

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE CASTANHA POR DIGESTÃO ANAERÓBIA****Loureiro F.G.\*, \*\*, Eusébio A.\*, Marques I.P.\***

\* Unidade de Bioenergia, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada do Paço do Lumiar, Lisboa, 1649-038, Portugal

\*\* Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, Lisboa, 1349-017, Portugal

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.4080>

**RESUMO**

Os resíduos/efluentes oriundos da indústria da castanha constituem um potencial de valorização energética por digestão anaeróbia (DA). Resíduos sólidos (cascas e frações de polpa, “RS”) e lamas resultantes do tratamento de águas residuais (“LT”), ambas provenientes do processamento de castanha, foram anaerobiamente digeridas em condições *batch* e mesófilas de temperatura. Os RS, com um rácio substrato/inóculo (S/I) de 2,5, forneceram 162 mL de biogás (46% CH<sub>4</sub>) e 77% de remoção em CQO, enquanto as LT, mediante um S/I de 0,75, geraram 106 mL de biogás (67% CH<sub>4</sub>) e 85% de remoção em CQO. Os resultados demonstram haver potencial para a valorização energética destas tipologias de substrato, tendo as LT apresentado comparativamente resultados mais promissores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processamento da castanha, Resíduos e Lamas, Digestão Anaeróbia, Biogás/metano

**ABSTRACT**

The residues/effluents from the chestnut industry are a potential for energetic valorisation through anaerobic digestion (AD) process. Solid residues (pulp peels and fractions, “RS”) and sludge resulting from wastewater treatment plant (“LT”), both from the chestnut processing industry, were digested anaerobically under batch and mesophilic conditions of temperature. The RS, with a substrate/inoculum ratio (S/I) of 2,5, provided 162 mL of biogas (46% CH<sub>4</sub>) and 77% COD removal, while the LT, through a S/I ratio of 0,75, generated 106 mL of biogas (67% CH<sub>4</sub>) and 85% COD removal. The results show that there is a potential for the energetic valorisation of these types of substrate, having the TL presented results that are comparatively more promising.

**KEYWORDS:** Chestnut production, Residues and Sludge, Anaerobic Digestion, Biogas/methane

## INTRODUÇÃO

O debate acerca das futuras condições ambientais encontra-se na ordem do dia promovido por uma crescente preocupação com as mudanças climáticas e a falta de sustentabilidade. São inúmeros os eventos que refletem a atual degradação das condições ambientais da Terra como a poluição, o efeito de estufa e o aquecimento global. Estes fenómenos têm origem no contínuo aumento global da população, no consequente uso intenso de combustíveis fósseis como principal fonte de energia (Batista, et al., 2017; Marques, et al., 2018) e na gestão danosa dos resíduos (Campos et al., 2020; Ren et al., 2017).

Na União Europeia (UE), a indústria alimentar representa o setor industrial economicamente mais relevante que continua a ganhar cada vez mais relevância (Zhang et al., 2011). Sendo um dos maiores setores produtores de efluentes, gera grandes volumes de lamas como resultado do tratamento biológico das resultantes águas residuais (Boguniewicz-Zablocka et al., 2019). Além disso, a própria gestão dos resíduos alimentares constitui um fator importante quanto às questões ambientais dado o aumento da sua produção e acumulação contribuírem para a degradação do meio envolvente (Ren et al., 2017).

No caso da indústria associada à produção da castanha, verifica-se que este sector tem vindo a ser alvo de atenção em todo o mundo e, em particular, na Europa (Poljak et al., 2016; Wani et al., 2017). Em 2018, eram cinco os países europeus que constavam na lista dos 10 maiores produtores de castanha do mundo (FAOSTAT, 2018). Portugal, com uma produção superior a 34 mil toneladas, foi o sétimo maior produtor mundial tendo representado cerca de 22% da produção europeia (FAOSTAT, 2018). As maiores taxas de produção nacionais registaram-se no norte do país, nomeadamente no Minho e Trás-os-Montes (INE, 2019), cuja atividade gerou um impacto social e económico positivo nessas mesmas regiões (Silva et al., 2016). Para além disso, a indústria portuguesa de processamento de castanhas tem vindo a revelar um carácter exportador no que respeita à castanha descascada sob congelação (Rosa et al., 2017). A produção de castanha congelada e glacé gera resíduos de cascas que derivam do processo de descasque (Cacciola et al., 2019; Gómez et al., 2005) que são frequentemente queimados nas fábricas para evitar descargas inadequadas (Cacciola et al., 2019). No entanto, estes resíduos podem vir a ser reaproveitados de forma a proceder à sua valorização e a mitigar os potenciais problemas ambientais (Gómez et al., 2005). Os efluentes líquidos, com origem nas águas de lavagem e domésticas são outro tipo de fluxos gerados nesta indústria a ter em conta, dadas as consequências adversas para a saúde pública se forem diretamente descarregados (Martins et al., 2017). Estes efluentes ao serem sujeitos a tratamento em estações de águas residuais, originam lamas que podem ser aplicadas em terrenos agrícolas. Contudo, devido ao risco da produção de gases de efeito de estufa, a acumulação de elevadas quantidades deste tipo de lamas levanta questões associadas ao armazenamento (Belhadj et al., 2014). É ainda de salientar a natureza lenhocelulósica dos resíduos derivados da casca e pele da castanha que, ao fazerem parte do grupo de resíduos produzidos em maiores quantidades pela sociedade atual (Madigou et al., 2016), devem ser alvo de uma correta gestão tendo em conta a respetiva valorização. Com desafios desta natureza, urge atualmente uma alteração de paradigma global de forma a lidar com a necessidade de desenvolver tecnologias de exploração de recursos renováveis para que estes se tornem importantes fontes de energia (Batista et al., 2017) e para assegurar uma gestão de resíduos eficiente e limpa (Castellano-Hinojosa et al., 2018). A UE e a Organização das Nações Unidas (ONU) têm desenvolvido políticas e metas e implementado esquemas de promoção e de financiamento para encorajar ao uso de fontes de energia renováveis como o biogás (Scarlat et al., 2018).

A digestão anaeróbia (DA) é uma tecnologia promissora e sustentável, aplicável à valorização energética e agrícola de resíduos/efluentes orgânicos, que pode contribuir para remediar o impacto da indústria com a criação de soluções ecológicas e integradas no conceito de economia circular (Batista et al., 2017). Carecendo os autores de informação sobre a área de investigação quanto à produção da castanha, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial da aplicabilidade da DA na valorização dos resíduos gerados no processamento da castanha, visando principalmente a produção de biogás/metano.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Substratos e Inóculo

O potencial e a eficiência da valorização energética por digestão anaeróbia foram avaliados em amostras de resíduos sólidos (cascas e frações de polpa, “RS”) e de lamas resultantes do tratamento de águas residuais (“LT”), ambas coletadas na SORTEGEL, indústria de processamento de castanha situada em Bragança, Portugal. O substrato RS foi submetido a um processo de secagem a 60°C, para garantir que o peso das amostras não incluisse o peso da água, e também de moagem, para alcançar uma melhor homogeneização das soluções. As lamas provenientes de uma estação de digestão anaeróbia de efluente doméstico (SIMARSUL, Quinta do Conde) foram usadas como inóculo (I, 30% v/v), na razão substrato/inóculo expresso em sólidos voláteis de 0,75 e 2,5, respetivamente para os substratos LT e RS.

Unidades de digestão anaeróbia: Ensaio experimental

Os ensaios foram realizados em triplicado em reatores de alimentação em descontinuo (*batch*), à escala laboratorial (unidades de 71,5 mL de volume), a operar em condições mesófilas de temperatura ( $37\pm 1^\circ\text{C}$ ). O acompanhamento das unidades de digestão foi efetuado através de análises químicas e cromatográficas e pelo registo diário do volume de biogás e periódico do metano, expressos em condições normais de pressão e temperatura (PTN:  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm).

Análises químicas e cromatográficas

A realização de técnicas analíticas permitiu determinar diversos parâmetros de avaliação do desenvolvimento do processo, tais como o pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), carência química de oxigénio (CQO), azoto total (Kjeldahl, TN), e amónio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), de acordo com o manual *Standard Methods* (APHA, 2005). O volume de biogás produzido foi determinado por meio de um transdutor de pressão. A composição do biogás, em termos de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , foi analisada por cromatografia gasosa (Varian 430-GC, TDC; HP-5890, FID) de acordo com o Método Padrão ASTM [2000]. A caracterização dos substratos e inóculo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físico-química dos substratos e inóculo

	RS	LT	I
Humidade, a.r.	64-80%	99%	n.e.
SV, a.r.	20-35%	10-16 g/L	1300 g/L
CQO, a.r.	n.e.	13-49 g/L	104 g/L
N-Total, a.r.	0,2-1.4%	290 g/L	1350 g/L
N- $\text{NH}_4$	0.003-0,04%	5,6 g/L N	360 g/L N
pH, a.r.	4,6-5.1	6,3	6,9
Razão C/N	42-65	19	-

a.r. – amostra tal qual recebida; n.e. – não efetuado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados, obtidos quanto à produção de biogás ao longo do tempo (Fig. 1), mostram que os dois efluentes testados, RS e LT, apresentam uma produção superior à registada na unidade de controlo (apenas com I), após os 77 dias experimentais. Verificou-se ainda a inexistência de uma fase inicial de adaptação (fase *lag*) em nenhum dos casos e que as produções em biogás dos efluentes RS e LT evoluíram mais rapidamente do que a gerada pelo I.

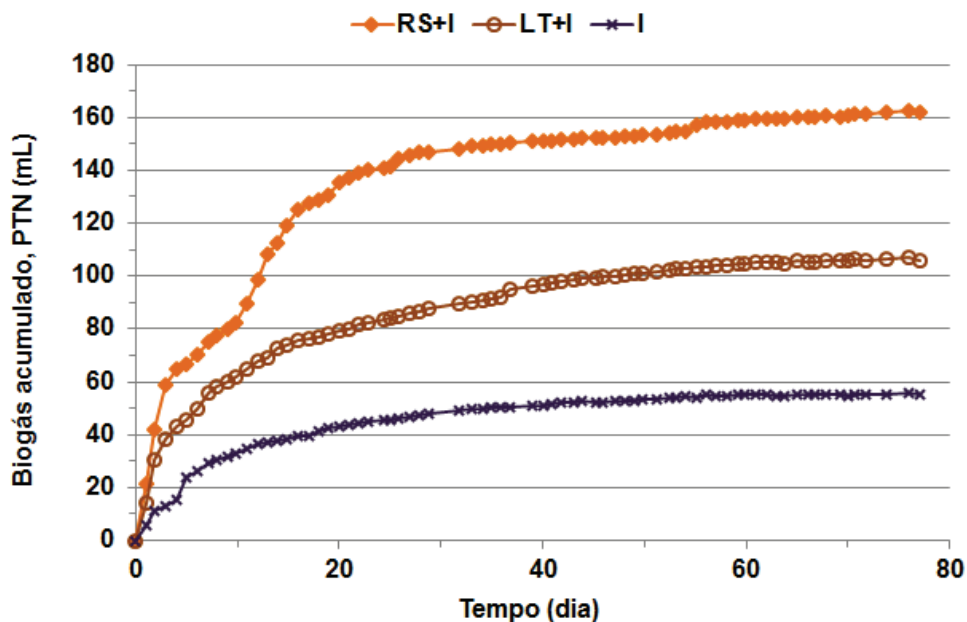


Fig. 1. Produção de biogás acumulado, em condições normais de pressão e temperatura

A produção de biogás caracteriza-se por uma progressão mais acentuada no primeiro mês de ensaio. Os volumes de biogás de 148 e 88 mL, após cerca de 30 dias, que evoluem para valores de 162 e 105 mL (RS+I e LT+I, respetivamente), no fim do ensaio, mostram haver um potencial energético interessante em ambos os efluentes provenientes do processamento da castanha. A unidade de controlo (I) exibe uma produção de biogás de cerca de 55 mL, indicando a remanência de algum material biodegradável contido nas lamas que não foi sujeito a prévia conversão. Quanto à qualidade do biogás produzido, os digestores RS+I apresentam valores de volume de biogás acumulado, e até de metano, mais elevados em valor absoluto do que LT+I, mas com uma proporção de metano inferior (46 vs. 67% CH<sub>4</sub>: Tabela 2).

Tabela 2. Produção e composição do biogás

Substratos dos digestores anaeróbios		RS+I	LT+I
Produção de biogás (mL)		162±2	106±4
Composição do gás produzido (%, valores médios)	CH <sub>4</sub>	45±2	67±2
	CO <sub>2</sub>	55±2	33±2

Os parâmetros analisados no início e após a DA dos substratos RS e LT, bem como os valores determinados para a conversão realizada pelo I, como controlo do sistema (Tabela 3), revelam que para as unidades LT+I culminaram num aumento da concentração de azoto amoniacal após a DA, indicando a existência de uma população microbiana equilibrada capaz de degradar a matéria orgânica. O mesmo não se poderá afirmar quanto às unidades RS+I.

Tabela 3. Caracterização físico-química dos substratos e dos digeridos

Unidades		pH	CQO (g/L)	ST (g/L)	SV (g/L)	Azoto Amoniacal (mg/L)	Azoto Total (mg/L)
RS+I	Inicial	7,01	148,1±1,7	39,7±3,6	36,7±3,6	48±0	507±12
	Final	5,24	33,3±2,9	29,1±0,8	26,1±0,7	49±2	493±0
	%	-	77	27	29	-3	3
LT+I	Inicial	6,81	95,8±9,1	13,2±0,2	10,3±0,2	87±0	423±4
	Final	7,75	13,9±1,1	11,0±0,2	8,1±0,1	189±2	437±0
	%	-	85	16	21	-118	-3
I	Inicial	7,06	61,1±5	9,6±0,2	6,9±0,2	91±2	381±8
	Final	7,77	10,4±0,4	8,2±0	5,6±0	188±0	381±0
	%	-	83	14	19	-106	0

As concentrações iniciais em CQO e sólidos das unidades RS+I são superiores às encontradas em LT+I (Tabela 3), mas é necessário referir que RS é constituído por cascas e frações de fruto da castanha, cujo conteúdo lenhocelulósico (Gómez et al., 2005) e polifenólico (Wani et al., 2017) pode exercer inibição ao nível do processo da DA (Chen et al., 2008).

A lenhina é um composto recalcitrante, uma vez que apresenta uma estrutura complexa, e por isso promove o atraso da hidrólise no início da DA. Aos efeitos da lenhina, acresce o facto de quando é degradada serem libertados subprodutos fenólicos (Madigou et al., 2016; Monlau et al., 2014), com capacidade inibidora sobre a DA. Os compostos fenólicos podem influenciar a permeabilidade seletiva das membranas celulares, levando à consequente perda do conteúdo celular e à inativação enzimática (Madigou et al., 2016; Monlau et al., 2014), e/ou mesmo promover a apoptose celular por intermédio da intervenção destes compostos no processo de produção de espécies reativas de oxigénio (Monlau et al., 2014). Mormente, a moagem realizada após secagem do substrato RS poderá não apenas ter proporcionado a acidificação do meio (Meegoda et al., 2018), denunciada pelo decréscimo do valor do pH das unidades RS+I de 7,0 para 5,2 (Tabela 3). Este efeito tem ainda reflexo na inferior qualidade do biogás produzido, conforme a Tabela 2, e nos rendimentos em metano gerados, de acordo com a Fig. 2. Confirma-se uma produtividade em metano mais elevada na digestão do substrato LT (117 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV<sub>removido</sub>.d<sup>-1</sup>) do que na do substrato RS.

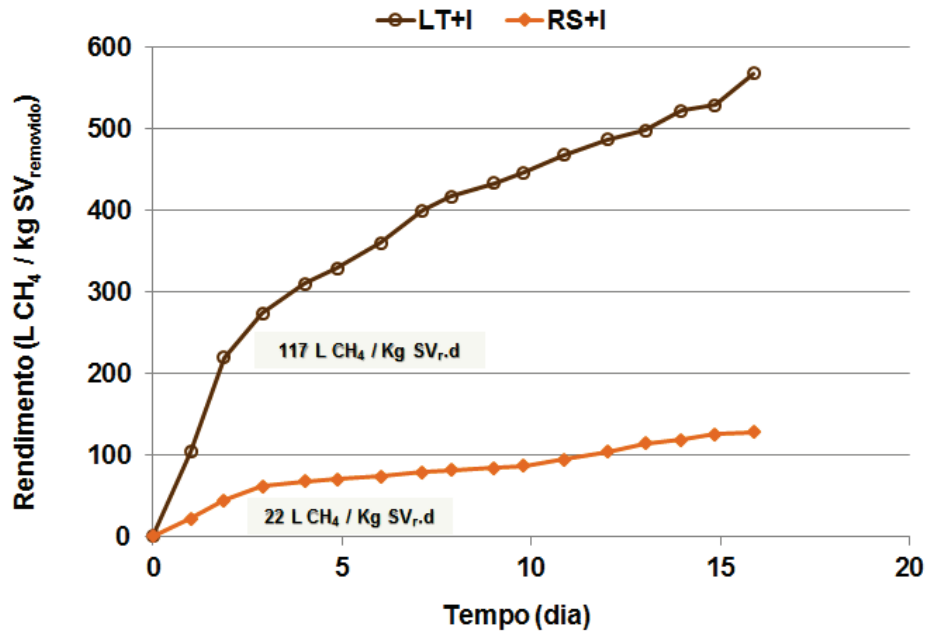


Fig. 2. Rendimento e produtividade em metano

É ainda de referir que as concentrações mais elevadas no RS podem funcionar como sobrecarga, podendo ter tornado mais enfáticos os processos inibitórios descritos (Wang et al., 2015). Em situações de desequilíbrio do substrato/população microbiana, a hidrólise e a acidogénese podem ocorrer mais rapidamente, conduzindo a uma velocidade de produção de ácidos gordos voláteis superior à de consumo destes. Este fenómeno promove a acidificação do meio e a consequente inibição da metanogénese (Venkiteshwaran et al., 2015). O facto de não se ter obtido grande alteração dos valores de azoto amoniacal nas unidades RS+I, quando comparado com LT+I (Tabela 3), indica que o sistema não foi capaz de gerar uma capacidade tampão capaz de responder convenientemente à acidificação gerada. Por outro lado, as unidades LT+I revelaram ainda uma maior capacidade de conversão do substrato inicial, no cômputo geral (85% CQO, 16% ST e 21% SV, Tabela 3) face às unidades RS+I (77% CQO, 27% ST e 29% SV, Tabela 3). Ainda assim, as últimas unidades conseguiram percentagens de remoção de sólidos ligeiramente superiores. Para além disso, a quantidade removida da solução inicial é menor nas unidades LT+I, contudo é uma consequência das maiores concentrações iniciais em RS+I.

Através de uma análise à Tabela 4, verifica-se que o processo de DA levado a cabo com RS+I foi capaz de gerar um valor de rendimento de produção de metano superior, ou na mesma ordem de grandeza, a um referido para outro substrato lenhocelulósico, como o caso da casca de arroz (Solarte-Toro et al., 2018). Mesmo os resultados obtidos após pré-tratamento deste último resíduo não se afastam muito daqueles obtidos pela unidade RS+I. É ainda imperativo ter em conta que o presente estudo foi conduzido sem a realização de pré-tratamentos e sem a complementaridade de outros substratos mais facilmente degradáveis. O rendimento de metano e o conteúdo de metano nas amostras de biogás produzido pela digestão das lamas resultantes do tratamento de águas residuais do processamento da castanha (unidades LT), demonstraram haver um bom desempenho por parte do sistema anaeróbio. O potencial energético deste substrato, não só é comparável ao dos outros resíduos orgânicos, como chega a ser superior a alguns destes (Tabela 4).

Não obstante, considera-se existir margem para melhorar os resultados obtidos através da alteração das condições operacionais. A adoção de diferentes rácios S/I, como forma de mitigar alguns dos fatores inibitórios descritos, em particular no que respeita ao substrato RS, será tida em conta em posteriores ensaios.



Tabela 4. Rendimento de metano e potencial energético de biomassas e resíduos orgânicos utilizáveis como matéria-prima na AD

Biomassa	Produção de metano (L CH <sub>4</sub> /kg SV <sub>inicial</sub> )	Valor energético (KWh/kg SV <sub>inicial</sub> )	Referência
LT+I	167±6,1	1,66±0,06	Este trabalho
RS+I	49±0,5	0,49±0,00	Este trabalho
Fração orgânica de resíduos sólidos urbanos	100-400	6,18	(Roati et al., 2012)
Lamas de laticínios	200		(Roati et al., 2012)
Casca do café	159	1,78	(Chala et al. 2018)
Palha de milho	174	0,66	(FNR, 2020)
Pastagem	153	0,58	(FNR, 2020)
Casca de arroz (sem pré-tratamento)	44	4,36	(Solarte-Toro et al., 2018)
Casca de arroz (com pré-tratamento)	56	n.d.	(Solarte-Toro et al., 2018)

n.d. não determinado

Com base nesta experiência, revela-se que os substratos LT+I e RS+I apresentam um considerável potencial para a valorização energética através da produção de metano.

### CONCLUSÕES

Os efluentes gerados durante o processamento da castanha – RS e LT – exibem potencial de valorização energética por intermédio do processo de DA, sendo que LT proporciona um biogás mais rico em metano e uma maior conversão orgânica, nas condições experimentais referidas. Produções em gás de 162 ml (46% CH<sub>4</sub>) e 106 mL (67% CH<sub>4</sub>) e remoções em CQO de 77% e 85% foram registadas nos substratos RS+I (S/I=2,5) e LT+I (S/I=0,75), respetivamente. O potencial energético evidenciado pelos substratos utilizados neste estudo é comparável ao referido noutros substratos, quer em termos de rendimento da produção de metano quer em valor energético. Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que o processo da DA constitui uma alternativa efetiva e aplicável à gestão ecológica de resíduos numa indústria de processamento de castanha.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho fez parte integrante do projeto CONVERTE, cofinanciado pelo POSEUR (POSEUR-01-1001-FC-000001), Portugal 2020 e União Europeia, através do Fundo de Coesão, e da Infraestrutura de Investigação para a Biomassa e a Bioenergia (BBRI)- LISBOA-01-0145-FEDER-022059, financiada pelo FEDER através do Portugal 2020, do Lisboa 2020 e do Norte 2020, sob o acordo de parceria Portugal 2020. Os autores agradecem à SOTERGEL (Bragança, Portugal) pela disponibilidade dos substratos e à SIMARSUL (Quinta do Conde, Portugal) pelas lamas biológicas. Um agradecimento especial à colaboradora Natércia Santos pela assistência técnica laboratorial.

### REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, W. (2005). APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association. American Public Health Association, Washington.
- Batista, A. P., López, E. P., Dias, C., Lopes da Silva, T., & Marques, I. P. (2017). Wastes valorization from *Rhodospiridium toruloides* NCYC 921 production and biorefinery by anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 226, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.113>
- Boguniewicz-Zablocka, J., Klosok-Bazan, I., & Naddeo, V. (2019). Water quality and resource management in the dairy industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1208–1216. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0608-8>
- Cacciola, N. A., Squillaci, G., D'Apolito, M., Petillo, O., Veraldi, F., Cara, F. La, ... Morana, A. (2019). Castanea sativa Mill. Shells aqueous extract exhibits anticancer properties inducing cytotoxic and pro-apoptotic effects. *Molecules*, 24(18), 1–22. <https://doi.org/10.3390/molecules24183401>

- Campos, D. A., Ricardo, G., Vilas-boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of Fruit Industrial By-Products — A Case Study on Circular Economy Approach. *Molecules*, 25(2), 320.
- Castellano-Hinojosa, A., Armato, C., Pozo, C., González-Martínez, A., & González-López, J. (2018). New concepts in anaerobic digestion processes: recent advances and biological aspects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(12), 5065–5076. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9039-9>
- Chala, B., Oechsner, H., Latif, S., Müller, J. (2018). Biogas Potential of Coffee Processing Waste in Ethiopia. *Sustainability*, 10, 2678. <https://doi.org/10.3390/su10082678>
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
- FAOSTAT. (2018). Último acesso a 5 de Setembro de 2020, disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>
- FNR. (2020). Bioenergy in Germany: Facts and Figures 2020. Disponível em: [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere\\_basisdaten\\_bioenergie\\_2020\\_engl\\_web.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2020_engl_web.pdf)
- Gómez, J., Pazos, M., Couto, S. R., & Sanromán, M. Á. (2005). Chestnut shell and barley bran as potential substrates for laccase production by *Corioloropsis rigida* under solid-state conditions. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.005>
- INE. (2019). Instituto Nacional de Estatística - Estatísticas Agrícolas 2018. Disponível em: <https://www.ine.pt/xurl/pub/358629204>
- Madigou, C., Poirier, S., Bureau, C., & Chapleur, O. (2016). Acclimation strategy to increase phenol tolerance of an anaerobic microbiota. *Bioresource Technology*, 216, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.045>
- Marques, I. P., Batista, A. P., Coelho, A., & Lopes da Silva, T. (2018). Co-digestion of *Rhodospiridium toruloides* biorefinery wastes for biogas production. *Process Biochemistry*, 64(September 2017), 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2017.09.023>
- Martins, R., Boaventura, R., & Paulista, L. (2017). Treatment and Energy Valorisation of an Agro-Industrial Effluent in Upflow Anaerobic Sludge Reactor (UASB). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/4/042045>
- Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K., & Wang, L. B. (2018). A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph15102224>
- Monlau, F., Sambusiti, C., Barakat, A., Quéméneur, M., Trably, E., Steyer, J. P., & Carrère, H. (2014). Do furanic and phenolic compounds of lignocellulosic and algae biomass hydrolyzate inhibit anaerobic mixed cultures? A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 32(5), 934–951. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.007>
- Poljak, I., Vahčić, N., Gačić, M., & Idžojtić, M. (2016). Morphological characterization and chemical composition of fruits of the traditional Croatian chestnut variety “lovran Marron.” *Food Technology and Biotechnology*, 54(2), 189–199. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.02.16.4319>
- Ren, Y., Yu, M., Wu, C., Wang, Q., Gao, M., Huang, Q., & Liu, Y. (2017). A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Research updates and tendencies. *Bioresource Technology*, 247(July), 1069–1076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.109>
- Roati, C., Fiore, S., Ruffino, B., Marchese, F., Novarino, D., Zanetti, M.C. (2012) Preliminary Evaluation of the Potential Biogas Production of Food-Processing Industrial Wastes. *American Journal of Environmental Sciences*, 8 (3), 291-296.
- Rosa, D., Figueiredo, F., Castanheira, É. G., & Freire, F. (2017). Life-cycle assessment of fresh and frozen chestnut. *Journal of Cleaner Production*, 140, 742–752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.064>
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>

Silva, A. P., Oliveira, I., Silva, M. E., Guedes, C. M., Borges, O., Magalhães, B., & Gonçalves, B. (2016). Starch characterization in seven raw, boiled and roasted chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 348–358. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2047-1>

Solarte-Toro, J. C., Chacón-Pérez, Y., & Cardona-Alzate, C. A. (2018). Evaluation of biogas and syngas as energy vectors for heat and power generation using lignocellulosic biomass as raw material. *Electronic Journal of Biotechnology*, 33, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.03.005>

Venkiteshwaran, K., Bocher, B., Maki, J., & Zitomer, D. (2015). Relating Anaerobic Digestion Microbial Community and Process Function: Supplementary Issue: Water Microbiology. *Microbiology Insights*, 8s2, MBI.S33593. <https://doi.org/10.4137/mbi.s33593>

Wang, B., Strömberg, S., Li, C., Nges, I. A., Nistor, M., Deng, L., & Liu, J. (2015). Effects of substrate concentration on methane potential and degradation kinetics in batch anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 194, 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.034>

Wani, I. A., Hamid, H., Hamdani, A. M., Gani, A., & Ashwar, B. A. (2017). Physico-chemical, rheological and antioxidant properties of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) as affected by pan and microwave roasting. *Journal of Advanced Research*, 8(4), 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.05.005>

Zhang, Q., He, J., Tian, M., Mao, Z., Tang, L., Zhang, J., & Zhang, H. (2011). Enhancement of methane production from cassava residues by biological pretreatment using a constructed microbial consortium. *Bioresource Technology*, 102(19), 8899–8906. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.061>