

## CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS E INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Renan de Freitas Santos (\*), Vitor Alves Lourenço, Gabriel Girardi Pan, Bruno Müller Vieira, Willian César Nadaleti

\* Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Email: reh.8@hotmail.com

### RESUMO

A maior parte da energia utilizada no planeta é advinda de origem não renovável e diante disso, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando novas e alternativas fontes de energia, visando diminuir os impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis e propiciando maior segurança energética frente às grandes variações no preço do petróleo. Biocombustível pode ser definido como todo produto útil para a geração de energia, obtido total ou parcialmente de biomassa. Neste sentido, resíduos industriais e domésticos podem ser empregados para gerar biocombustíveis como, por exemplo, o biogás. O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores mundiais de arroz e no processo de parboilização gera-se cerca de 4 litros de efluente por quilo de arroz beneficiado. Sendo este efluente caracterizado por conter altas cargas orgânicas, pode ser utilizado em processos de digestão e codigestão anaeróbia com resíduos sólidos orgânicos para geração de biogás. Esta pesquisa visa, portanto, o aproveitamento do potencial energético de resíduos orgânicos industriais e domésticos para produção de bioenergia. A pesquisa desenvolveu-se no Laboratório de Engenharia Bioenergética localizado no Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Os gases gerados no processo de codigestão serão aproveitados posteriormente, por exemplo, como energia para produzir eletricidade, calor ou combustível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, bioenergia, codigestão anaeróbia, resíduos orgânicos, resíduos industriais.

### INTRODUÇÃO

Com população estimada em 202.768.562 habitantes, no Brasil, em média 84% reside em zonas urbanas. A taxa de produção per capita de resíduos sólidos urbanos é de aproximadamente  $0,9 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , levando a uma produção de aproximadamente 153.293 toneladas. $\text{dia}^{-1}$  (IBGE, 2018). Em média, da quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil, 55% (porcentagem em peso) correspondem a matéria orgânica putrescível, algo em torno de 84.311 toneladas. $\text{dia}^{-1}$ . Quando levadas em consideração as diversas outras frações de resíduos sólidos passíveis de fermentação, tais como os resíduos gerados nas atividades agrícolas, pecuária, agroindustrial, os lodos provenientes dos diversos sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas e de fontes específicas, seria obtida uma produção de resíduos sólidos ainda bem mais significativa (LEITE, 2009).

Nota-se que o crescimento das indústrias fornecedoras de alimentos deve-se ao constante aumento populacional. Torna-se proporcional, então, o crescimento de subprodutos dos processos industriais como os efluentes e lodos, que se caracterizam como grandes poluidores ambientais pela elevada carga orgânica e difícil biodegradabilidade. Na indústria da parboilização do arroz, por exemplo, o resíduo gerado, é rico em nutrientes devido à composição do grão de arroz. Este, se tratado, pode ser aproveitado como fertilizante agrícola, por possuir vários componentes importantes para a nutrição das plantas (PINTO, 2009).

O processo de parboilização do arroz gera cerca de 4L de efluente por Kg de arroz beneficiado, resultando em pelo menos 504 bilhões de litros por ano. Este efluente contém elevadas taxas de substâncias orgânicas, nitrogênio e fósforo, proveniente dos resíduos de adubação que associado à disponibilidade de nutrientes e o lançamento incorreto em corpos hídricos estimula o crescimento de organismos fotossintetizantes causando eutrofização. Sabendo-se destes inconvenientes, o tratamento de efluentes tem por finalidade garantir qualidade suficiente para que o mesmo possa ser reintroduzido em corpos d'água ou reutilizado, retirando, assim, substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. O tipo de tratamento utilizado depende das características do efluente e dos requisitos exigidos pela legislação, assim como fatores econômicos e disponibilidade de área (FARIA et al, 2006).

O tratamento biológico é uma das alternativas para a degradação da matéria orgânica e entre os sistemas de tratamento anaeróbio, existem as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios, biodigestores e os reatores de alta taxa, capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica por unidade volumétrica, como o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente). Os biodigestores são sistemas planejados de forma a potencializar a produção de biogás a partir, por exemplo, de resíduos industriais e domiciliares (SOLANO et al., 2010). As reações anaeróbias que ocorrem no interior dos biodigestores para a transformação de macromoléculas orgânicas em metano e dióxido de carbono, dependem de diversos grupos de microrganismos que

estabilizam o sistema por meio das atividades metabólicas para degradar a matéria orgânica presente, relacionado com a parcela e disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento microbiano (FARIAS et al., 2012).

Segundo Lima (2006) a digestão anaeróbia é um processo fermentativo realizado por microrganismos, tendo como característica a degradação da matéria orgânica em meio anóxico (ausência de oxigênio). Dentre suas finalidades destacam-se a remoção da carga poluente, redução de microrganismos patogênicos, produção de biogás (gás composto principalmente por metano e dióxido de carbono) e produção de biofertilizante mais estável, rico em nutrientes assimiláveis e com melhor qualidade sanitária quando comparado ao rejeito industrial original, portanto, é uma alternativa atraente para diversos casos de esgoto industrial e sanitário.

A codigestão anaeróbia é um processo de tratamento de resíduos em que diferentes tipos de resíduos passíveis de fermentação são misturados e tratados conjuntamente. Este processo pode ser preferencialmente aplicado para melhorar o rendimento do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, pois pode propiciar o equilíbrio de nutrientes e aumentar o quantitativo de material orgânico com maior potencial de biodegradabilidade, além de incorporar biomassa mais adaptada à bioestabilização dos resíduos (LEITE, 2017).

A produção de biogás, a partir da digestão e codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos sólidos e líquidos, constitui uma valiosa fonte de bioenergia com o potencial de aliviar parcialmente a dependência mundial dos combustíveis fósseis, oferecendo uma solução integrada, competitiva e ambientalmente sustentável. O biogás, atualmente, é produzido no mundo em larga escala a partir da digestão anaeróbia da matéria orgânica presente nas águas residuais, lodo de esgoto, esterco, entre outros resíduos e seu uso potencial como uma fonte de energia limpa e benéfica ao ambiente tem sido destaque nos últimos anos (PETERSSON & WELLINGER, 2009). Em busca de soluções ambientalmente viáveis para diferentes tipos de resíduos orgânicos, esta pesquisa busca apresentar e descrever um método para a codigestão anaeróbia, a fim de obter um melhoramento na produção de biogás e utilizá-lo, posteriormente, na matriz energética.

## OBJETIVOS

Buscou-se determinar o potencial de geração de biogás proveniente da codigestão de efluente e lodo da produção de arroz parboilizado e cascas de banana, laranja e tangerina. Para tal utilizou-se como base a quantificação de biogás.

## METODOLOGIA

Os sistemas experimentais foram projetados, construídos, instalados e monitorados no Laboratório de Engenharia Bioenergética, localizado nas dependências físicas do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), no município de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil.

Os biodigestores foram desenvolvidos a partir da reutilização de galões de Polietileno, que comportam um volume interno total de 5,5 dm<sup>3</sup>. Visando a não interferência da luminosidade nos processos metabólicos que ocorrem no interior dos reatores, foram utilizados galões opacos. Após a montagem dos reatores e introdução dos resíduos (batelada), a entrada do reator foi vedada exteriormente com silicone acético incolor, impedindo futuras perdas de biogás para a atmosfera.

Para que se pudesse contabilizar o biogás oriundo do processo de biodegradação anaeróbia, desenvolveram-se medidores tendo como funcionamento o princípio do deslocamento de líquidos, que se constitui em dois frascos comunicantes, onde um dos frascos é graduado e sua parte superior conecta-se à parte superior do biodigestor, conforme a Figura 1. O líquido utilizado nos medidores foi água e, para que ao fim de cada medição o líquido retorne à marca inicial, instalaram-se divisores de ar interligando o reator, o medidor e a atmosfera. Além disto, os medidores receberam uma fina camada de óleo de soja acima da água, para evitar a dissolução do CO<sub>2</sub> contido no biogás:



Figura 1: Biodigestor e medidor de biogás. Fonte: Autor do Trabalho.

Os biodigestores foram operados em batelada, onde a inserção de resíduos ocorreu apenas no início do processo, bem como operaram em uma temperatura média de 35°C. Para manterem-se os sistemas funcionando nesta temperatura utilizou-se um banho termostático Fisatom (modelo 572), conforme Figura 2. Durante o experimento foi necessário o reabastecimento do banho de aquecimento, já que parte da água evaporou ao longo dos dias. As medições de biogás foram realizadas diariamente às 7:30h e às 19:30h, zerando-se o medidor a cada intervalo e, para garantir que a temperatura estivesse de acordo com o termostato utilizou-se um termômetro de mercúrio para realizarem-se aferições nos mesmos horários das medições de biogás:



Figura 2: Condicionamento dos biodigestores. Fonte: Autor do Trabalho.

Foi reservado um volume de 1,5 dm<sup>3</sup> em cada reator para *headspace* e o restante do volume foi dividido entre resíduo sólido orgânico (20%), lodo (30%) e efluente (50%). Os resíduos sólidos orgânicos estudados foram cascas de banana, laranja e tangerina oriundas do restaurante universitário da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde variou-se, em três biodigestores, a porcentagem de cada resíduo, conforme a Tabela 1:

**Tabela 1. Proporções de resíduos sólidos orgânicos. Fonte: Autor do trabalho, 2018.**

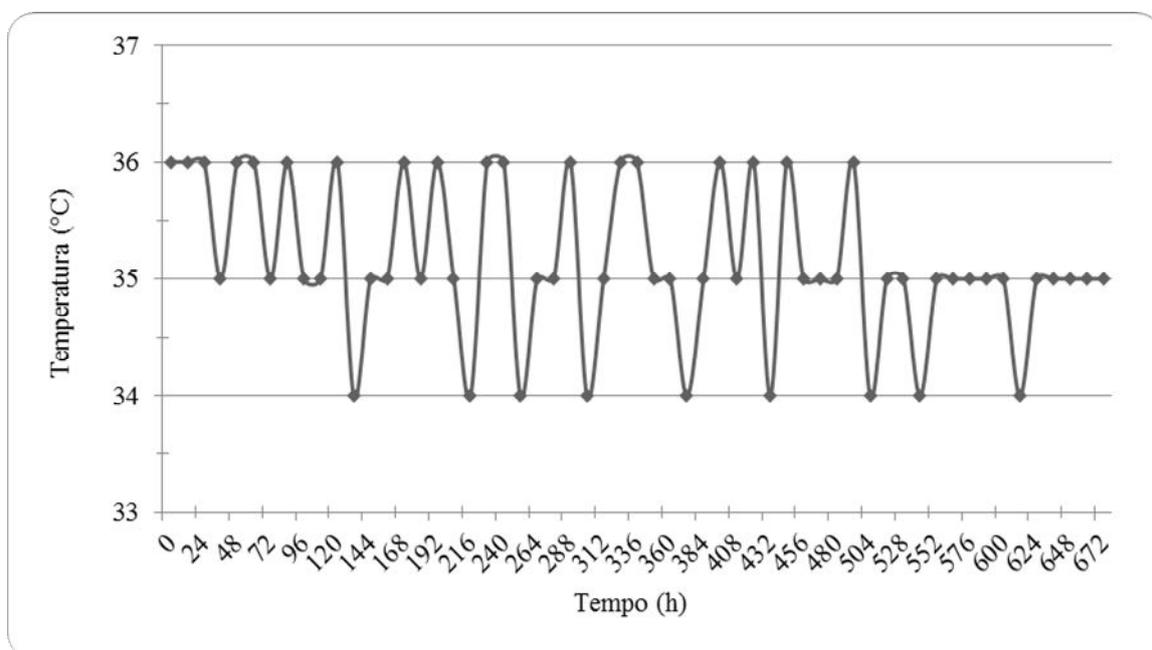
Biodigestor	Resíduo Sólido Orgânico					
	Casca de banana		Casca de laranja		Casca de tangerina	
	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )
1	80	0,64	10	0,08	10	0,08
2	50	0,40	25	0,20	25	0,20
3	20	0,16	40	0,32	40	0,32

Os resíduos sólidos orgânicos foram triturados com o auxílio de um liquidificador e diluídos, onde para cada 100 g de resíduo foram adicionados 200 mL de água fervida, resultando em um volume final para cada biodigestor de 0,8 dm<sup>3</sup>. Utilizou-se um volume de 1,2 dm<sup>3</sup> de lodo e 2,0 dm<sup>3</sup> de efluente em cada biodigestor. O efluente e o lodo utilizados foram cedidos por uma indústria de arroz parboilizado localizada no município de Pelotas-RS, Brasil.

## RESULTADOS

Segundo Carneiro (2009), para a operação do processo de biodegradação anaeróbia, as temperaturas aplicadas ficam entre 30 e 40°C, na maioria dos casos. Kim et al. (2002) afirmam que nesta faixa de temperatura a produção de biogás ocorre de maneira eficiente e demanda menor gasto energético para manter a quantidade de calor no digestor. Os autores afirmam, ainda, que por ser a gama de digestão mesófila, existe maior facilidade para manter o sistema estável quanto ao metabolismo dos microrganismos.

Entre as medições de temperatura realizadas ao longo do estudo, apesar do banho de aquecimento possuir termostato, o que teoricamente deveria controlar as variações de temperatura mantendo-a constante, ocorreram oscilações que variaram entre 2°C para mais ou para menos, como mostra a Figura 3. Tais variações podem ter ocorrido por possíveis problemas no funcionamento da resistência do banho termostático. Assim, o experimento operou em média a 35,14 °C:



**Figura 3: Gráfico das temperaturas medidas. Fonte: Autor do Trabalho.**

Nos momentos em que essas oscilações ocorreram de maneira brusca, é possível que tenham acarretado em perdas de até 30% na produção de biogás, já que as bactérias metanogênicas apresentam alta sensibilidade a variações rápidas de temperatura próximas a 2°C (AZEITONA, 2012). Nesse estudo não foi possível determinar a estabilidade do processo em relação à frequência das oscilações, já que o controle de temperatura foi realizado em intervalos de 12 horas.

Como pode ser observado na Figura 4, de maneira geral os biodigestores obtiveram pico de produção ao longo das primeiras doze horas de experimento. Esta característica se deve ao fato de que a partida inicial na produção acontece

em decorrência do inóculo presente no sistema. Neste estudo utilizou-se o lodo como inóculo e seu uso não somente antecipa o pico de produção de biogás como também pode aumentar o potencial efetivo da biomassa (LIU et al., 2017):

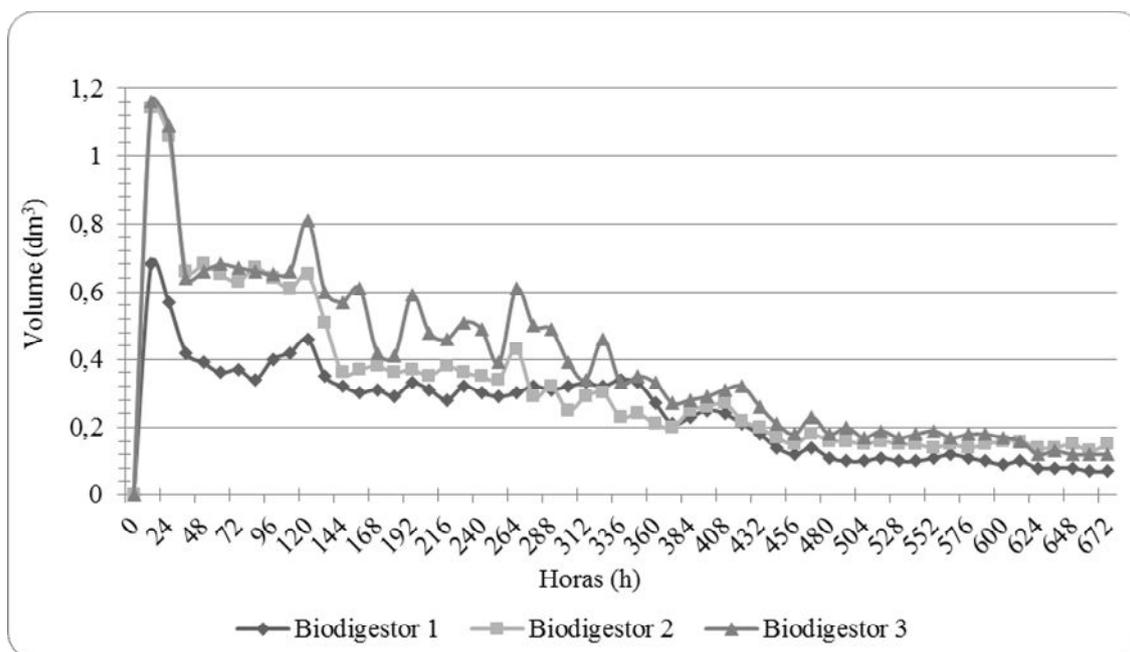


Figura 4. Gráfico do volume de biogás medido. Fonte: Autor do Trabalho.

Considerando-se as primeiras doze horas de experimento, o Biodigestor 3 obteve o maior volume gerado, totalizando 1,160 dm<sup>3</sup>, seguido pelo Biodigestor 2, com 1,140 dm<sup>3</sup>. Já o Biodigestor 1 não apresentou produções superiores a 1 dm<sup>3</sup>, totalizando 0,68 dm<sup>3</sup>. O procedimento foi encerrado após verificar-se uma estabilização na produção de biogás e, posteriormente, adicionou-se 1,5 dm<sup>3</sup> ao somatório de cada biodigestor em suas respectivas produções, com o intuito de verificar a produção total de biogás. Ressaltando-se que este volume adicionado equivale ao *headspace* destinado a cada biodigestor:

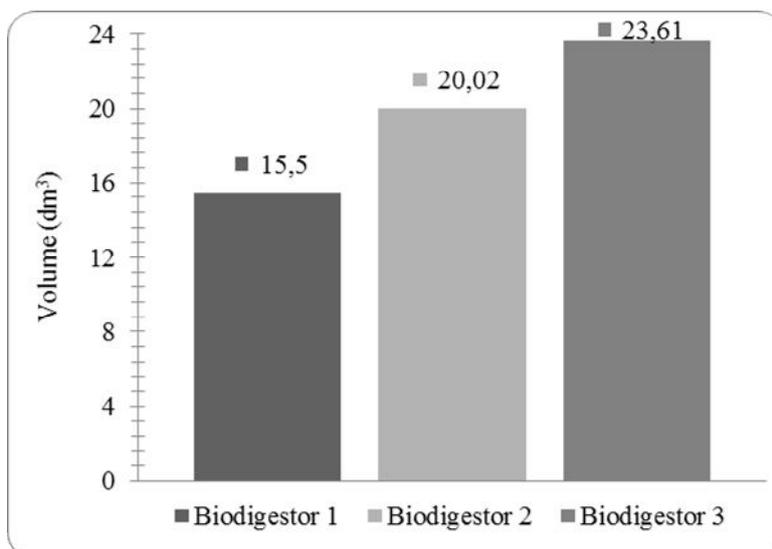


Figura 5. Gráfico do volume total de biogás produzido. Fonte: Autor do Trabalho.

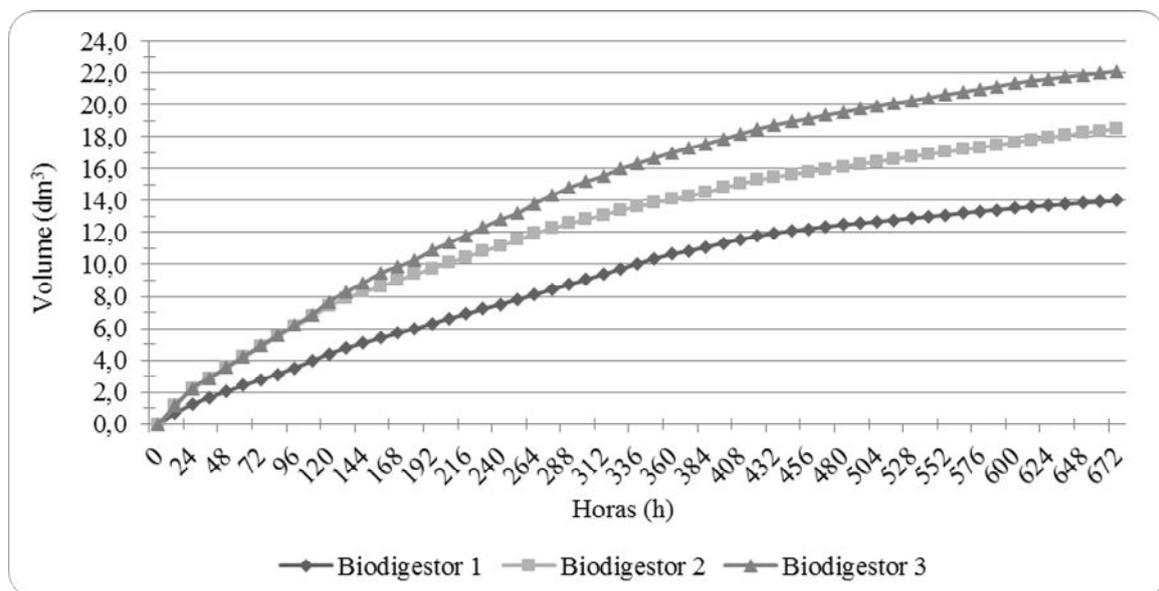
Ao analisar as produções totais apresentadas na Figura 5 conjuntamente com os picos de produção observados na Figura 4, nota-se que os biodigestores com picos inferiores, foram também os que obtiveram as menores produções totais de biogás. O Biodigestor 1 apresentou o menor volume de biogás gerado ao longo do experimento, totalizando 15,5 dm<sup>3</sup>, seguido pelo Biodigestor 2 que produziu 20,02 dm<sup>3</sup>. Já o Biodigestor 3 apresentou a maior produção total de biogás, com 23,61 dm<sup>3</sup>.

NADALETI et al (2018) realizou uma pesquisa, onde operou biodigestores comportando um volume total de 2,15 dm<sup>3</sup> com temperatura média de 35°C, alimentado com lodo e efluente oriundos da parboilização de arroz, resultando em

uma geração de 5,198 dm<sup>3</sup> de biogás em um período de 276 horas. Tomando-se como base o mesmo número de horas, os Biodigestores 1, 2 e 3 produziram 9.93 dm<sup>3</sup>, 13.74 dm<sup>3</sup> e 15.82 dm<sup>3</sup>, respectivamente; portanto, todos obtiveram resultados satisfatórios, considerando que os Biodigestores 1, 2 e 3 comportaram um volume total maior.

Desconsiderando-se o volume pertencente ao *headspace* dos biodigestores 1, 2 e 3, produziram-se 14 dm<sup>3</sup>, 18.52 dm<sup>3</sup>, 22.11 dm<sup>3</sup>, respectivamente. Quando comparados, o Biodigestor 3 apresentou uma produção de biogás superior de 3,59 dm<sup>3</sup> em relação ao Biodigestor 2 e este valor é ainda maior quando comparado ao Biodigestor 1, onde há uma diferença de 8,11 dm<sup>3</sup>, conforme evidenciado pela Figura 6.

Tal diferença de geração de biogás pode estar relacionada à razão C/N proporcionada pela mistura dos resíduos sólidos orgânicos com o efluente de arroz. Um estudo realizado por Zanetti et al. (2015) demonstrou que ao se comparar a produção de biogás dentro de composições que tenham uma relação C/N entre 20 e 30, os melhores resultados são obtidos através de misturas que possuam uma razão de carbono e nitrogênio de 30:1. No estudo citado os pesquisadores buscaram determinar a composição ótima, em termos de uma relação específica de carbono e nitrogênio, para a codigestão de casca de cacau, banana e laranja:



**Figura 6: Gráfico do volume de biogás acumulado. Fonte: Autor do Trabalho.**

De acordo com a alimentação fornecida a cada biodigestor constatou-se que ao receber maior volume de cascas de laranja e tangerina obtém-se um melhor desempenho na produção de biogás e, conseqüentemente, ao aumentar-se o volume de casca de banana obtém-se resultados inferiores, que podem estar relacionados diretamente com a relação C/N proporcionada pela mistura dos resíduos sólidos orgânicos com o efluente de arroz.

## CONCLUSÕES

Os processos de codigestão realizados nesse estudo obtiveram resultados positivos em relação à produção de biogás. Quando comparadas entre si, a codigestão com maior volume de cascas de laranja e tangerina apresentou o melhor resultado em se tratando do potencial de geração de biogás, resultando em 23, 61 dm<sup>3</sup> produzidos ao longo das quatro semanas de experimento. Observou-se que quanto maior o volume de casca de banana inserida nos sistemas, menor a produção de biogás.

Em busca de soluções ambientalmente viáveis para estes diferentes tipos de resíduos, esta pesquisa apresenta um método para a codigestão anaeróbia, a fim de obter um melhoramento na produção de biogás e utilizá-lo, posteriormente, na matriz energética. A produção de biogás deve ser incentivada, visto que pode proporcionar além das vantagens ambientais, benefícios econômicos, sociais e políticos. A sua produção leva a um decréscimo na importação de derivados do petróleo, possibilita a geração de empregos, assim como implica em diminuição dos gases causadores do efeito estufa e chuva ácida. Em longo prazo, para a população, isso acarretará em maiores expectativas de vida, como também em uma necessidade menor de investimentos em saúde pública.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azeitona, D.C.L. **Efeitos de Pré-tratamentos Térmicos na Digestão Anaeróbia Termófila de Resíduos de Casca de Batata**. 2012. 142f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
2. Carneiro, D.R.C. **Viabilidade Técnica e Económica de uma Unidade Centralizada de Co-Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos**. 2009. 167f. Dissertação (Mestrado de Engenharia do Ambiente) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Portugal.
3. Faria, O.L.V., Koetz, P.R., Santos, M.S., Nunes, W.A. **Remoção de fósforo de efluentes da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS)**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, p.309-317, 2006.
4. Farias, R.M., Junior, M.A.P.O., Orrico, A.C.A., Garcia, R.G., Centurion, S.R., Fernandes, A.R.M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo**. Ciência Rural, v.42, n.6, 2012.
5. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008)**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 29 de julho de 2018.
6. Kim, M., Ahn, Y., Speece, R. **Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic**. Water Research, v.36, p.4369-4385, 2002.
7. Leite, V.D., Barros, A.J.M., Menezes, J.M.C., Sousa, J.T., Lopes, W.S. **Codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos**. Revista DAE, n. 208, vol. 65, p. 35-46, 2017.
8. Leite, V.D., Lopes, W.S.; Sousa, J.T., Prasad, S. **Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p. 190-196, 2009.
9. Lima, A.B. **Pós-Tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de azonização em processo biológico aeróbio**. 2006. 99f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Carlos.
10. Liu, T.; Sun, L.; Scünurer, B.M.A. **Importance of inoculum source and initial community structure for biogas production from agricultural substrates**. Bioresource Technology. v. 245, part A, p.768-777, 2017.
11. Nadaleti, W.C., Lourenço, V.A., Schoeler, G.P., Afonso, M., Santos, R.F., Vieira, B.M., Leandro, D., Quadro, M. S. **Temperaturas mesófilas e termófilas na produção de biogás através de efluente da parboilização do arroz**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade. v.5, n.1, p.17-21, jul. 2018.
12. Petersson, A., Wellinger, A. **Biogas upgrading technologies – developments and innovations**. IEA Bioenergy, 20p, 2009.
13. Pinto, I.S. **Caracterização físico-química do lodo seco da parboilização de arroz e sua utilização na agricultura**. 2009. 112f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
14. Solano, O.R., Vargas, M.F., Watson, R.G. **Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad**. Tecnología en Marcha, vol. 23, n.1, p 39-46, 2010.
15. Zanetti, A., Arrieche, S., Sartori, D.J.M. **Estudo da composição ótima de diferentes resíduos orgânicos para a produção de biogás**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Florianópolis, 2014.