

II-043 - GERAÇÃO DE BIOGÁS E ESTABILIDADE OPERACIONAL DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS DE CASCA DE LARANJA E GLICEROL BRUTO EM SISTEMA SEMICONTÍNUO

Maria Teresa de Jesus Camelo Guedes⁽¹⁾; Marcos Henrique Gomes Ribeiro⁽²⁾; Vinícius Duarte Soroka⁽³⁾; Maria Cristina de Almeida Silva⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre e Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). E-mail: mteresag1308@gmail.com

⁽²⁾ Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) pela UFPE. Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no IPH/UFRGS. E-mail: mhgribeiro@ufrgs.br

⁽³⁾ Engenheiro Ambiental e Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). E-mail: vinicius.soroka@gmail.com

⁽⁴⁾ Engenheira de Biotecnologia e Bioprocessos pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Mestre e Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Professora Adjunta do Departamento de Obras Hidráulicas do IPH/UFRGS. E-mail: maria.almeida@ufrgs.br

Endereço^(1,2,3,4): Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44302, Agronomia – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – RS – CEP: 91501-970 - Brasil

RESUMO

Em virtude da grande utilização dos combustíveis fósseis, que são fontes não renováveis de energia e induzem diversas mudanças climáticas, há a necessidade de buscar alternativas para mitigar os impactos ambientais. O biogás, que se enquadra como energia renovável, é produzido durante o processo de digestão anaeróbia (DA), que combina aproveitamento de resíduos e geração de biocombustível. O Brasil sendo um dos maiores produtores de laranjas e biodiesel do mundo, necessita destinar adequadamente os resíduos de casca de laranja (RCL) e o glicerol bruto (GB), gerados nos processos de produção de laranjas e biodiesel, respectivamente. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a geração de biogás e a estabilidade da DA de RCL e GB. Para isso, foi utilizado um sistema semicontínuo em escala de bancada operado em temperatura mesofílica por 60 dias. Ao avaliar os resultados obtidos, verificou-se que apesar de adotar concentrações adequadas de COV, segundo a literatura, os volumes de biogás gerados variaram consideravelmente ao longo do período experimental, indicando instabilidade. Possivelmente, isso ocorreu em virtude da baixa eficiência de remoção de sólidos voláteis e provavelmente, pela presença dos óleos essenciais nos RCL. Para a realização de trabalhos futuros com a DA de RCL, recomenda-se a adoção de tecnologias de pré-tratamento, para reduzir a concentração dos óleos essenciais.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás; Co-digestão anaeróbia; Resíduos agroindustriais; Reator anaeróbio; Sistema semicontínuo.

INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis ainda constituem a principal fonte de energia mundial. No entanto, além de não renováveis, quando submetidos a processos de combustão, geram gases que causam poluição atmosférica e induzem mudanças climáticas, intensificando o efeito estufa e o aquecimento global (NGUYEN et al., 2020). Assim, é necessária a prospecção de meios que mitiguem o impacto ambiental gerado, e.g. fontes renováveis de energia, com destaque para biocombustíveis como o biogás (CAMARGO et al., 2021).

O biogás é formado durante o processo de digestão anaeróbia (DA), processo que ocorre em quatro fases principais (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) e durante as quais há a transformação de



resíduos em produtos de valor agregado como biogás e biofertilizante (CHERNICHARO, 2016). A junção do aproveitamento de resíduos e a geração de energia renovável é uma forma eficiente de conciliar sustentabilidade e desenvolvimento social.

O Brasil é um dos maiores produtores de laranjas do mundo. Durante o processamento da fruta, mais de 50% da biomassa é descartada na forma de resíduo, sendo destinada para aterros sanitários ou compostagem (CAMARGO et al., 2021). Além da produção de laranjas, o Brasil é um dos maiores produtores de biodiesel do mundo e, durante o processo de obtenção desse combustível, são gerados resíduos como o glicerol bruto (GB) (MARTÍN et al., 2013). Assim, a DA é uma das maneiras de utilização dos resíduos de casca de laranja (RCL) e do GB para geração de produtos de valor agregado.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a geração de biogás e a estabilidade da co-digestão anaeróbia de RCL e GB em um sistema semicontínuo em escala de bancada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e procedimentos experimentais do trabalho estão descritos a seguir:

RESÍDUOS E INÓCULOS UTILIZADOS

Os resíduos de casca de laranja utilizados foram armazenados em freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e triturados em liquidificador. Foi utilizado inóculo proveniente de reator anaeróbio tipo UASB de indústria alimentícia e glicerol bruto oriundo de uma indústria de biodiesel, ambas localizadas no Rio Grande do Sul.

Para a caracterização dos resíduos e do inóculo foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas: pH, sólidos totais (ST) voláteis (SV) e fixos (SF), demanda química de oxigênio (DQO) e alcalinidade (APHA, 2012).

SISTEMA SEMI-CONTÍNUO

No sistema semicontínuo foi utilizado reator de vidro com volume útil de 5 L (Figura 1), operado em temperatura mesofílica por 60 dias. Antes do início de operação, aclimatou-se o inóculo, para adaptação dos microrganismos (LUKITAWESA et al., 2019).

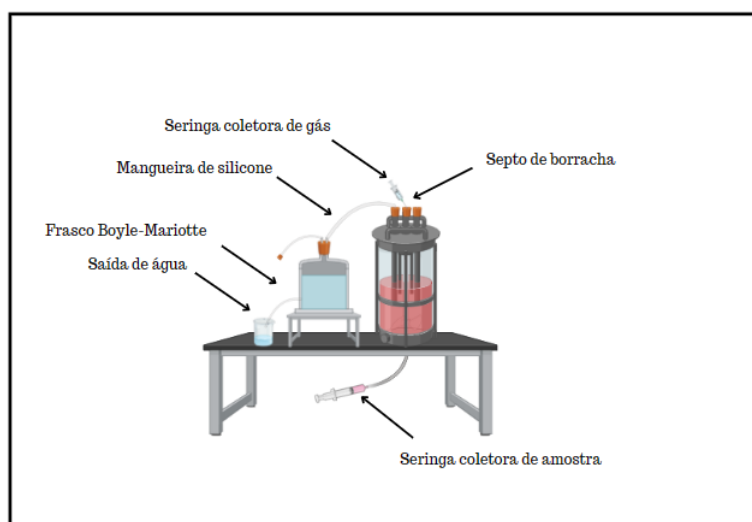


Figura 1: Reator anaeróbio utilizado.

O preenchimento do reator consistiu em: RCL (13,9 % v/v); GB (0,1% v/v); inóculo (43% v/v); e água deionizada (43% v/v). Também se adicionou 50g de bicarbonato de sódio para fornecer alcalinidade e estabilizar o pH. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 25 dias (JIMÉNEZ-CASTRO et al., 2020) e o regime de alimentação diário.

Para inserção de alimento e retirada do efluente, foram utilizadas seringas acopladas a uma mangueira de silicone. Nos primeiros 30 dias, o conteúdo introduzido ao reator foi composto por 34,5% v/v de RCL, 0,5% v/v de GB e 65% v/v de água deionizada, com carga orgânica volumétrica (COV) igual a 1,48 gSV/L. d⁻¹. Nos últimos 30 dias de experimento, aumentou-se a COV em 20%.

Ao longo do experimento, o conteúdo do reator foi caracterizado através de análises físicas e químicas. A relação das análises com sua periodicidade é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Periodicidade das amostragens realizadas ao longo do experimento

Análise	Periodicidade
Vazão de biogás	Diariamente
pH	Diariamente
Sólidos Totais	1 vez por semana
NTK	1 vez por semana

Os volumes de biogás foram normalizados às condições normais de temperatura e pressão (273 K e 1013 hPa) (VDI 4630, 2016).

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS RESÍDUOS E INÓCULO

A caracterização física e química dos RCL e GB e do inóculo que foram utilizados é apresentada na Tabela 1

Tabela 1: Caracterização física e química dos resíduos e inóculo

Parâmetro	RCL	GB	Inóculo
pH	4,3	5,7	7,2
Sólidos Totais (%)	20 ± 4	85 ± 2	16 ± 1
Sólidos Totais Voláteis (%)	19 ± 4	81 ± 2	10 ± 1
Sólidos Totais Fixos (%)	0	4 ± 0	7
DQO (g/L)	35 ± 5	1.169 ± 264	17 ± 5

RCL: Resíduos de Casca de Laranja; GB: Glicerol Bruto; pH: Potencial Hidrogeniônico; DQO: Demanda Química de Oxigênio.

O baixo pH dos RCL e a elevada concentração de DQO do GB representam um desafio para o processo anaeróbio. No entanto, destaca-se o alto teor de SV dos resíduos, indicando elevado potencial biodegradável em processos de DA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Os resultados de volume diário de biogás produzido (NmL) obtidos ao longo do período experimental estão apresentadas na Figura 2.

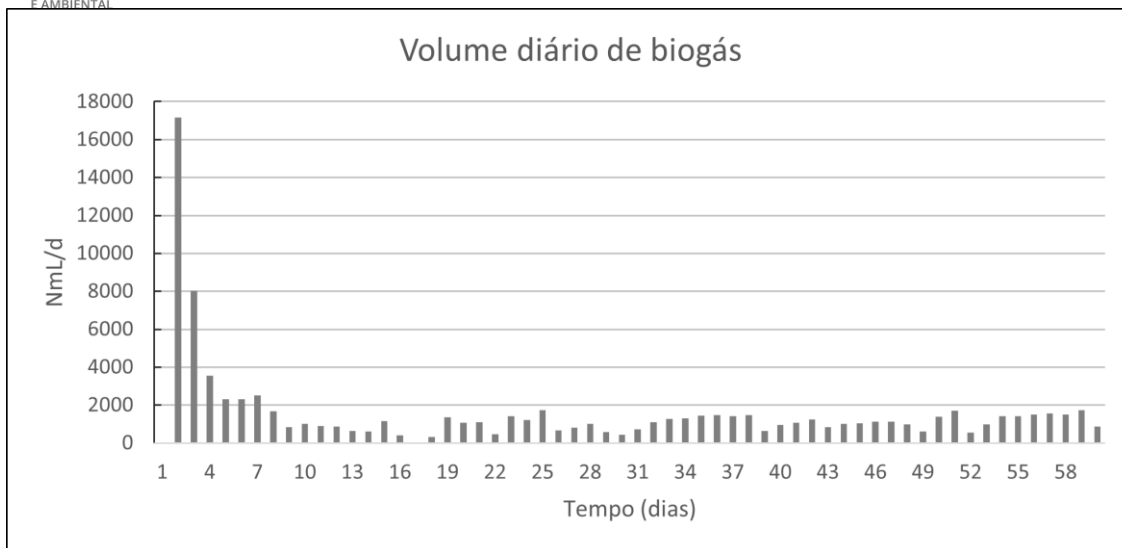


Figura 2: Volume diário de biogás produzido no reator.

Nos primeiros cinco dias, verificou-se valores elevados de volume de biogás, com o maior pico superior a 16.000 NmL. Após esse período, mesmo com COV de 1,48 gSV/L. d⁻¹, dentro da faixa recomendada pela literatura (MARTÍN et al., 2013), os volumes gerados variaram significativamente, com média diária próxima de 1.000 NmL.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO REATOR

Ao longo do período experimental, foram realizadas análises periódicas de pH, sólidos e NTK, que estão apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

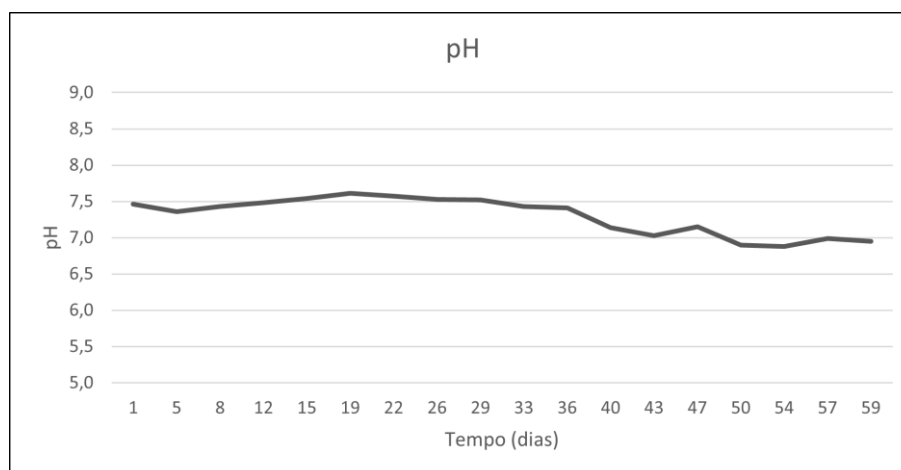


Figura 3: Variação do pH do reator ao longo do experimento.

Na Figura 3, o pH variou entre 6,9 e 7,6, permanecendo dentro da faixa ideal para a etapa metanogênica durante todo o experimento (KUNZ et al., 2018).

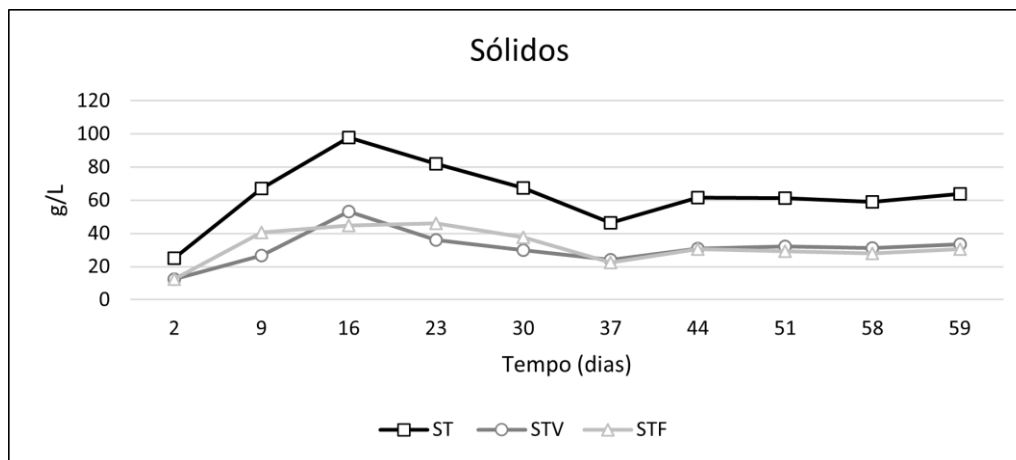


Figura 4: Concentrações de ST, SV e SF presentes no reator ao longo do experimento.

Na Figura 4, verifica-se redução de concentração de ST e STV. Após o incremento na COV, as concentrações de sólidos permaneceram estáveis, indicando não haver interferência na concentração de biomassa e no desenvolvimento dos microrganismos. No entanto, houve acúmulo de matéria orgânica ao longo do experimento. Jiménez-Castro et al. (2020) utilizaram RCL e encontraram redução de 74% de STV. Assim, constatou-se que no presente estudo não houve eficiência de remoção de sólidos esperada.

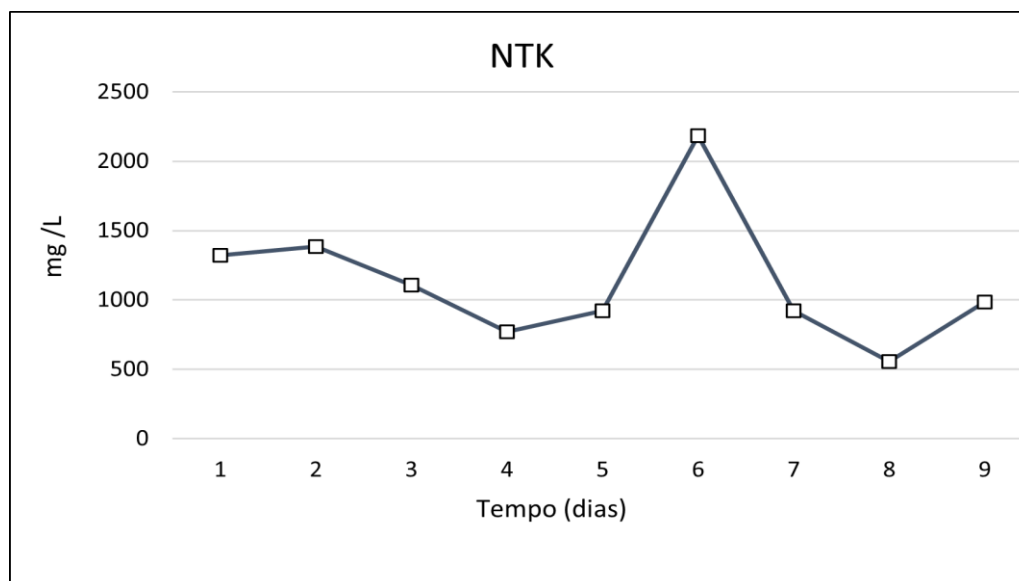


Figura 5: Concentrações de NTK presentes no reator ao longo do experimento.

Metcalf et al. (2004) destacam que concentrações acima de NTK acima de 3.000 mg/L podem inibir a atividade microbiana para qualquer valor de pH, e promover o desequilíbrio da DA.

Verifica-se que o reator apresentou concentrações abaixo de 2.500 mg/L, e portanto, estão dentro da faixa sem potencial de inibição. Dessa forma, provavelmente, a produção volumétrica de biogás não foi influenciada pelas concentrações de NTK, importante como nutriente para síntese de proteínas e reprodução celular (GIACON, 2019).



CONCLUSÕES

Diante do trabalho realizado, verificou-se que apesar de adotar concentrações adequadas de COV, segundo a literatura, verificou-se que os volumes de biogás gerados variaram consideravelmente ao longo do período experimental, indicando instabilidade no processo anaeróbio

É provável que isso tenha ocorrido em virtude de fatores como, a baixa eficiência de remoção de sólidos voláteis e provavelmente, a presença dos óleos essenciais nos RCL. Para a realização de trabalhos futuros com a DA de RCL, assim como RCL combinado com GB, recomenda-se a adoção de tecnologias de pré-tratamento, para reduzir a concentração dos óleos essenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22th Ed., APHA/AWWA/WEF, 2012.
2. CAMARGO, F. P. et al. Metataxonomic characterization of bacterial and archaeal community involved in hydrogen and methane production from citrus peel waste (*Citrus sinensis* L. Osbeck) in batch reactors. *Biomass and Bioenergy*, v. 149, 2021.
3. CHERNICHARO, C. A. de L. *Reatores Anaeróbios – Princípios de Tratamento biológico de águas residuárias*. 2ª ed, Belo Horizonte – MG. Editora UFMG, 2016.
4. GIACON, M. F. Valorização energética dos resíduos de kiwi e borra de vinho por meio de co-digestão anaeróbia. Dissertação (Mestrado). Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de Tecnologia Ambiental. Bragança, Portugal, 2019.
5. JIMÉNEZ-CASTRO, M.P. et al. Two-stage anaerobic digestion of orange peel without pre-treatment: Experimental evaluation and application to São Paulo state. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, agosto 2020.
6. KUNZ, A. et al. Fundamentos da Digestão Anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Editora Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 209, 2019.
7. LUKITAWESA et al. Factors influencing volatile fatty acids production from food wastes via anaerobic digestion. *Bioengineered*, v. 11, n. 1, p. 39–52, 2019.
8. MARTÍN, M. A. et al. Semi-continuous anaerobic co-digestion of orange peel waste and residual glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Waste Management*, v. 33, p. 1633-1639, 2013.
9. METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLIOUS, G. *Wastewater energy: treatment and reuse*, 4th ed. McGraw-Hill, New York, 2004.
10. NGUYEN, T. T. et al. Pre-treatment study on two-stage biohydrogen and biomethane productions in a continuous codigestion process from a mixture of swine manure and pineapple waste. *Int. J. of Hydrogen Energy*, 2020
11. VEREINDEUTSCHER INGENIEURE - VDI 4630. Fermentation of organic materials: Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Normas Técnicas da Associação Alemã de Engenheiros. Germany, 2006.
12. ZEMA, D. A. et al. Anaerobic digestion of orange peel in a semi-continuous pilot plant: An environmentally sound way of citrus waste management in agro-ecosystems. *Science of the Total Environment*, v. 630 p. 601-608, 2018.

