

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO BLEND DE MATERIAL LENHOSO HIDROLISADO

GUILHERME ARAUJO ROCHA¹, JULIANA LOBO PAES², ROMULO CARDOSO VALADÃO³, MAXMILLIAN ALVES DE OLIVEIRA MERLO⁴, ANTONIO AUGUSTO FIDALGO NETO⁵, ALEX QUEIROZ DE SOUZA⁶

¹ Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, araujoroachaguilherme@gmail.com

² Prof^a Dr^a. Adjunta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, juliana.lobop@yahoo.com.br

³ Prof Dr. Adjunto, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, romulocv@yahoo.com.br

⁴ Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, maxmerlo@hotmail.com

⁵ Dr. em Ciências, Instituto SENAI de Inovação em Química Verde e Centro de Inovação SESI em Higiene Ocupacional, aaneto@firjan.com.br

⁶ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências (Química) UFRJ, Instituto SENAI de Inovação em Química Verde, aqsouza@firjan.com.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Os passivos ambientais gerados pelo setor madeireiro acarretam na necessidade de investimentos para compensar os impactos causados ao meio ambiente. Uma das rotas tecnológicas possíveis para este material é a codigestão anaeróbica através de biodigestores, transformando estes resíduos em energia. Estudos relatam o lodo de esgoto, material sem o devido aproveitamento da potencialidade na geração de biogás nas Estações de Tratamento de Esgoto Brasileira, como excelente codigestante. Objetivou-se com este trabalho avaliar o aumento da produção de biogás, a partir da codigestão de blend de material lenhoso hidrolisado (H) com o lodo de esgoto (LE). Avaliou-se a produção acumulada e o potencial de produção de biogás das relações 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 H:LE acondicionadas em protótipo de biodigestores modelo indiano. O tempo de retenção hidráulica foi de 13 semanas. A codigestão contendo 75% do blend de material lenhoso hidrolisado apresentou maior potencial de produção de biogás em cinco semanas. Assim, conclui-se que o processo de codigestão anaeróbica adotando a relação 75:25 H:LE constitui ser uma possível rota tecnológica a ser adotada para a destinação final desses resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Rota tecnológica, biodigestor, codigestão.

BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL OF THE BLEND OF WOODY MATERIAL HYDROLYSED

ABSTRACT: The environmental liabilities generated by the timber sector entail the need for investments to compensate for the impacts of the environment. One of the possible technological routes for this material is the anaerobic codigestão through biodigesters, transforming wastes into energy. Studies report sewage sludge, a material without proper use of the potential for biogas generation in Brazilian Sewage Treatment Stations, as an excellent codigestant. The objective of this work was to evaluate the increase in biogas production from the codigestion of the blend of hydrolyzed woody material (H) with the sewage sludge (LE). The accumulated production and the biogas production potential of the 100: 0, 75:25, 50:50,

25:75 and 0: 100 H: LE ratios were evaluated in prototype Indian biodigestors. The hydraulic retention time was 13 weeks. The codigestion containing 75% of the blend of hydrolyzed woody material had a higher biogas production potential in five weeks. Thus, it is concluded that the process of anaerobic codigestion adopting the ratio 75:25 H: LE constitutes a possible technological route to be adopted for the final destination of these wastes.

KEYWORDS: Technological route, biodigester, codigestion.

INTRODUÇÃO: O Brasil é um país em desenvolvimento com crescente evolução em diversos setores, mas que ainda necessita de melhores destinações a seus resíduos. No que se refere ao setor de madeiras, o desperdício ainda é alto mesmo que se tenham avanços tecnológicos. Na utilização de uma tora, por exemplo, o beneficiamento da madeira é de 40 a 60%, ou seja, aproveita-se apenas cerca de 50% de todo material (Mady, 2000).

Contudo, é necessário atribuir um melhor planejamento ao direcionamento deste material. Os resíduos de madeira gerados pela indústria e desmatamento possuem um leque de atribuições de forma a beneficiar o meio ambiente, porém são pouco utilizadas atualmente. Dentre essas possibilidades, a madeira pode ser utilizada na geração de energia, diminuindo a dependência energética através de uma matriz energética limpa (Brito, 2007).

Para obter resultados que seja possível tratar um resíduo gerado a fim de beneficiar o meio ambiente, é necessário que rotas tecnológicas venham ser utilizadas. Para isto apresentam-se possibilidades como, pirólise da gaseificação, combustão direta e, neste caso, codigestão anaeróbica transformando um resíduo em biogás.

A codigestão anaeróbia é uma opção interessante a fim de potencializar a digestão anaeróbia dos resíduos biodegradáveis, sendo este caracterizado pela utilização de dois ou mais substratos dentro de um biodigestor. A codigestão apresenta diversos fatores positivos, a nível comparativo á biodigestão. Por possuírem um maior aumento de resíduos, o custo benefício será maior, tendo também melhor eficiência na degradação do substrato obtendo, desta forma, uma maior produção de biogás (Mata-Alvarez et al., 2000).

No entanto, o material lenhoso apresenta em sua composição a lignina, que é um polígono aromático e tridimensional com um elevado peso molecular, indigestível e repressor da digestão da parede celular das plantas (Trugilho et al., 1996; Fukushima et al., 2000), fazendo necessário a realização de pré-tratamentos termoquímicos e sacarificação enzimática (Sousa et al., 2009; Dererie et al., 2011).

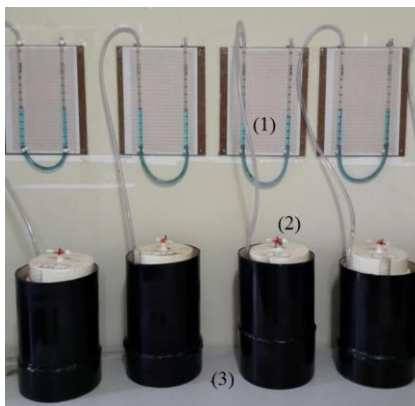
A realização de pré-tratamentos de materiais lignocelulósicos ocorre a partir da utilização de ácidos, vapor, base e de combinações entre estes compostos. Estes tratamentos podem ser realizados de diversas maneiras, sendo utilizada neste caso a Hidrólise. Procedimento no qual irá separar a lignina da celulose e hemicelulose, tornando-os disponíveis para a biodigestão (Sun & Cheng, 2005).

O lodo de esgoto é um efluente que pode gerar diversos problemas sociais caso não tenha uma destinação final otimizada. Por possuir alta carga orgânica em sua composição torna-se um ótimo elemento a ser utilizado no biodigestor para geração de biogás. Tendo essa condição favorável á produção de biogás, foi utilizado neste caso como codigestante. Através disso, objetivou-se avaliar o potencial de produção de biogás do blend de material lenhoso hidrolisado por meio da codigestão anaeróbica do lodo de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS: O sistema de codigestão anaeróbica foi instalado no Laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas do Instituto de Tecnologia/

Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Seropédica - RJ.

No experimento foram utilizados biodigestores modelo indiano de bancada (Figura 1) abastecidos com 100:0, 75:25; 50:50, 25:75 e 0:100 de blend de material lenhoso hidrolisado (H) e lodo de esgoto (LE), respectivamente. O blend de material lenhoso hidrolisado foi disponibilizado pelo Instituto SENAI de Inovação em Química Verde e, o lodo de esgoto proveio da ETE Alegria, pertencente à Companhia Estadual de Águas e Esgoto (Nova CEDAE), localizada no estado do Rio de Janeiro.



- (1) Manômetro de coluna d'água
- (2) Gasômetro
- (3) Câmara de contenção de "selo d'água"

FIGURA 1. Biodigestor de bancada modelo indiano

A câmara de fermentação foi utilizada para acondicionar afluente (material de entrada) e o gasômetro para armazenar o biogás produzido. O sistema câmara de biodigestão e gasômetro foram inseridos no interior de um tubo preenchido com água ("selo de água"), para servir de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido (câmara de contenção do "selo de água").

Assim, para o funcionamento do gasômetro adotou-se o sistema flutuante. Por esse sistema, à medida que ocorreu a produção de biogás, houve deslocamento na direção vertical ascendente do gasômetro. Esse deslocamento foi medido por uma régua graduada fixa ao gasômetro.

O sistema de abastecimento ocorreu em batelada, ou seja, acondicionou-se o afluente no biodigestor apenas no início do experimento. O abastecimento dos biodigestores com o afluente ocorreu 24 h após sua coleta, a fim de evitar perda de biogás gerado devido ao precoce processo fermentativo. O tempo de retenção hidráulica (TRH) foi de 89 dias (13 semanas) e temperatura média no interior do biogás de 25,3 °C.

As coletas de dados foram realizadas semanalmente às dez da manhã. O volume de biogás produzido foi calculado de acordo com a metodologia adotada por Matos et al. (2017). O biogás gerado nos biodigestores foi analisado quanto à produção acumulada e o potencial de produção. O potencial de produção de biogás foi calculado utilizando-se os dados de produção acumulada e as quantidades de material adicionado nos biodigestores. O valor foi expresso em L de biogás por kg de afluente.

Os resultados experimentais de produção acumulada de biogás em função do tempo de retenção hidráulica foram submetidos à análise de regressão, com o uso do programa estatístico R. Os gráficos de produção acumulada e potencial do biogás foram feitos utilizando-se o programa computacional Sigma Plot 2001, versão 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Apresenta-se na Figura 2, a produção acumulada de biogás devido a codigestão entre blend de material lenhoso hidrolisado e lodo de esgoto em cinco diferentes relações durante 13 semanas de TRH.

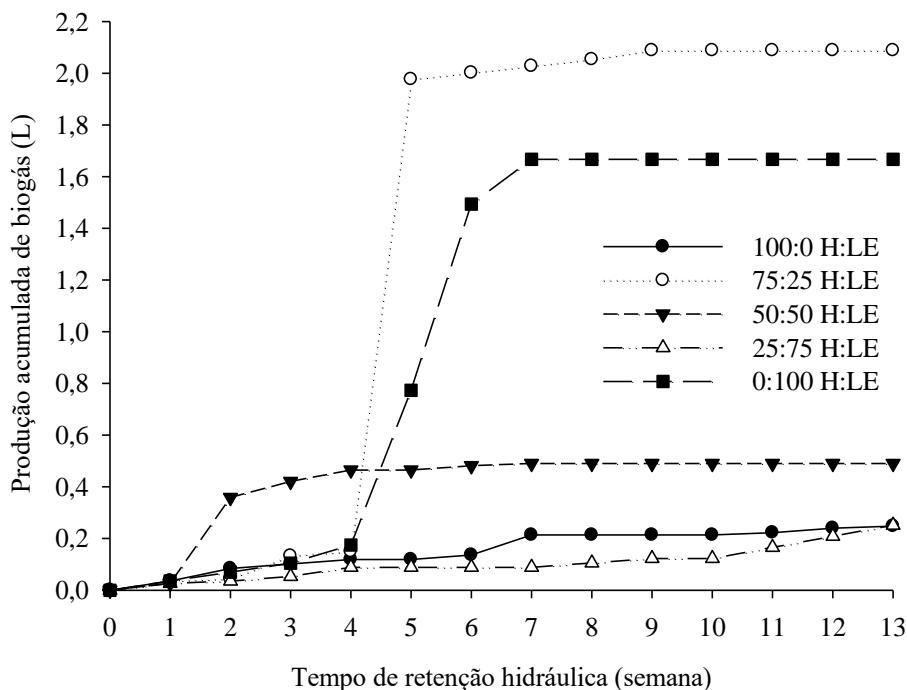


FIGURA 2. Produção acumulada de biogás (L) em função do tempo de retenção hidráulica para as diferentes relações

Nas quatro primeiras semanas do processo, ocorreu a etapa de bioestabilização entre a carga orgânica e a microbiana presente no material adicionado no biodigestor. Pode-se observar que cada relação apresentou comportamento diferente, o que foi refletido no tempo de partida. As relações 100:0; 50:50 e 25:75 H:LE iniciaram a produção de biogás em apenas uma semana, isto é, apresentaram menor tempo de partida. Já as demais relações necessitaram de quatro semanas para iniciar a produção de biogás. No entanto, em termos quantitativos observa-se que 100:0 e 25:75 H:LE não apresentaram crescimento na produção de biogás a partir do tempo de partida, assim como observado com as demais relações. A produção acumulada de biogás para 50:50 H:LE foi superior as demais até a quarta semana. A partir dessa semana, observa-se aumento na produção acumulada de biogás para 75:25 H:LE, seguido 0:100 H:LE. Apresentam-se na Tabela 1 as equações de regressão que discorrem o comportamento da produção acumulada de biogás ao longo de 13 semanas de codigestão anaeróbica.

TABELA 1. Equações de regressão ajustada aos dados da produção acumulada de biogás durante o processo de codigestão anaeróbica e os respectivos coeficientes de determinação.

Relação H:LE	Intervalo	Equação	Coeficiente de determinação (r ²)
100:0	$0 \leq x_i \leq 13$	$\hat{y} = 0,0352 + 0,0183 x_i$	0,91
75:25	$x_i < 7,12$	$\hat{y} = 2,0823 + 0,3552 x_i$	0,86
	$7,12 \leq x_i \leq 13$	$\hat{y} = 2,0823$	
50:50	$x_i < 2,95$	$\hat{y} = 0,4785 + 0,1793 x_i$	0,94
	$2,95 \leq x_i \leq 13$	$\hat{y} = 0,4785$	
25:75	$0 \leq x_i \leq 13$	$\hat{y} = 0,0009 + 0,0157 x_i$	0,90
0:100	$0 \leq x_i \leq 13$	$\hat{y} = 1,6734 \{1 + 3,7630 [\exp^{-2,0858 X_i}] \}^1$	0,99

em que x_i = tempo de retenção hidráulica (semana) e \hat{y} = produção acumulada de biogás (m³).

A produção acumulada em função do TRH para as relações 75:25 e 50:50 H:LE foi representado pelo *Response Linear Plateau*, isto é, modelo de regressão linear segmentado com platô. Para essas relações a produção acumulada máxima atingida foi, respectivamente, de 2,0823 e 0,4785 L em 7,12 e 2,95 semanas de processo de codigestão anaeróbica. Nas relações 100:0 e 25:75 H:LE verificou-se aumento linear, sem apresentar grandes variações de produção acumulada ao longo de 13 semanas de experimento. Os dados de produção acumulada de biogás na relação 0:100 H:LE em função do TRH ajustaram-se ao modelo de regressão logística. Por esse modelo o ponto máximo de produção acumulada de biogás foi de 1,70 L após sete semanas.

Albuquerque & Araújo (2016) obtiveram 0,011 L de biogás ao longo dos dois meses (9 semanas) na codigestão anaeróbica entre casca de café conilon, dejetos bovino e água. Ao comparar os resultados obtidos com o processo de codigestão entre casca de café conilon, dejetos bovino e água verifica-se que a combinação entre material lenhoso hidrolisado e lodo de esgoto alcançaram maiores produções acumulada de biogás com TRH inferior.

Em termos de potencial de produção de biogás, constata-se na Figura 3 que as relações H:LE apresentaram valores na ordem decrescente de 1,23; 0,98; 0,15 e 0,15 L_{biogás} kg_{substrato}⁻¹ para 75:25, 0:100, 50:50, 25:75 e 100:0 H:LE, respectivamente. Albuquerque & Araújo (2016) ao avaliar a codigestão entre a casca de café conilon, dejetos bovino e água obtiveram potencial de produção de biogás 0,17 L_{biogás} kg_{substrato}⁻¹. Diante desse resultado obtido, os autores concluíram que a casca de café conilon, dejetos bovino e água como uma biomassa em potencial para a produção de biogás.

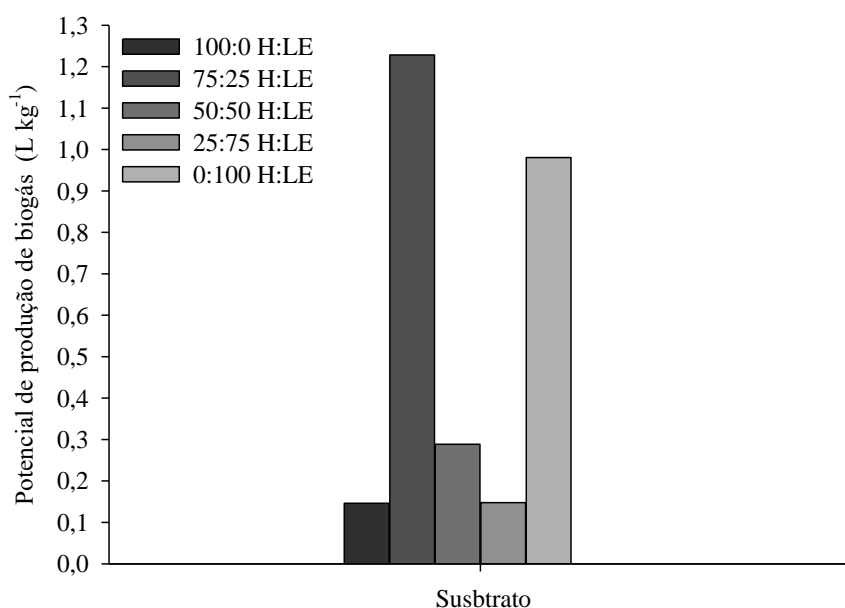


FIGURA 3. Potencial de produção de biogás ($L_{\text{biogás}} \text{ kg}_{\text{substrato}}^{-1}$) para os diferentes substratos.

Os baixos valores de potencial de produção de biogás quando se utilizou apenas blend de material lenhoso hidrolisado indica que o processo de biodigestão anaeróbica não constitui uma rota tecnológica viável. No entanto, pode-se verificar que o processo de codigestão com a relação de 75% de blend e 25% de lodo de esgoto constitui uma solução viável como rota tecnológica.

CONCLUSÕES: Com os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que o processo de codigestão anaeróbica adotando a relação 75:25 H:LE constitui ser uma possível rota tecnológica a ser adotada para a destinação final desses resíduos.

REFERÊNCIAS:

- ALBUQUERQUE, L.S.; ARAÚJO, J.C.S. Produção de biogás por co-digestão utilizando uma mistura de dejetos bovinos e casca de café conilon. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 2, n. 3, p. 44-54, 2016.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. *Estudos Avançados*. v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.
- DERERIE, D.Y.; TROBRO, S.; MOMENI, M.H.; et al. Improved bio-energy yields via sequential ethanol fermentation and biogas digestion of steam exploded oat straw. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 4449–4455, 2011.
- FUKUSHIMA, R.S.; GARIPPO, G.; HABITANTE, A.M.Q.B.; LACERDA, R.S. Extração da Lignina e Emprego da Mesma em Curvas de Calibração para a Mensuração da Lignina em Produtos Vegetais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 5, p. 1302-1311, 2000.
- MADY, F.T.M. Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais. Programa de Desenvolvimento Tecnológico. Manaus: SEBRAE, 2000. 212p.
- MATA-ALVAREZ, J.; MACE, S.; ELLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, v. 74, p. 1, p. 3– 16, 2000.

MATOS, C.F.; PAES, J.L.; PINHEIRO, E.F.M.; CAMPOS D.V.B. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 37, p. 1081-1090, 2017.

SOARES, C.S.G.C; PAES, J.L.; ALVERS, T.B.S. Utilização de lodo de esgoto como inóculo para partida de biodigestores abastecidos com dejetos bovinos In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 2018.

MATOS, C.F.; PAES, J.L.; PINHEIRO, E.F.M.; CAMPOS D.V.B. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 37, p. 1081-1090, 2017.

SOUSA, L.C.; CHUNDAWAT, S.P.S.; BALAN, V.; DALE, B.E. Cradle-to-grave assessment of existing lignocellulose pretreatment technologies. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 20, p. 339–347.2009

SUN, Y.; CHENG, J.J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethaol production. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 1599-1606, 2005.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físicoquímicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptussaligna*. *Revista Cerne*, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.