



IX congresso ibérico de  
**AGROENGENHARIA 2017**

4 a 6 de setembro  
Bragança – Portugal

## **Valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia**

Bárbara Gonçalves<sup>1</sup>, Larissa Paulista<sup>2</sup>, Rui Boaventura<sup>3</sup>, Ramiro Martins<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.  
bacamachog@gmail.com

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

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

<sup>4</sup> 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**

A produção mundial e o comércio de frutas geram perdas nas etapas de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo, correspondendo a 6,8% da produção total. Esses resíduos apresentam elevado potencial como substrato para um processo de digestão anaeróbia e geração de biogás. Dessa forma, avaliou-se a valorização energética dos resíduos agroindustriais da produção de kiwi por digestão anaeróbia, tendo como meta otimizar a produção de biogás e a sua qualidade. Foram desenvolvidos 10 ensaios em reator batch (500 mL) em condições mesófilas e variaram-se vários fatores operacionais: diferentes proporções para a razão substrato/inóculo; quatro valores distintos para a razão C:N; inóculo proveniente de diferentes digestores; e inóculo recolhido em épocas distintas do ano. Para controle e monitorização do processo foram usados os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, ácidos gordos voláteis (AGV), sólidos voláteis (SV) e carência química de oxigénio (CQO). Entre os ensaios realizados, o melhor resultado obtido para a produção de biogás correspondeu à utilização de 2 g de substrato e 98 mL de inóculo do digestor anaeróbio da Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) de Bragança, com adição de 150 mg de bicarbonato de sódio, registando-se uma produção de 1628 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV (57% de metano). Já em relação à qualidade do biogás, o melhor resultado foi obtido com 20 g de substrato e 380 mL de inóculo da lama do digestor anaeróbio da ETAR do Ave (mais 600 mg de bicarbonato de sódio), apresentando um valor de 85% de CH<sub>4</sub>, com uma produção de 464 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV.

**Palavras-chave:** Biogás, Kiwi, Metano, Reator Batch, Resíduos Agroindustriais.

## Energy valorization of kiwi residues by anaerobic digestion

### Abstract

World production and trade of fruits generate losses in the harvest, post-harvest, handling, distribution and consumption phases, corresponding to 6.8% of total production. These residues present high potential as a substrate for the anaerobic digestion process and biogas generation. Thus, the energy valuation of the agro-industrial residues of kiwifruit production was evaluated by anaerobic digestion, aiming at optimizing the biogas production and its quality. Ten assays were carried out in a batch reactor (500 mL) under mesophilic conditions and varying a number of operational factors: different substrate/inoculum ratios; four distinct values for C: N ratio; inoculum from different digesters; and inoculum collected at different times of the year. The following parameters were used to control and monitor the process: pH, alkalinity, volatile fatty acids (VFA), volatile solids (VS) and chemical oxygen demand (COD). Among the tests performed, the best result obtained for the biogas production corresponded to the use of 2 g of substrate and 98 mL of inoculum of the anaerobic digester of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Bragança, with addition of 150 mg of bicarbonate leading to a production of 1628 L biogas.kg<sup>-1</sup> VS (57% methane). In relation to the biogas quality, the best result was obtained with 20 g of substrate and 380 mL of inoculum from the anaerobic digester sludge of Ave WWTP (plus 600 mg of sodium bicarbonate), presenting a value of 85% of CH<sub>4</sub>, with a production of 464 L biogas.kg<sup>-1</sup> VS.

**Keywords:** Biogas, Kiwi, Methane, Batch Reactor, Agro-industrial Waste.

## 1. Introdução

A produção mundial e o comércio de frutas têm crescido de forma constante nas últimas décadas, porém acredita-se que 6,8% de toda a produção é perdida durante os processos de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo (Sanjaya *et al.*, 2016). A maioria desses resíduos são depositados em aterros ou incinerados (Nanda *et al.*, 2016). Contudo, essas práticas podem representar uma ameaça à saúde da população e ao ambiente de modo geral (Kumar *et al.*, 2016), já que emitem gases com efeito de estufa, além de atrair vetores como insetos e roedores (Sanjaka *et al.*, 2016).

Os resíduos de fruta são caracterizados por um elevado teor de humidade e concentrações elevadas de matéria orgânica facilmente biodegradável (Fonoll *et al.*, 2015). Face a isto, esse tipo de resíduo tem sido considerado um substrato adequado para a produção de metano através do processo de digestão anaeróbia (DA) (Wu *et al.*, 2016). Este processo de degradação é realizado por microrganismos anaeróbios e inclui várias etapas reacionais que podem ser divididas em: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Piatek *et al.*, 2016). O processo tem como produto final o material estabilizado e também biogás com elevada concentração de metano (50-65%), que pode ser utilizado como fonte de energia térmica ou elétrica (Fonoll *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2016).

Estudos anteriores apontam que o rendimento em metano quando se utilizam resíduos de frutas e vegetais pode variar, mantendo-se, contudo, em valores razoavelmente elevados: 430 L CH<sub>4</sub>. Kg<sup>-1</sup> SV para Scano *et al.* (2014), 479, 5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para Zhang *et al.* (2011). Gunaseelan (2004) obteve 473,5 5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de limão, 448,5 5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de manga, entre outros. Zhao *et al.* (2016) referem, contudo, que a literatura científica apresenta poucos estudos sobre a digestão anaeróbia de resíduos de frutas de forma isolada, já que na maioria dos casos os mesmos vêm associados a resíduos alimentares e outros resíduos vegetais. Dessa forma, diversos tipos de resíduos de frutas, como o kiwi, que têm uma produção anual considerável, ainda não foram devidamente considerados para a digestão anaeróbia.

Tendo isso em conta, este estudo teve como objetivo a valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia, mediante a realização de diversos ensaios experimentais em reator batch à escala laboratorial. A produção de biogás foi monitorizada e analisada por recurso a um sistema de medição em contínuo e foram analisados outros parâmetros, nomeadamente, pH, alcalinidade, carência química de oxigénio (CQO), sólidos voláteis (SV) e ácidos gordos voláteis (AGV).

## 2. Materiais e Métodos

O reator selecionado para a realização das experiências foi do tipo batch, designadamente o sistema BCS-CH<sub>4</sub>biogas *BlueSens*, composto por: frasco de vidro (B) onde ocorre o processo de digestão; fluxímetro (C), que mede o volume de biogás gerado; sensor (D), que mede a qualidade do biogás (% CH<sub>4</sub>); e acessórios para interligação destes componentes (A, E e F) (Figura 1). Os dados de geração de biogás (mL) e a percentagem de metano (%) são processados a cada 20 segundos e registados em forma de gráfico num computador. Os reatores foram colocados sobre placas de agitação magnética para manter a mesma concentração em todos os pontos em resultado da agitação provocada pela rotação de uma barra magnética. Além disso, utilizou-se uma fita de aquecimento para manter a temperatura no interior dos reatores na gama mesofílica (35°C).

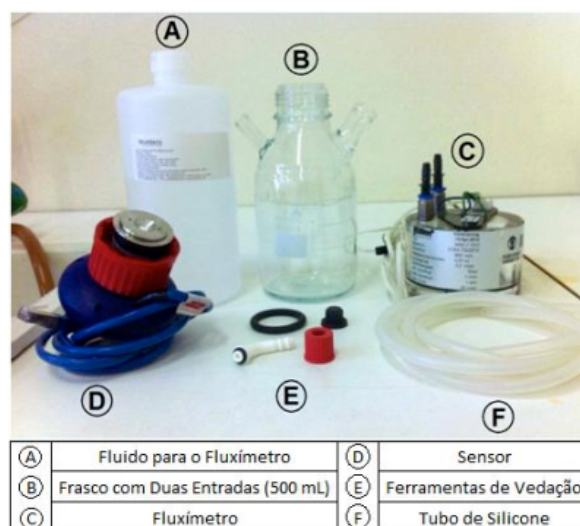


Figura 1. Materiais utilizados para a montagem do sistema BCS-CH<sub>4</sub>biogas BlueSens.

O substrato utilizado foi resíduo de kiwi, recolhido numa unidade de distribuição alimentar da cidade de Bragança. O resíduo de kiwi foi cortado e triturado transformando-se numa substância pastosa. Esse material foi armazenado no frigorífico a 3-4°C até à sua utilização. Todas as experiências realizadas neste estudo utilizaram o mesmo resíduo preparado inicialmente e seu volume variou de acordo com o pretendido. Os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros analisados nas experiências.

Parâmetros	Métodos
pH	4500 H <sup>+</sup> B (APHA, 2012)
Alcalinidade	2330 B (APHA, 2012)
AGV	(Buchauer, 1998)
SV	2540 E (APHA, 2012)
CQO	5220 C (APHA, 2012)

O inóculo que é introduzido no reator desencadeia o processo, já que fornece microrganismos que facilitam a transformação da matéria orgânica (substrato). O inóculo escolhido para alimentar o sistema foi lama anaeróbia proveniente dos digestores anaeróbios da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Bragança e da ETAR do Ave e, ainda, de uma fossa séptica. O volume de inóculo introduzido variou de acordo com as condições previamente definidas para cada ensaio (Tabela 2).

Tabela 2. Ensaio realizados e respetiva composição.

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	NaHCO <sub>3</sub> (mg)	KNO <sub>3</sub> (mg)	Lama
1	1.1	1	99	150	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	1.2	2	98	150	-	
	1.3	3	97	150	-	
	1.4	4	96	150	-	
2	2.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	2.2	4	196	300	-	
	2.3	6	194	300	-	
	2.4	8	192	300	-	

Tabela 3. Ensaios realizados e respetiva composição (continuação).

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	NaHCO <sub>3</sub> (mg)	KNO <sub>3</sub> (mg)	Lama
3	3.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	3.2	4	196	300	-	
	3.3	6	194	300	-	
	3.4	8	192	300	-	
4	4.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	4.2	4	196	300	-	
	4.3	6	194	300	-	
	4.4	8	192	300	-	
5	5.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/03/2016
	5.2	4	96	150	66,57	
	5.3	4	96	150	33,36	
	5.4	4	96	150	16,61	
6	6.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 02/04/2016
	6.2	4	96	150	66,57	
	6.2	4	96	150	33,36	
	6.4	4	96	150	16,61	
7	7.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/04/2016
	7.2	4	196	300	-	
	7.3	6	194	300	-	
	7.4	8	192	300	-	
8	8.1	2	198	300	-	Lama Proveniente de Fossa Séptica, recolhida em 12/04/2016
	8.2	4	196	300	-	
	8.3	6	194	300	-	
	8.4	8	192	300	-	
9	9.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	9.2	16	384	600	-	
	9.3	20	380	600	-	
	9.4	24	376	600	-	
	9.5	16	384	400	666,04	
10	10.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	10.2	16	384	600	-	
	10.3	20	380	600	-	
	10.4	24	376	600	-	
	10.5	12	384	600	666,04	

### 3. Resultados e Discussão

No início da experiência o pH da mistura no reator foi acertado a 7, adicionando-se também bicarbonato de sódio, 150 mg L<sup>-1</sup>, de forma a providenciar uma alcalinidade adequada ao processo de digestão anaeróbia conforme descrito na literatura (Fiore *et al.*, 2016). Quando o processo foi interrompido, aproximadamente ao fim de 360 horas, o pH situava-se entre 7 e 7,6 para todos os ensaios, se enquadrando nos valores considerados satisfatórios para o processo de DA, evidenciando que a alcalinidade adicionada foi suficiente para tamponar o meio.

A alcalinidade do meio foi ajustada para 1500 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, o que se revelou adequado, pois manteve a concentração de AGV no final entre 400-600 mg L<sup>-1</sup>, gama que não inibe o processo. Verificou-se que a adição de nitrogénio, mediante adição de nitrato de potássio para avaliar o efeito da relação C:N, provocou inibição da atividade microbiana. O inóculo recolhido no inverno apresentou menor atividade microbiana, devido à baixa temperatura do ar e consequentemente do digestor anaeróbio.

Relacionando as produções de biogás (L biogás kg<sup>-1</sup> CQO) e de metano (L CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> CQO) foi possível obter as melhores condições em relação às quantidades adicionadas de substrato, inóculo, KNO<sub>3</sub> e NaHCO<sub>3</sub>. Valores de substrato inferiores a 5 g e entre 5 e 10 g conduziram a maiores produções, quer de biogás, quer de metano (Figura 2). O mesmo aconteceu com a utilização de 200 a 250 mL de

inóculo. Valores de  $\text{KNO}_3$  superiores a 100 mg inibem o processo e os melhores resultados foram obtidos para uma alcalinidade correspondente à adição de  $\text{NaHCO}_3$  entre 300 a 400 mg (Figura 2).

Além disso, o estado do inóculo tem grande influência no processo de digestão anaeróbia. Para inóculo recolhido de digestores não aquecidos, na época fria do ano, os resultados não foram satisfatórios. Tal vem comprovar que temperaturas próximas de  $0^\circ\text{C}$  correspondem a uma população microbiana com reduzida atividade, tornando a sua utilização inapropriada para o processo de digestão anaeróbia, havendo a necessidade de aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH) (Brancoli, 2014).

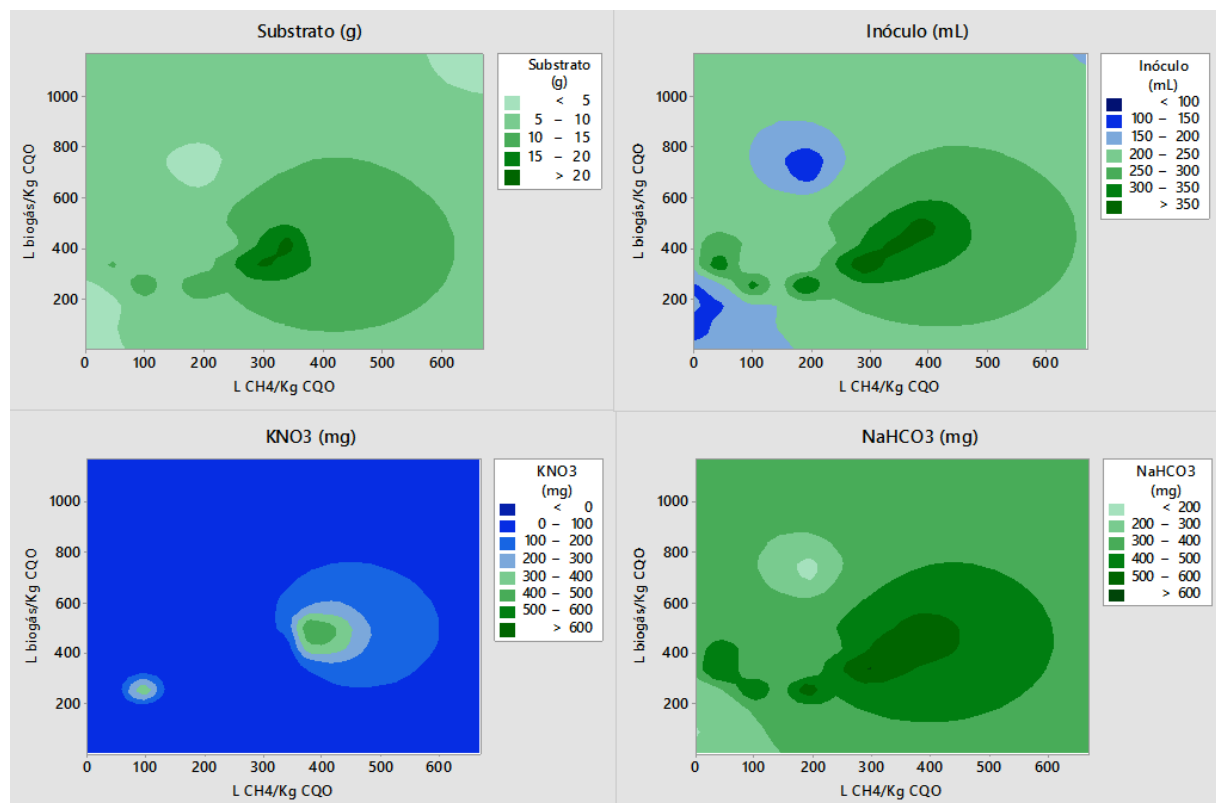


Figura 2: Relação das condições iniciais.

Em relação ao volume de biogás produzido, o melhor resultado obtido ( $1628 \text{ L biogás kg}^{-1} \text{ SV}$ ) foi correspondente ao ensaio (2.1) (1% de substrato em massa), com 57% de  $\text{CH}_4$  (Figura 3). Já em relação à qualidade do biogás, expressa em percentagem de metano, o melhor resultado foi o obtido no ensaio (10.3) (5% de substrato em massa), em que se registou um valor de 85% (Figura 4), com uma produção de  $464 \text{ L biogás kg}^{-1} \text{ SV}$ . Peller e Gidaracos (2016) relatam uma produção de metano de  $259 \text{ L CH}_4/\text{kg SV}$  para resíduos de azeitona; Fabbri et al. (2015) indicam uma média de  $169 \text{ L CH}_4/\text{kg SV}$  para bagaço de uva e Dinuccio et al. (2010) apresentam valores de 218, 229 e  $195 \text{ L CH}_4/\text{kg SV}$  para resíduos de tomate, cevada e arroz, respetivamente. Neste estudo atingiram-se valores superiores aos obtidos em estudos similares utilizando outros resíduos agroindustriais, comprovando que o resíduo de kiwi possui características adequadas para o processo de digestão anaeróbia, sendo a sua valorização energética de extremo interesse.

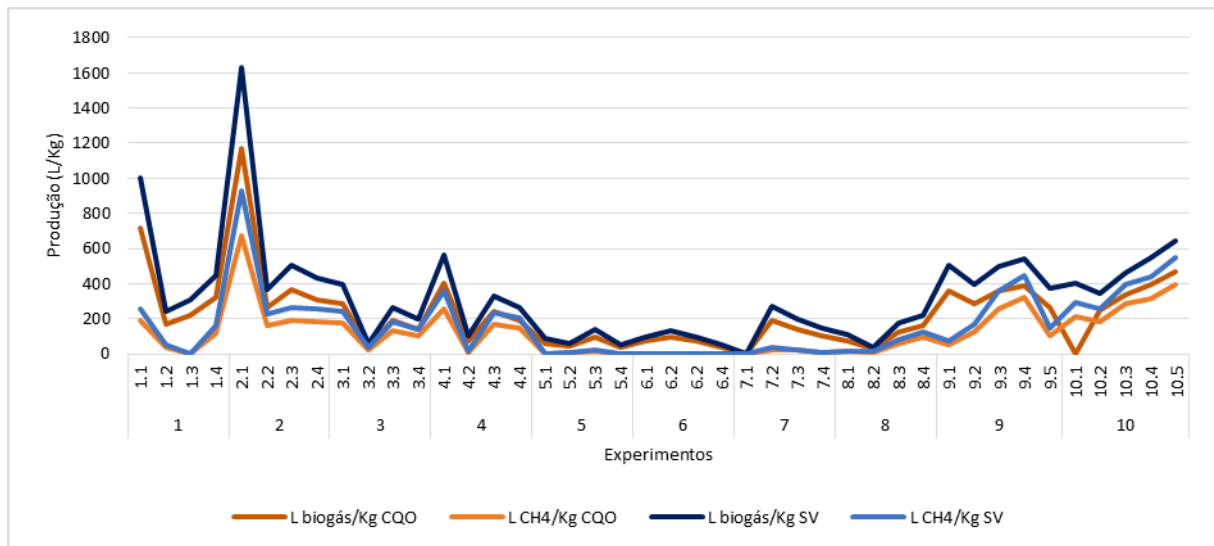


Figura 3: Produção de biogás e metano.

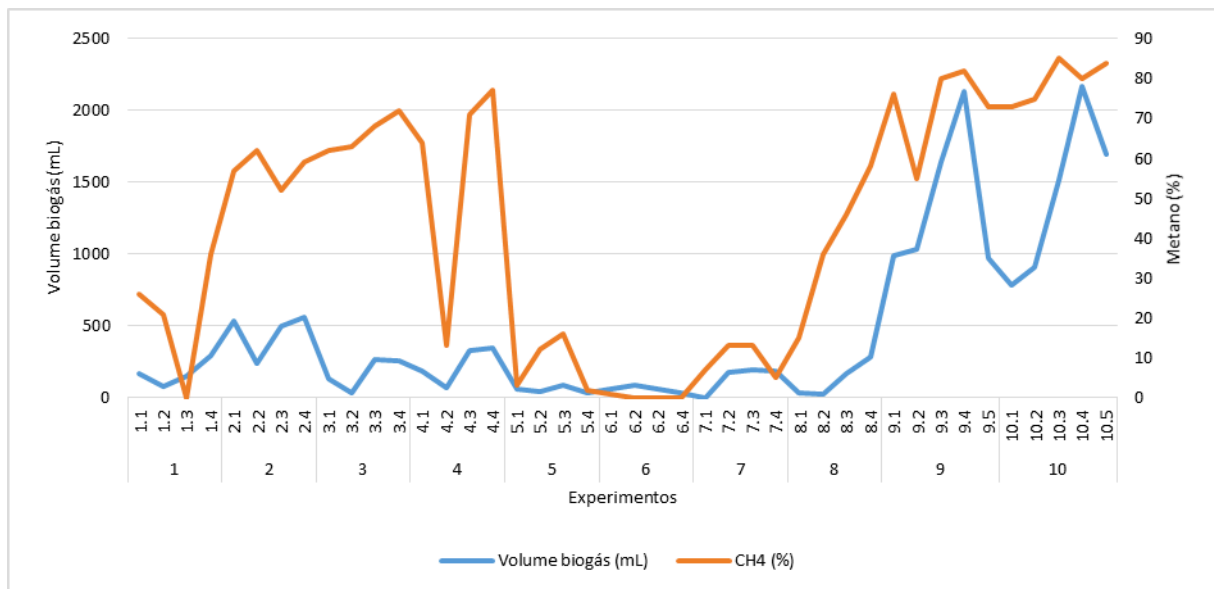


Figura 4: Volume do biogás e percentagem de metano.

Baseado em dados de Eriksson (2010), o volume de biogás gerado no processo foi convertido no correspondente volume de gás natural, atendendo ao poder calorífico do metano ( $5,7 \text{ kWh}\cdot\text{Nm}^{-3}$ ). Foi considerado para o efeito o ensaio a que corresponde o maior volume de biogás gerado (2.1), em que se registou uma produção de metano de  $928 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ SV}$  ( $1628 \text{ L biogás kg}^{-1} \text{ SV}$ ;  $57\% \text{ CH}_4$ ). Para o gás natural o conteúdo energético é de  $11 \text{ kWh Nm}^{-3}$  (Eriksson, 2010); considerando o valor  $0,0688 \text{ €}$  do kWh no mercado doméstico, isto corresponde a um valor de  $0,76 \text{ €}$  por  $\text{Nm}^3$  de gás natural. Tendo em consideração o conteúdo energético do biogás com  $57\% \text{ de CH}_4$  ( $1 \text{ Nm}^3 \text{ biogás com } 97\% \text{ CH}_4 = 9,67 \text{ kWh}$ , Eriksson, 2010), por comparação com o gás natural obtém-se um valor de  $0,39 \text{ € Nm}^{-3}$  de biogás. Atendendo ao teor de sólidos voláteis do kiwi ( $16\% \text{ em massa}$ ), por tonelada de resíduo é obtido um valor monetário bruto de  $102 \text{ €}$ .

Diversos autores têm direcionado a sua investigação no sentido da valorização de resíduos sob o ponto de vista energético, ou mesmo resolver o problema com resíduos de diferentes tipos e origens. Na Tabela 3 são apresentados valores de produção de metano e qualidade de biogás para diferentes tipos de resíduo, incluindo os resultados mais favoráveis obtidos neste estudo.

Como se observa é ampla a gama do volume de metano gerado no processo de digestão anaeróbia, sendo que o valor obtido neste estudo é bastante satisfatório (931 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV). Alguns autores registaram percentagens de metano superiores a 50%, valor considerado ponto de partida para tornar economicamente interessante a valorização energética. Neste estudo, um dos ensaios (10.3) proporcionou um valor bastante significativo, em torno de 85%.

*Tabela 4. Valores de produção e qualidade de CH<sub>4</sub> para diferentes resíduos (continua).*

Tipo de substrato	L CH <sub>4</sub> /kg SV	% de CH <sub>4</sub> no biogás	Referência
Bagaço de Uva	169	51	Fabbri <i>et al.</i> (2015)
Cevada	229	60	Dinuccio <i>et al.</i> (2010)
Citrinos	176	57	Su <i>et al.</i> (2016)
Cortes de gramas	226	61	Poulsen e Adelard (2016)
Esterco de vaca	68	44	Poulsen e Adelard (2016)
Frutas e vegetais	430	61	Scano <i>et al.</i> (2014)
Laranja	658	62	Sanjaya <i>et al.</i> (2016)
Milho	317	68	Dinuccio <i>et al.</i> (2010)
Oliva	259	81	Pellera e Gidaracos (2016)
Resíduos sólidos urbanos	350	64	Martin-Gonzalez <i>et al.</i> (2010)
Talos de algodão	242	55	Adl <i>et al.</i> (2012)
Tomate	218	70	Dinuccio <i>et al.</i> (2010)
Kiwi	928	57	Este estudo
Kiwi	464	85	Este estudo

#### 4. Conclusões

Das 10 experiências realizadas, em duas foram obtidos resultados muito interessantes em relação à literatura; o ensaio com 1% de substrato (experiência 2) proporcionou uma produção de biogás de 1628 L kg<sup>-1</sup> SV com uma %CH<sub>4</sub> de 57% e o biogás de maior qualidade, com 85% de metano, foi obtido no ensaio com 5% de resíduo de kiwi (experiência 10.3). As experiências em que se avaliou o efeito da razão C:N foram as menos produtivas, possivelmente devido à inibição da atividade da população microbiana pelo KNO<sub>3</sub>. A qualidade do inóculo revelou-se determinante num conjunto de ensaios, nomeadamente quando a sua colheita foi realizada no inverno, com o digestor a apresentar temperaturas bastante baixas. De acordo com os valores mais favoráveis para a produção de biogás, por tonelada de resíduo de kiwi poderá ser obtido um valor monetário bruto de 102 €, resolvendo-se um problema de eliminação deste resíduo, com valorização energética simultaneamente.

#### 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

Adl, M., Sheng, K., Gharibi, A. (2012). Technical assessment of bioenergy recovery from cotton stalks through anaerobic digestion process and the effects of inexpensive pre-treatments. *Applied Energy*, 93, 251-260.

- APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. (2012). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> Edition, Washington.
- Brancoli, P. L. (2014). Avaliação experimental da co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e lodo de esgoto em digestores têxteis. 85f. Monografia - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 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.
- Dinuccio, E., Balsari, P., Gioelli, F., Menardo, S. (2010). Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource Technology*, 101, 3780-3873.
- Eriksson, O. (2010). Environmental technology assessment of natural gas compared to biogas. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/>> Acesso em 2 jun 2016.
- Fabbri, A., Bonifazi, G., Serranti, S. (2015). Micro-scale energy valorization of grape marcs in winery production plants, *Waste Management*, 36, 156–165.
- Fiore, S., Ruffino, B., Campo, G., Roati, C., Zanetti, M. C. (2016). Scale-up evaluation of the anaerobic digestion of food-processing industrial wastes. *Renewable Energy*. 96, 949-959.
- Fonoll, X., Astals, S., Dosta, J., Mata-Alvarez, J. (2015). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes: Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. *Chemical Engineering Journal*, 262, 1268-1274.
- Gunaseelan, V. N. (2004). Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 26, 389-399.
- Kumar, S., Nimchuk, N., Kumar, R., Zietsman, J., Ramani, T., Spiegelman, C., Kenney, M. (2016). Specific Model for the Estimation of Methane Emission from Municipal Solid Waste Landfills in India. *Bioresource Technology*, 216, 981–987.
- Martin-Gonzalez, L., Colturato, L. F., Font, X., Vicent, T. (2010). Anaerobic codigestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Management*, 30, 1854-1859.
- Nanda, S., Isen, J., Dalai, A. K., & L Kozinski, J. A. (2016). Gasification of fruit wastes and agro-food residues in supercritical water. *Energy Conversion and Management*, 110, 296–30.
- Pellera F., Gidakos, E. (2016). Effect of substrate to inoculum ratio and inoculum type on the biochemical methane potential of solid agroindustrial waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3217–3229.
- Piatek, M., Lisowski, A., Kasprzycka, A., Lisowska, B. (2016). The dynamics of an anaerobic digestion of crop substrates with an unfavourable carbon to nitrogen ratio. *Bioresource Technology*, 216, 607–612.

- Poulsen, T. G., Adelard, L. (2016). Improving biogas quality and methane yield via co-digestion of agricultural and urban biomass wastes. *Waste Management*, 54, 118-125.
- Sanjaya, A. P., Cahyanto, M. N., Millati, R. (2016). Mesophilic batch anaerobic digestion from fruit fragments. *Renewable Energy*, 98, 135–141.
- Scano, E. A., Asquer, C., Pistis, A., Ortu, L., Demontis, V., Cocco, D. (2014). Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. *Energy Conversion and Management*, 77, 22-30.
- Su, H., Tan, F., Xu, Y. (2016). Enhancement of biogas and methanization of citrus waste via biodegradation pretreatment and subsequent optimized fermentation. *Fuel*, 181, 843-851.
- Wu, Y., Wang, C., Liu, X., Ma, H., Wu, J., Zuo, J., Wang, K. (2016). A new method of two-phase anaerobic digestion for fruit and vegetable waste treatment. *Bioresource Technology*, 211, 16-23.
- Zhang, L., Lee, Y., jahng, D. (2011). Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, 102, 5048-5059.
- Zhao, C., Yan, H., Liu, H., Zhang, R., Chen, C., Liu, G. (2016). Bio-energy conversion performance, biodegradability, and kinetic analysis of different fruit residues during discontinuous anaerobic digestion. *Waste Management*, 52, 295-301.