**RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS COMO COSUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Vitor Alves Lourenço (*), Willian César Nadaleti, Bruno Müller Vieira, Renan de Freitas Santos, Guilherme Pereira Schoeler

*Universidade Federal de Pelotas – vitor.a.lourenco@gmail.com

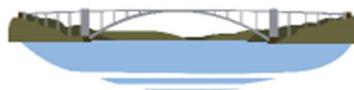
RESUMO

O cenário energético mundial busca atualmente ações que protagonizem energias limpas e renováveis, em principal as que se aliam as problemáticas da volumosa geração de resíduos e efluentes das agroindústrias, da pecuária e dos centros urbanos. No contexto agroindustrial nacional, um grande responsável pela geração de efluente rico em matéria orgânica é o do arroz parboilizado, o processo de parboilização do arroz gera a cada quilo beneficiado cerca de 4 litros de efluente. Ainda no setor agroindustrial brasileiro são geradas diariamente quantidades significativas de resíduos de frutas e verduras, assim, a codigestão anaeróbia, digestão anaeróbica simultânea de dois ou mais resíduos e/ou efluentes, é uma excelente alternativa a aplicação do efluente e do resíduo citados. A escolha e proporção dos resíduos e efluentes a serem combinados para a produção de biogás via codigestão anaeróbia é de extrema importância, uma vez que a mistura dos mesmos deve promover balanço de nutrientes, pH e relação entre carbono e nitrogênio adequados ao processo. Desse modo, esse estudo teve como objetivo determinar, dentre a casca de laranja e a de banana, o melhor resíduo sólido orgânico para codigestão anaeróbia com efluente da parboilização de arroz para a produção de biogás. Os biodigestores utilizados nesse estudo foram elaborados a partir da reutilização de garrafas de Politereftalato de Etileno (PET) de 2 litros, com um volume útil total de 2,15 dm³, sendo que para o controle da temperatura interna foi instalado um termômetro próximo ao local de permanência do inóculo. O sistema de quantificação da produção de biogás foi desenvolvido a partir do deslocamento de fluidos através de um frasco graduado, conectado ao biodigestor, e um reservatório conectados por um pequeno tubo flexível. Foram realizadas duas triplicatas de biodigestores alimentados com 40% de efluente da parboilização de arroz (substrato), 20% de solução de resíduos sólidos orgânicos (cosubstrato), 30% de lodo da parboilização de arroz (inóculo) e 10% de água destilada, totalizando um volume de 1,7 dm³, uma vez que o restante do volume útil do biodigestor operou como headspace do mesmo. A solução de resíduos sólidos orgânicos foi preparada em uma proporção de 200 mL de água destilada para 100 g de resíduo, sendo que a solução de uma triplicata recebeu casca de laranja, Mistura 1 (M1), e a outra casca de banana, Mistura 2 (M2). Os biodigestores foram acondicionados à 35 °C e operados por 168 horas. Ao fim do período do experimento, a mistura M1 totalizou uma produção de 9,26±0,16 dm³ e M2 6,32±0,07 dm³, com remoção de 6809,92±57,99 mg.L⁻¹ de DQO em M1 e de 4686,87±263,44 mg.L⁻¹ em M2.

PALAVRAS-CHAVE: codigestão anaeróbia, casca de laranja, casca de banana, efluente, parboilização de arroz

ABSTRACT

The world energy scenario is currently seeking actions that lead to clean and renewable energies, in particular those that combine the problems of the voluminous generation of waste and effluents from agroindustrie, livestock and urban centers. In the national agroindustrial context, a large responsible for the generation of effluent rich in organic matter is the one of the parboiled rice, the process of parboilization of the rice generates to each kilo benefited about 4 liters of effluent. In the Brazilian agroindustrial sector, significant amounts of fruit and vegetable residues are generated on a daily basis. Thus, anaerobic codigestion, simultaneous anaerobic digestion of two or more residues and/or effluents, is an excellent alternative to the application of the effluent and residue cited. The choice and proportion of the residues and effluents to be combined for the production of biogas from anaerobic codigestion is of extreme importance, since the mixture of them should promote adequate nutrient balance, pH and the relationship between carbon and nitrogen to the process. Thus, the objective of this study was to determine, among orange peel and banana, the best organic solid residue for anaerobic codigestion with rice parboiling effluent for biogas production. The biodigesters used in this study were made from the reuse of 2 liter PET bottles, with a total useful volume of 2.15 dm³, and for the internal temperature control a thermometer was installed near the site of the inoculum. The biogas production quantification system was developed from the displacement of fluids through a graduated flask, connected to the biodigester, and a reservoir connected by a small flexible tube. Two triplicates of biodigestors fed 40% rice parboiling effluent (substrate), 20% organic solid waste solution (cosubstrate), 30% rice parboiling sludge (inoculum) and 10% distilled water, totaling a volume of 1.7 dm³, since the remainder of the useful volume of the biodigester operated as the headspace of the same. The organic solid waste solution was prepared in a ratio of 200 mL of distilled water to 100 g of residue, and the solution of one triplicate received orange peel, Mixture 1 (M1), and another banana peel, Mixture 2 (M2). The biodigesters were conditioned at 35 °C and operated for 168 hours. At the end of the experiment period, the mixture M1



totalized a production of $9.26 \pm 0.16 \text{ dm}^3$ and M2 $6.32 \pm 0.07 \text{ dm}^3$, with removal of $6809.92 \pm 57.99 \text{ mg.L}^{-1}$ of COD in M1 and $4686.87 \pm 263.44 \text{ mg.L}^{-1}$ in M2.

KEY WORDS: anaerobic codigestion, orange peel, banana peel, effluent, parboilization of rice

INTRODUÇÃO

As perspectivas do cenário energético mundial apontam para ações que protagonizem energias renováveis, em principal as que se aliem as problemáticas dos impactos ambientais negativos causados pela volumosa geração de resíduos e efluentes das agroindústrias, da pecuária e dos centros urbanos (ZANETTI; ARRIECHE; SARTORI, 2015). No contexto agroindustrial, um grande responsável pela geração de efluente rico em matéria orgânica é o do arroz parboilizado, o processo de parboilização do arroz gera a cada quilo beneficiado cerca de 4 litros de efluente rico em substâncias orgânicas, nitrogênio e fósforo (BASTOS et al., 2010).

O Brasil é um dos maiores produtores de arroz parboilizado do mundo, tendo o estado do Rio Grande do Sul como maior produtor nacional (IBGE, 2017). A biodigestão anaeróbia é desse modo uma alternativa de tratamento biológico, uma vez que é capaz de reduzir o teor de matéria orgânica do efluente, e produzir biogás passível de geração de energia (ANGELIDAKI; AHRING, 1993). Ainda no setor agroindustrial brasileiro, são geradas diariamente quantidades significativas de resíduos de frutas e verduras, desde o transporte até o consumo humano e animal (SGORLON et al., 2011).

Considerando a grande disponibilidade de nutrientes em resíduos sólidos orgânicos diversos estudos apontam para seu emprego para produção de biocombustíveis, provenientes da biomassa dos mesmos (ZANETTI; ARRIECHE; SARTORI, 2015). Assim, a codigestão anaeróbia, digestão anaeróbica simultânea de dois ou mais resíduos e/ou efluentes, é uma excelente alternativa para promover condições ideais ao processo, alcançando assim elevada eficiência na produção de biogás (KHALID et al., 2011).

A produção de biogás ocorre através de da degradação da matéria orgânica promovida por bactérias, sendo assim diversas variáveis referentes às condições do meio podem influir no processo (ZANETTI; ARRIECHE; SARTORI, 2015). Desse modo, a escolha e proporção dos resíduos e/ou efluentes a serem combinados para a produção de biogás via codigestão anaeróbia é de extrema importância, uma vez que a mistura dos mesmos deve promover balanço de nutrientes, pH e relação entre carbono e nitrogênio (C/N) adequados ao processo (MATA-ALVAREZ; MACE; LLABRES, 2000). Ademais, processos anaeróbios relacionam diretamente a remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) com a produção de metano (METCALF; EDDY, 2016), uma vez que DQO expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico (APHA; AWWA; WEF 2005).

OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo determinar, dentre a casca de laranja e a de banana, o melhor resíduo sólido orgânico para codigestão anaeróbia com efluente da parboilização de arroz para a produção de biogás.

METODOLOGIA

O desenvolvimento dos equipamentos utilizados para executar a biodigestão anaeróbia foi executado de acordo com metodologia de Nadaleti et al., 2018, desse modo, os biodigestores foram elaborados a partir da reutilização de garrafas de Politereftalato de Etileno (PET) de 2 litros, com um volume útil total de $2,15 \text{ dm}^3$. Para a comunicação entre cada biodigestor e seu medidor, foi necessária a instalação de um tubo flexível de silicone, de 4mm de diâmetro e 38,5cm de comprimento, no centro da tampa do biodigestor para conexão com o medidor (Figura 1). Para controle da temperatura interna foi instalado um termômetro próximo ao local de permanência do inóculo, através de orifício feito na lateral do biorreator. Ademais, os biodigestores foram revestidos com folhas finas de alumínio visando impedir a incidência de luz em seu interior e receberam silicone acético incolor no exterior de suas conexões a fim de evitar perdas de biogás para a atmosfera:

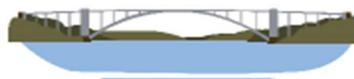


Figura 1: Biodigestor (à esquerda) e sistema de medição (ao centro, frasco volumétrico, e à direita, reservatório).
Fonte: Lourenço (2017).

O sistema de quantificação da produção de biogás foi desenvolvido a partir do deslocamento de fluidos através de um frasco graduado e um reservatório conectados por um pequeno tubo flexível, de 4mm de diâmetro, próximo a sua base. Instalou-se na entrada de cada medidor um divisor de ar modular, que quando aberto garante a saída do gás para atmosfera proporcionando o retorno do líquido para sua marca inicial. Assim, ao fim de cada medição, o sistema pode liberar para atmosfera o biogás já quantificado, zerando o medidor. Além disso, os medidores receberam uma fina camada de óleo de soja acima da água, para evitar a dissolução do Dióxido de Carbono contido no biogás.

Foram realizadas duas triplicatas de biodigestores alimentados com 40% de efluente da parboilização de arroz (substrato), 20% de solução de resíduos sólidos orgânicos (cosubstrato), 30% de lodo da parboilização de arroz (inóculo) e 10% de água destilada, totalizando um volume de 1,7 dm³, uma vez que o restante do volume útil do biodigestor operou como *headspace* do mesmo. A solução de resíduos sólidos orgânicos foi preparada em uma proporção de 200 mL de água destilada para 100 g de resíduo triturado, sendo que a solução de uma triplicata recebeu casca de laranja, Mistura 1 (M1), e a outra casca de banana, Mistura 2 (M2). O lodo utilizado como inóculo foi retirado do Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) da Estação de Tratamentos de Efluentes (ETE) de uma indústria de parboilização de arroz do município de Pelotas-RS, assim como o efluente. Já os resíduos sólidos orgânicos foram cedidos por um restaurante universitário.

Os biodigestores foram alocados em banho de aquecimento de modo a promover temperatura interna de 35 °C, conforme recomendado por Nadaleti et al. (2018) para o efluente da parboilização de arroz. As quantificações da produção de biogás foram realizadas diariamente de 12 em 12 horas por um período de 168 horas, sendo que para cada volume obtido através da escala do medidor foi acrescido 0,155dm³ referentes ao *headspace* e ao volume de gás contido no tubo flexível entre o biodigestor e o medidor.

A determinação do teor de Matéria Orgânica (MO) foi realizada pelo método da mufla, de Goldin (1987), adaptado, já as análises de Nitrogênio Kjeldahl (NTK), Potencial Hidrogeniônico (pH) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram realizadas segundo *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (APHA, AWWA e WEF, 2005).

RESULTADOS

Através dos resultados das análises de MO e NTK foi possível obter a razão C/N do substrato e cosubstratos utilizados no estudo, de modo determinou-se a razão C/N das misturas utilizadas na alimentação dos biodigestores (Tabela 1). De acordo com a literatura, ambas as razões obtidas se encontram dentro do intervalo recomendado, de 20 a 30 (PEREIRA, 2013). Sendo M1 a mistura com casca de laranja e M2 a mistura com casca de banana:

Tabela 1 – Razão C/N

Efluente bruno	Casca de Laranja	Casca de Banana	M1	M2
25,75	18,00	21,30	24,27	30,67

No que diz respeito a produção de biogás ao longo das 168 horas, M1 apresentou maior desempenho ao gerar maiores volumes de biogás em todas as quantificações realizadas (Figura 2). Ao fim do período do experimento, a mistura M1 totalizou uma produção de 9,26±0,16 dm³ e M2 6,32±0,07 dm³.

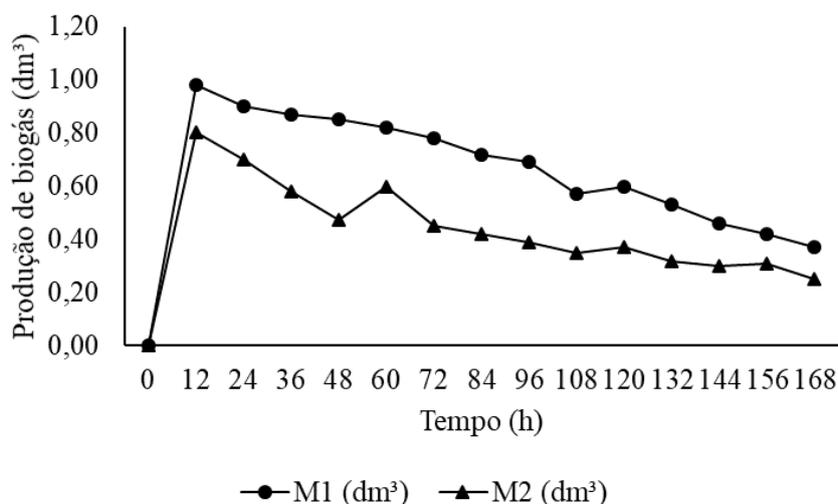
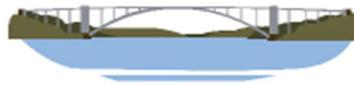


Figura 2: Produção de biogás. Fonte: Autor do trabalho.

Tal diferença na produção de biogás pode estar relacionada à razão C/N proporcionada pela mistura dos resíduos sólidos orgânicos com o efluente de arroz, uma vez que estudo de Zanetti et al. (2015) aponta que ao 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. O estudo abordou a composição ótima, em termos de razão de carbono para nitrogênio, para codigestão de casca de cacau, banana e laranja. Os autores obtiveram produção máxima de $0,810 \text{ dm}^3$ de biogás em 41 horas, através de codigestão com razão C/N de 30:1 digerida à 30°C .

Os resultados quanto à remoção de DQO (Figura 3) corroboraram com a quantificação de biogás produzido nos biodigestores, uma vez que houve remoção de $6809,92 \pm 57,99 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO em M1 e de $4686,87 \pm 263,44 \text{ mg.L}^{-1}$ em M2. Os processos anaeróbios de tratamento possuem relação direta no que diz respeito à remoção de DQO e produção de biogás e metano, uma vez que a produção do biocombustível se dá através da degradação da matéria orgânica, desse modo maiores remoções de DQO indicam maiores produções de biogás (METCALF; EDDY, 2016):

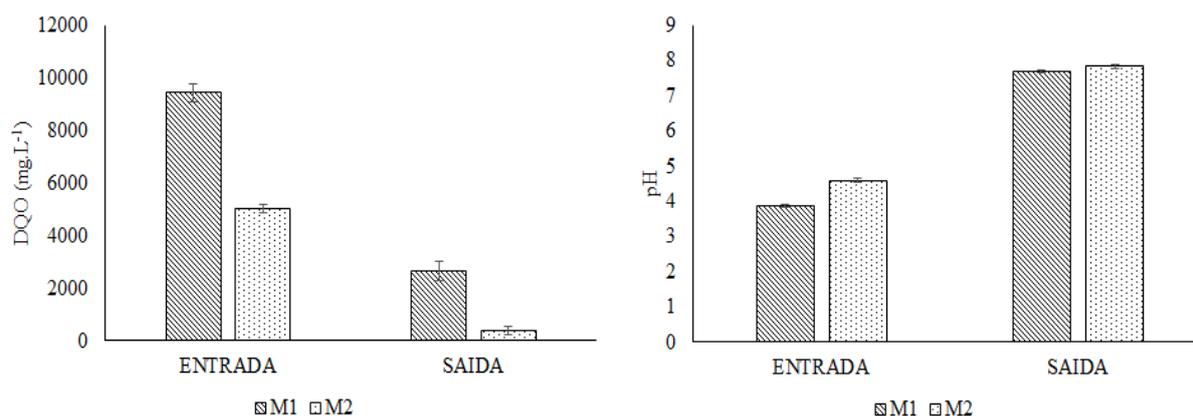
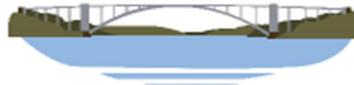


Figura 3: Resultados das análises de DQO (à esquerda) e pH (à direita). Fonte: Autor do trabalho.

Ainda na Figura 3 podem ser observados os resultados das análises quanto ao pH de entrada e saída das misturas, em ambas o processo de biodigestão anaeróbia resultou na neutralização do pH, antes ácido. Considerando que o pH ideal para o desenvolvimento de bactérias metanogênicas se encontra na neutralidade (KHALID et al., 2011), podendo variar de 6,5 à 8,5 (WEILAND, 2010), a produção de biogás pode não tenha alcançado sua potencialidade máxima, uma vez que o pH inicial possivelmente acarretou em inibição do processo em ambas as misturas.

CONCLUSÕES

A casca de laranja indicou, nesse estudo, maior potencial de produção de biogás como resíduo sólido orgânico empregado em codigestão do efluente da parboilização do arroz que a casca de banana, uma vez que a mistura que



levou casca de laranja obteve produção de $9,26 \pm 0,16 \text{ dm}^3$ de biogás e a com casca de banana $6,32 \pm 0,07 \text{ dm}^3$. Recomenda-se para estudos futuros a neutralização do pH das misturas de modo a determinar o potencial de inibição do pH para a produção de biogás através destas codigestões anaeróbias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) & WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Introduction 4500-N A, p.4-103, 2005; Method 5220-C, p.5-16, 2005.
2. GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.18, n.10, p.1111-1116, 1987.
3. KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v.31, p.1737- 1744, 2011.
4. LOURENÇO, V. A. **Produção de biogás via co-digestão anaeróbia de efluente da parboilização do arroz e resíduos sólidos orgânicos**. 2017. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017).
5. METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5.ed. Brasil: McGraw Hill, 2015.
6. 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, 2018.
7. WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.85, p.849-860, 2010.
8. ZANETTI, A.; ARRIECHE, S.; SARTORI, D. J. M. **Estudo da composição ótima de diferentes resíduos orgânicos para a produção de biogás**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA – COBEQ, 20, 2014, Florianópolis. Anais... São Paulo: Blucher, 2015. p.6217-6224.
9. BASTOS, R. G.; SEVERO, M.; VOLPATO, G.; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; QUEIROZ, M. I. Bioconversão do nitrogênio do efluente da parboilização do arroz por incorporação em biomassa da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli. **Revista Ambiente e Água**, v.5, n.3, 2010.
10. SGORLON, J. G.; RIZK, M. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum. Technology**, v.33, n.4, p.421-424, 2011.
11. MATA-ALVAREZ, J.; MACE, S.; LLABRES, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource technology**, v.74, n.1, p.3-16, 2000