulica (HRT), 0,66 d (QV=1509 L m⁻³ d⁻¹), 1,33 d (QV=755 L m⁻³ d⁻¹) e 2,41 d (QV=415 L m⁻³ d⁻¹), foram obtidas remoções médias de CQO de 69% (gama 50% - 70%), 82% (gama 65% - 97%) e 75% (gama 60% - 88%), respectivamente (Figura 2). Verifica-se que se trata de um resultado satisfatório ao comparar com o trabalho realizado por Khan *et al.* (2011) em que num estudo em diversos países utilizando o reator UASB foram obtidas remoções de CQO entre 50 a 90%. Além disso, foram registados valores da CQO inferiores a 150 mg L⁻¹ entre a 5ª e 13ª semana (com QV de 416 L m⁻³ d⁻¹), cumprindo-se o estipulado no Decreto-lei nº 236/98 para a descarga de águas residuais industriais.

Além disso, foram obtidas percentagens médias de remoção de CBO₅, para os valores de HRT de 0,66 d, 1,33 d e 2,41 d, de 84% (75 a 93%), 91% (76 a 96%) e 70% (55 a 97%), respectivamente (Figura 2). Na alimentação, a CBO₅ variou de 60 a 1850 mg O₂ L⁻¹ e na saída entre 6 a 832 mg O₂ L⁻¹. Entre a 5ª e 13ª semana (QV = 415 L.m⁻³.d⁻¹) registaram-se valores entre 100-150 mg O₂.L⁻¹. Nesse período, quer a CBO₅, quer a concentração de SST no efluente clarificado, mostraram a necessidade de um pós-tratamento para cumprir os limites de descarga no meio hídrico.

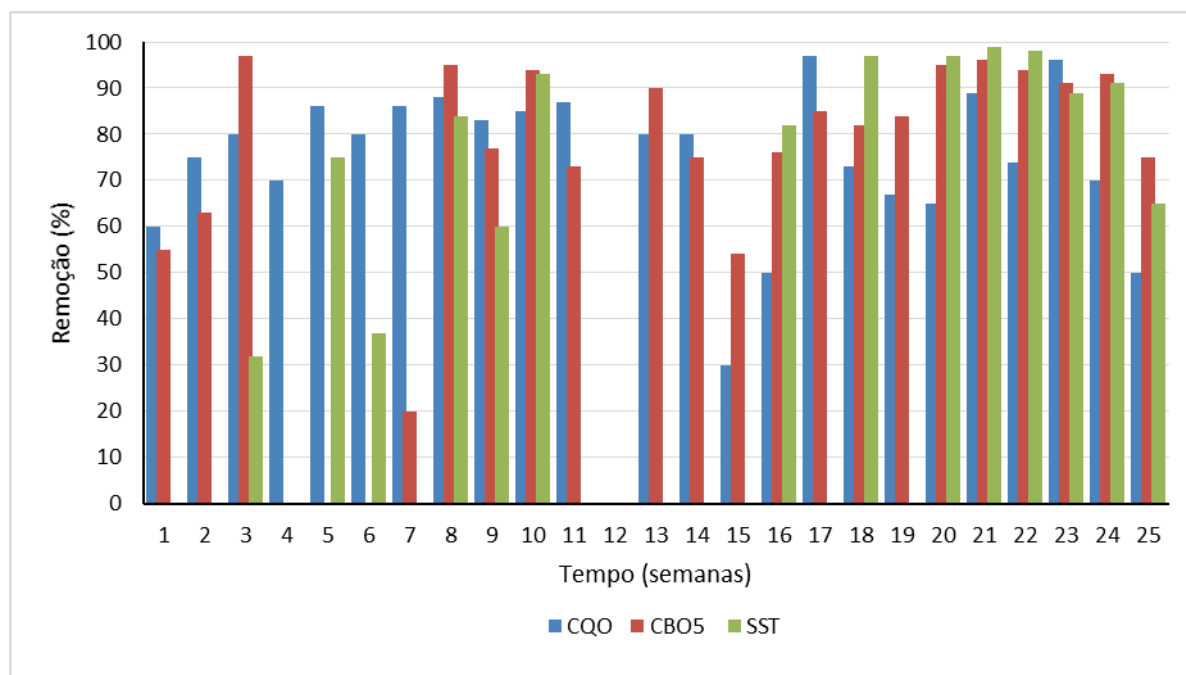


Figura 2: Percentagens de remoção de CQO, CBO e SST para cada semana analisada.

Segundo a Tabela 2 percebe-se que as remoções de CQO e CBO₅ foram similares a valores encontrados na literatura. Relativamente ao teor de SST, foi superior a valores encontrados na literatura para outros tipos de efluentes. Além disso, as remoções de SST, CQO e CBO₅ foram maiores para uma carga orgânica volumétrica (COV) de 1,64 Kg CQO m⁻³ d⁻¹ e notou-se um melhor desempenho do reator para TRH = 1,33 d (QV=755 L m⁻³ d⁻¹).

Tabela 2: Resultados da literatura e obtidos neste estudo para a remoção de CQO, CBO₅ e SST.

Efluente	COV (kg CQO. m ⁻³ .d ⁻¹)	CQO (% rem.)	CBO ₅ (% rem.)	SST (% rem.)	Referências
Efluente doméstico	0,9	-	53	46	Halalsheh <i>et al.</i> (2005)
Efluente doméstico	2,3	57	64	64	Moawad <i>et al.</i> (2009)
Águas residuais domésticas e laticínios	3,4	69	79	72	Tawfik <i>et al.</i> (2008)
Águas residuais sintéticas	4,0	90-92	94-96	-	Singh <i>et al.</i> (1996)
Efluente doméstico	7,8	70	-	74	Moharram <i>et al.</i> (2016)
Efluente doméstico	10,4	39	-	34	Moharram <i>et al.</i> (2016)
Efluente agroindustrial (valores médios)	0,59	75	73	66	Neste estudo
	1,64	80	90	96	
	7,85	60	84	78	

Em relação ao teor de ST foram observados valores mínimos de 316 mg L⁻¹ e 719 mg L⁻¹ e valores máximos foram 3107 mg L⁻¹ e 1738 mg L⁻¹ na alimentação e dentro do reator, respetivamente. Em estudos realizados por Al-Jamal e Mahmoud (2009), ao tratarem águas residuais domésticas num reator UASB, as amostras apresentaram valores de ST superiores, na gama de 53,9 a 66,9 g.L⁻¹.

A relação SV/ST indica indiretamente a concentração de biomassa no reator, sendo um valor mínimo de 0,67 considerado adequado para um bom desempenho do sistema (Al-Jamal e Mahmoud, 2009). Ao estudar o tratamento de efluente doméstico combinado com o efluente de uma indústria de laticínios, utilizando um reator UASB, Tawfik *et al.* (2008) obtiveram para SV/ST valores da ordem de 0,66. Pela Figura 3 pode-se observar que entre o 3º e o 4º mês a relação situa-se perto do valor 0,67, o que significa um bom desempenho do reator. Esse bom desempenho é, aliás, confirmado pelos valores médios de remoção de CQO e a CBO₅, 82% e 91%, respetivamente, obtidos nesse período (Figura 2).

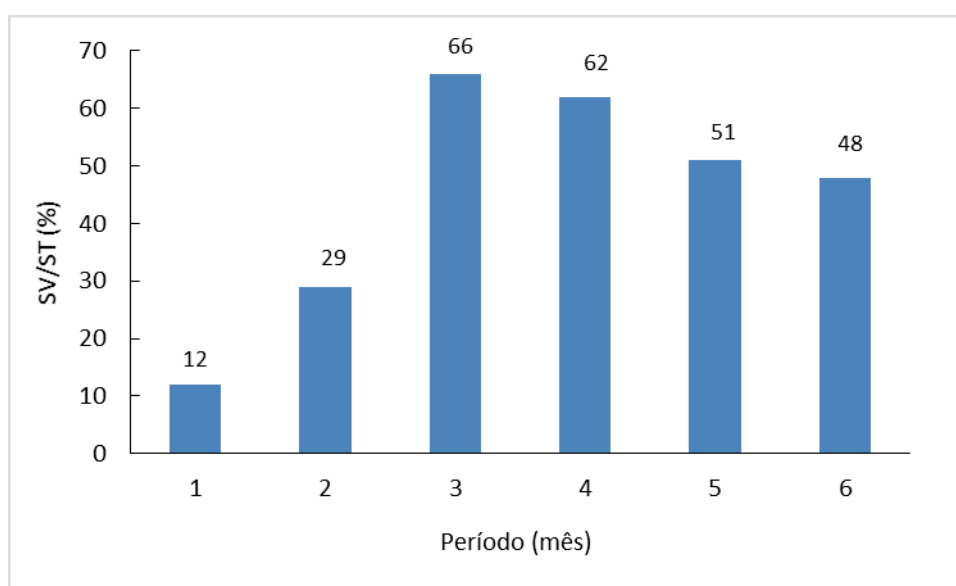


Figura 3: Relação SV/ST no interior do reator UASB.

Na Figura 4 pode observar-se que a produção de biogás chegou a atingir cerca de $4700 \text{ L kg}^{-1} \text{ CQO}_{\text{alimentação}} \text{ d}^{-1}$, enquanto a produção máxima de metano foi de cerca de $2400 \text{ L kg}^{-1} \text{ CQO}_{\text{alimentação}} \text{ d}^{-1}$ (valores obtidos na semana 19). A Figura 5 mostra a produção acumulada de biogás e metano. As concentrações médias de metano no biogás gerado foram ao longo do estudo as seguintes: 33%, 58% e 65% para TRH de 0,66, 1,33 e 2,41 d, respetivamente. Durante determinados períodos, porém, a percentagem de CH_4 no biogás chegou a atingir valores entre 70 e 80%. Para sistemas de cogeração o teor de metano no biogás não pode ser inferior a 40-45%, pois teores baixos impedem a operação dos motores (Probiogás, 2010). Devido ao fato das características do substrato não serem constantes ao longo do tempo, percebe-se que há algumas quedas na percentagem de metano, o que poderia comprometer o sistema.

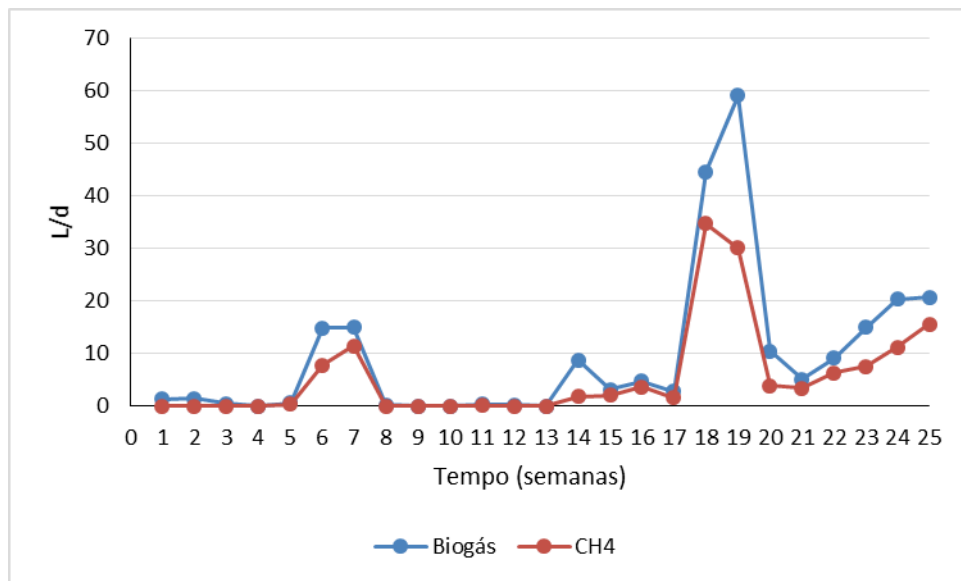


Figura 4: Produção de biogás e metano.

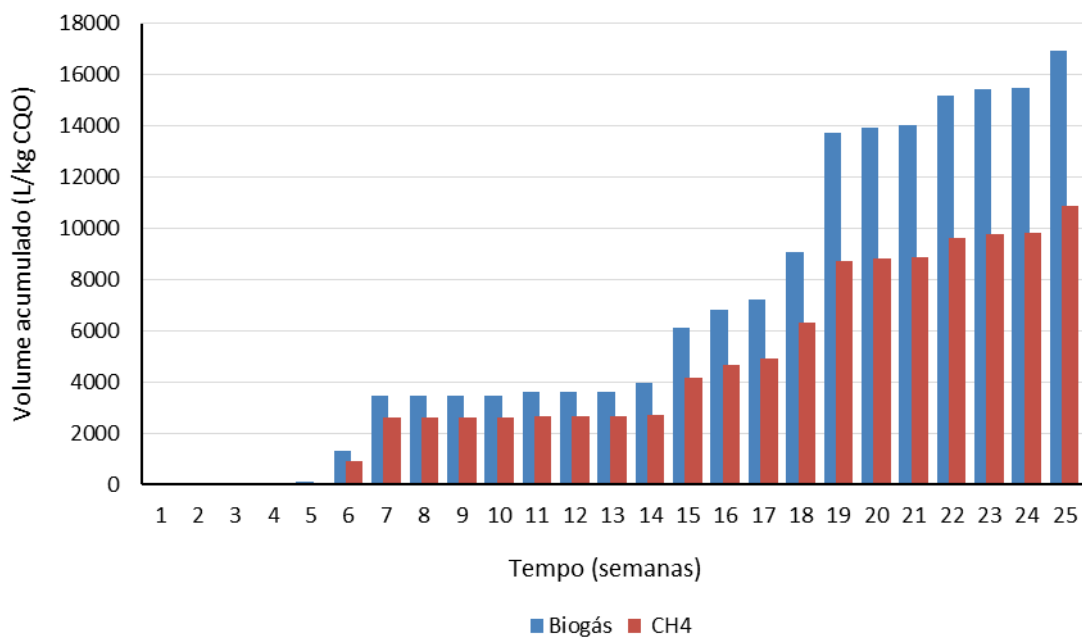


Figura 5: Produção acumulada de biogás e metano.

Na Figura 6 pode observar-se a relação entre biogás e metano produzido e a CQO removida no reator. Durante todo o estudo as produções médias diárias foram de 0,47 e 0,33 L/kg de CQO removida para biogás e metano, respetivamente. Os valores são relativamente baixos mas admite-se que tal possa ser devido à elevada variabilidade da composição do efluente industrial (a CQO variou entre 80 e 10000 mgO₂/L)

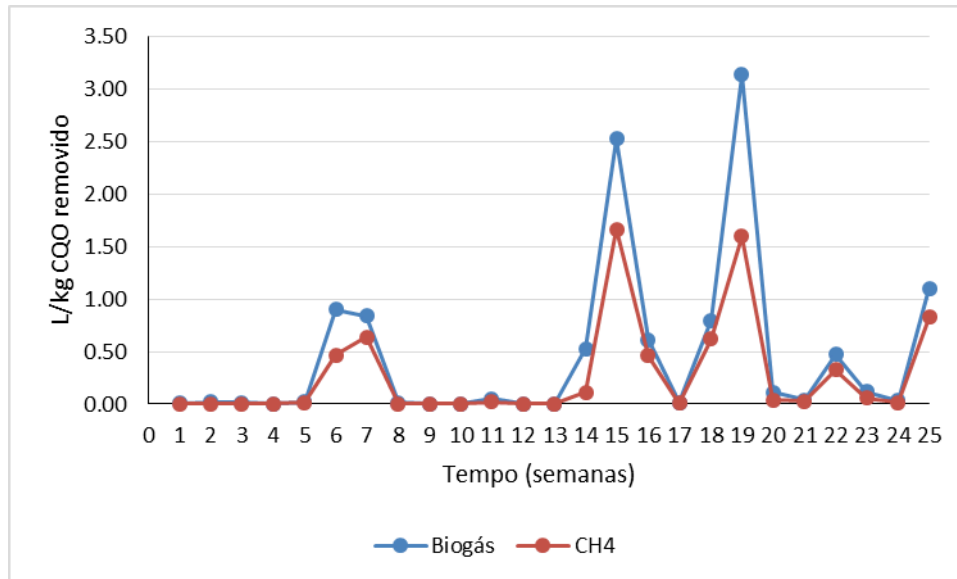


Figura 6: Produção diária de biogás e metano relativamente à CQO removida.

A produção máxima de biogás e metano foi, respetivamente, de 59 e 30-35 L/d (para $QV = 755 \text{ L m}^{-3} \text{ reator d}^{-1}$), a que correspondem 3,1 e 1,7 L/kg CQO removida.

4. Conclusões

O reator UASB pode ser usado no tratamento primário de um efluente agroindustrial de produção de castanha, obtendo-se valores muito satisfatórios de remoção de CQO, CBO5 e SST para caudais volumétricos de 415 a 1509 L m⁻³ d⁻¹. Conseguiu-se ainda uma valorização energética do efluente, associada à produção de metano registada durante largos períodos de operação, chegando a atingir cerca 35 L/d.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Projeto POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE/LCM - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Bibliografia

Al-Jamal, W., & Mahmoud, N. (2009). Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology*, 100, 1061-1068.

- Bustillo-Lecompte e Mehrab Mehrvar (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances, *Journal of Environmental Management* 161, 287-302.
- APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater (2012). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington.
- Batstone, D., & Jensen, P. (2015). Anaerobic Processes. *Water-quality Engineering*, 4, 615-639.
- Buchauer, K. (1998). A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water S. A.*, 24(1), 49-56.
- Chen, Y., He, J., Mu, Y., Huo, Y.-C., Zhang, Z., Kotsopoulos, T. A., et al. (2015). Mathematical modeling of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors: Simultaneous accounting for hydrodynamics and bio-dynamics. *Chemical Engineering Science*, 137, 677-684.
- Decreto-Lei n° 236/98 (1998). *Diário da República*, 3676-3722
- Fernandes, G. F., & Oliveira, R. A. (2006). Desempenho e processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinicultura. *Engenharia Agrícola*, 26, 243-256.
- García-Sandoval, J. P., Méndez-Acosta, H. O., González-Alvarez, V., Schaum, A., & Alvarez, J. (2016). VFA robust control of an anaerobic digestion pilot plant: experimental implementation. *IFAC-Papers online*, 49 (7), 973-977.
- Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zu'bi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M., et al. (2005). Treatment of strong domestic sewage in a 96 m³ UASB reactor operated at ambient temperatures: two-stage versus single-stage reactor. *Bioresource Technology*, 96, 577-585.
- Khan, A. A., Gaur, R. Z., Tyagi, V., Khurshed, A., & Lew, B. (2011). Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1232-1251.
- Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99, 5881-5890.
- Linville, J. L., Shen, Y., Schoene, R. P., Nguyen, M., & Urgun-Demirtas, M. (2016). Impact of trace element additives on anaerobic digestion of sewage sludge with in-situ carbon dioxide sequestration. *Process Biochemistry*, 51, 1283-1289.
- Maria, J. S. (2015). Tratamento Anaeróbio do Efluente da Indústria de Laticínios usando um Reator UASB. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola.
- Moawad, A., Mahmoud, U., El-Khateeb, M., & El-Molla, E. (2009). Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 242, 325-335.
- Moharram, M., Abdelhalim, H., & Rozaik, E. (2015). Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *HBRC Journal*, 12(1), 99-105.
- Probiogás. (2010). Guia prático do Biogás: Geração e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).
- Rosa, D., Figueiredo, F., Castanheira, É., Feliciano, M., Maia, F., Santos, J., Silva, A.P., Trindade, H. & Freire, F. (2015). Life-Cycle greenhouse gas assessment of Portuguese chestnut. Conference on Energy for Sustainability 2015-Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, May 14-15, Coimbra, Portugal.

- Shi, X., Lin, J., Zuo, J., P. L., Li, X. & Guo, X. (2016). Effects of free ammonia on volatile fatty acid accumulation and process performance in the anaerobic digestion of two typical bio-wastes. *Journal of Environmental Sciences* (online 31 julho 2016).
- Singh, K. S., Harada, H. & Viraraghavan, T. (1996). Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 55, 187-194.
- Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., & Niu, Z. (2016). Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: Implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9.
- Szarblewski, M. d., Schneider, R. d., & Machado, E. L. (2012). Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes. *Revista Jovens pesquisadores*, 62-74.
- Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227, 167-177.
- Vieira, G. E., & Alexandre, G. P. (2014). Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico. *Revista Liberato*, 14, 01-104.