



ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA NO ESTADO DE SÃO PAULO SAFRA 2018/2019

Raoní Oliveira de Souza (*), Paula Polastri, André Luis Gomes Simões, Daniel Tait Vareschini, Nehemias Curvelo Pereira

* Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, rao.o.s@hotmail.com

RESUMO

Com os impactos do uso extensivo de combustíveis fósseis, surgiu uma tendência mundial de transição para sistemas de energia renovável. Neste contexto, o Brasil é um importante país, com mais da metade de sua matriz energética representada pelas energias renováveis, dentre elas, o etanol de cana-de-açúcar se destaca, devido ao protagonismo mundial do Brasil na sua produção em especial o estado de São Paulo estado com a maior produção no país. No entanto, durante a produção diversos resíduos são gerados, entre eles a vinhaça, gerada em grande volume. Ela tem a destinação mais comum como fertilizante, haja vista, sua composição. Entretanto, não há consenso de que esta medida não gera impactos negativos ao meio ambiente. Neste sentido, a digestão anaeróbia surge como uma alternativa reduzindo a carga orgânica da vinhaça e gerando o biogás, que pode ser aproveitado para produção de energia. Com isso, este trabalho objetivou, estimar o potencial de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de vinhaça no estado de São Paulo safra 2018/2019. Para isso foram utilizados dados da literatura, com os quais foram calculados, volume de vinhaça produzido em todo estado, carga total de demanda química de oxigênio (DQO) da vinhaça, carga total removida de DQO pós digestão anaeróbia, produção de biogás a partir da DQO removida e energia elétrica a partir do biogás. Os resultados demonstram uma produção estimada de biogás de 1.405.980,12 mil.m³ perfazendo, uma produção de energia elétrica de 2.924,82 GHz, o que corresponde a 7,33% de todas as residências do estado de São Paulo, tal como uma redução da carga total de DQO de 3.799.946,28 mil.kgDQO, Pode-se concluir que, o aproveitamento energético da vinhaça pode ser uma alternativa para o estado de São Paulo, gerando benefícios econômicos e ambientais com a aplicação da digestão anaeróbia da vinhaça.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, efluente líquido, aproveitamento energético.

ABSTRACT

With the impacts of extensive use of fossil fuels, a worldwide trend towards the transition to renewable energy systems has emerged. In this context, Brazil is an important country, with more than half of its energy matrix represented by renewable energies, among them, sugarcane ethanol stands out, due to Brazil's worldwide role in its production, especially the state São Paulo state with the highest production in the country. However, during production, several wastes are generated, including vinasse, generated in large volumes. It has the most common destination as fertilizer, considering its composition. However, there is no consensus that this measure does not generate negative impacts on the environment. In this sense, anaerobic digestion appears as an alternative reducing the organic load of vinasse and generating biogas, which can be used for energy production. Thus, this study aimed to estimate the potential for biogas production from anaerobic digestion of vinasse in the state of São Paulo in the 2018/2019 harvest. For this, data from the literature were used, with which the volume of vinasse produced in the entire state, total chemical demand for oxygen (COD) of the vinasse, total load removed from COD after anaerobic digestion, biogas production from COD removed and electricity from biogas. The results demonstrate an estimated biogas production of 1,405,980.12 thousand m³, making an electrical energy production of 2,924.82 GHz, which corresponds to 7.33% of all households in the state of São Paulo, as well as a reduction of the total COD load of 3,799,946.28 thousand.kgDQO, concluding that the energy use of vinasse can be an alternative for the state of São Paulo, generating economic and environmental benefits with the application of anaerobic digestion of vinasse.

KEY WORDS: Renewable energy, liquid effluent, energy use.

INTRODUÇÃO

As consequências do uso extensivo de combustíveis não renováveis e seus impactos a biosfera é consenso entre as lideranças mundiais. Neste sentido, há uma tendência de transição para sistemas de energia renovável, como uma estratégia chave para redução desses impactos (BURKE; STEPHENS, 2018).



Nesse contexto, em termos de energias renováveis, o Brasil é um importante país, pois apresenta uma matriz energética onde as energias renováveis representam 56,5% de toda energia produzida no país (MME, 2017). Entre elas, o etanol da cana-de-açúcar se destaca, pois, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e segundo do mundo na produção de etanol (BERNAL *et al.*, 2017)

Assim, o estado de São Paulo se destaca como o maior produtor de cana-de-açúcar do país no ano de 2018, com uma área plantada equivalente a 55,20% do total produzido no mesmo ano, bem como, foi o maior produtor de etanol com 48,15% de todo etanol produzido (ÚNICA, 2019). Essa atividade agroindustrial intensiva é geradora de diversos resíduos, dentre eles a vinhaça, gerada no processo de destilação do etanol (PEREIRA *et al.*, 2020).

A vinhaça é o principal efluente líquido produzido durante a produção de etanol e é uma suspensão aquosa contendo compostos orgânicos, minerais sólidos e vinho, aproximadamente 75% dos sólidos da vinhaça são compostos de matéria orgânica e para cada litro de etanol é gerado aproximadamente 15 L de vinhaça (PARSAEE *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2020).

A destinação mais comum da vinhaça é sua aplicação no solo como fertilizante para o cultivo da cana-de-açúcar, devido ao seu alto teor de matéria orgânica e nutrientes (principalmente potássio, mas também nitrogênio e fósforo). Do ponto de vista econômico, essa aplicação representa a solução de menor custo e mais simples para a descarga desse efluente com base na legislação ambiental brasileira. No entanto, não está claro se é possível afirmar com segurança que essa ação não resulta em impactos ambientais, embora isso seja permitido por lei (MORAES *et al.*, 2014).

Como alternativa, a digestão anaeróbia pode ser aplicada como tratamento da vinhaça, reduzindo a matéria orgânica e mantendo seus nutrientes, como potássio, nitrogênio e fósforo, que não são totalmente removidos no processo. Sendo consumidos pelo metabolismo assimilativo para manutenção celular (MORAES *et al.*, 2014).

A digestão anaeróbia gera ainda o biogás que pode ser convertido em energia devido seu alto poder calorífico graças a presença de metano (CH₄). Vários autores estudaram essa possibilidade e identificaram grande potencial energético neste resíduo (BERNAL *et al.*, 2017).

OBJETIVO

Estimar a potencial produção de biogás a partir da vinhaça no estado de São Paulo, referente à safra 2018/2019, e realizar o balanço energético do mesmo para produção de energia elétrica.

METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas, compreendendo em caracterização da área de estudo, estimativa da produção de biogás, estimativa da geração de energia elétrica.

Caracterização da área em estudo

Foi realizado um recorte geográfico onde a área de estudo foi delimitada ao estado de São Paulo, o estado apresenta uma população estimada de 45.919.049 e área colhida e produção total de cana de açúcar de 5.555.502 hectares e 194.179 mil ton., respectivamente (IBGE, 2019; ÚNICA, 2019). Foram consideradas todas as usinas produtoras de etanol do estado, durante a safra 2018/2019. O volume de etanol total (anidro + hidratado) referente a safra 2018/2019 foi obtido a partir de dados da União da Indústria da Cana de açúcar (ÚNICA, 2019).

Estimativa da produção de biogás

Esta etapa foi realizada no software Microsoft Excel® e se baseou na correlação entre o volume de etanol total produzido no estado e a produção de vinhaça estimada no processo produtivo do mesmo. Dessa forma, os parâmetros demonstrados na tabela 1 foram utilizados nas equações 1, 2, 3 e 4 determinando o volume teórico de biogás.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para elaboração do potencial de produção de biogás. Fonte: Autores do Trabalho.

Parâmetros	Indicador	Unidade	Referência
------------	-----------	---------	------------



Produção específica de vinhaça (P_{ev})	12	$m^3 \cdot m^{-3}$ de etanol	(PAZUCH et al., 2017)
DQO típica da vinhaça ($DQO_{típica}$)	27,5	$kg \cdot m^{-3}$	(PARSAEE et al., 2019)
Coefficiente de rendimento de biogás (C_{rb})	0,37	$Nm^3 \cdot kg^{-1} \cdot DQO_{removida}$	(SOUZA; FUZARO; POLEGATO, 1992).
Percentual de metano	60	%	(SOUZA; FUZARO; POLEGATO, 1992)
Eficiência de remoção de DQO ($E_{f,rem,DQO}$)	71,7	%	(SOUZA; FUZARO; POLEGATO, 1992)

Nota: DQO – Demanda Química de Oxigênio;

Conforme demonstra a equação 1, do produto do volume total de etanol (V_{etanol}) e produção específica de vinhaça (P_{ev}), pode-se obter o volume total de vinhaça ($V_{vinhaça}$).

$$V_{vinhaça} = V_{etanol} \cdot P_{ev} \quad \text{equação (1)}$$

A partir do resultado obtido na equação 1, foi realizada a equação 2, onde foi calculada a carga total de DQO de todo volume de vinhaça (CT_{DQO}). Conforme demonstra a equação 2, a CT_{DQO} foi obtida a partir do produto do volume total de vinhaça ($V_{vinhaça}$) e carga de DQO típica.

$$CT_{DQO} = V_{vinhaça} \cdot DQO_{típica} \quad \text{equação (2)}$$

Com o resultado obtido na equação 2, foi calculado a carga total de DQO a ser removida pelo tratamento da vinhaça ($CT_{DQO \text{ removida}}$) a partir do produto da carga total de DQO (CT_{DQO}) e eficiência de remoção de DQO ($E_{f,rem,DQO}$) representada na equação 3.

$$CT_{DQO \text{ removida}} = CT_{DQO} \cdot E_f \quad \text{equação (3)}$$

Por fim, com o resultado da equação 3 foram obtidos os resultados de volume teórico de biogás ($V_{biogás}$), a partir do produto da carga total de DQO removida e coeficiente de rendimento de biogás (C_{rm}) conforme as equações 4.

$$V_{biogás} = CT_{DQO \text{ removida}} \cdot C_{rb} \quad \text{equação (4)}$$

Estimativa da geração de energia elétrica

A estimativa da geração de energia elétrica foi realizada a partir do resultado de volume teórico de biogás. Os parâmetros demonstrados na tabela 2 foram utilizados na equação 5 determinando a estimativa potencial de energia disponível de biogás, que será convertido em energia elétrica.

Tabela 2. Parâmetros utilizados para elaboração da estimativa da geração de energia elétrica. Fonte: Autores do Trabalho.

Parâmetros	Indicador	Unidade	Referência
Densidade do biogás a 60% CH_4 ($\rho_{biogás}$)	1,2143	$kg \cdot m^{-3}$	(CIBIOGÁS, 2018)
Poder calorífico inferior do biogás a 60% de CH_4 (PCI)	4.229,98	$kcal \cdot kg^{-1}$	(CIBIOGÁS, 2018)
Rendimento motor (η_{motor})	20 – 30 Adotado 25	%	(PERCORA, 2006)

Nota: CH_4 – metano.



A equação 5 demonstra a potencial de energia disponível de biogás (P_b) para geração de energia elétrica. O resultado da equação se dá com o produto do volume teórico de biogás ($V_{\text{biogás}}$) pela densidade do biogás ($\rho_{\text{biogás}}$), poder calorífico inferior do biogás (PCI) e rendimento motor (η_{motor}).

$$P_b = V_{\text{biogás}} \cdot \rho_{\text{biogás}} \cdot \text{PCI} \cdot \eta_{\text{motor}} \quad \text{equação (5)}$$

RESULTADOS

A Tabela 3 demonstra os resultados obtidos neste trabalho, sendo que, para o volume total de etanol foi utilizado o valor de 15.944 mil.m³.

Tabela 3. Resultados produção de energia elétrica. Fonte: Autores do Trabalho.

Parâmetro	Resultado	Unidade
$V_{\text{vinhaça}}$	191.328,00	mil.m ³
CT_{DQO}	5.299.785,60	mil.kg _{DQO}
$CT_{\text{DQOremovida}}$	3.799.946,28	mil.kg _{DQOremovida}
$V_{\text{biogás}}$	1.405.980,12	mil.m ³
P_b	1.805.441.821.083,60	Kcal
Energia elétrica	2.924,82	GWh

A produção estimada de energia elétrica a partir da digestão anaeróbia e produção de biogás no estado de São Paulo foi de 2.924,82 GWh no ano de 2018, enquanto que, o consumo de energia elétrica residencial no estado foi de 39.924 GWh no mesmo período (EPE, 2019), perfazendo, uma produção de energia elétrica capaz de atender 7,33% de todas as residências do estado de São Paulo.

Os resultados demonstraram ainda, que a carga orgânica total produzida pela vinhaça no estado é de 5.299.785,60 mil.kg_{DQO}, esse material tem alto potencial poluidor, haja vista a destinação final aplicada, podendo saturar o solo, prejudicando o plantio a médio longo prazo, contaminar o lençol freático, entre outros (MORAES *et al.*, 2014). Quando a vinhaça passa pela digestão anaeróbia essa carga orgânica total pode ser removida reduzindo para 1.499.839,32 mil.kg_{DQO}, diminuindo os impactos negativos da sua aplicação *in natura*.

Há ainda uma redução da emissão de gases do efeito estufa durante a queima do biogás, pois, a queima do CH₄ produz CO₂ e H₂O, e o CH₄ é 20 vezes mais poluente que o CO₂ quando liberado na atmosfera (PARSAEE *et al.*, 2019).

CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível concluir que o aproveitamento energético da vinhaça pode ser uma alternativa para o estado de São Paulo. Podendo gerar, benefícios ambientais com a redução da carga orgânica da vinhaça e redução de emissões de gases do efeito estufa e econômicos com o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica. Contribuindo, dessa forma, na produção de energia renovável, tal como para o desenvolvimento sustentável do estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- Bernal, A.P., Santos, I.F.S. dos, Silva, A.P.M., Barros, R.M., Ribeiro, E.M. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO₂ emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 260–271, 2017.
- BURKE, M. J., STEPHENS, J. C. Political power and renewable energy futures: A critical review. **Energy Research and Social Science**, v. 35, n. October 2017, p. 78–93, 2018.
- CIBIOGÁS. **Nota Técnica nº 002/2018**: características técnicas do biogás. n. 1, 2018.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 ano base 2018**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 05, julho. 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada 2019**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 05, julho 2020.
- Ministério de Minas e Energia (MME). **Resenha Energética Brasileira 2017**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02++Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017++ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>. Acesso em: 05 jul. 2020.



7. Moraes, B.S., Junqueira, T.L., Pavanello, L.G., Cavalett, O., Mantelatto, P.E., Bonomi, A., Zaiat, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy , environmental , and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825–835, 2014.
8. Parsaee, M., Kiania, M.K.D., Karimi, K. Biomass and Bioenergy A review of biogas production from sugarcane vinasse. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, p. 117–125, 2019.
9. Pazuch, F.A., Noqueira, C.E.C., Souza, S.N.M., Micuanski, V.C., Friedrich, L., Lenz, A.M. Economic evaluation of the replacement of sugar cane bagasse by vinasse , as a source of energy in a power plant in the state of Paraná, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 34–42, 2017.
10. Pecora, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia). São Paulo, USP, 2006.
11. Pereira, I.Z., Santos, I.F.S. dos, Barros, R.M., Silva, H.L.C.; FILHO G. L. T. ; Silva, A.P.M. Vinasse biogas energy and economic analysis in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121018, 2020.
12. Souza, M.E., Fuzaro, G., Polegato, A.R. Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant uasb reactor. **War. Sci. Tech** v. 25, n. 7, p. 213–222, 1992.
13. União da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA). 2019. Disponível em: <https://www.unicadata.com.br>. Acesso em: 24 abr. 2020.