



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL

BRUNO HENRIQUE TELES FERREIRA

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA

PENEDO, AL
2023

BRUNO HENRIQUE TELES FERREIRA

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

Orientador (a): Mirelle Márcio Santos Cabral.

PENEDO, AL
2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

F383p

Ferreira, Bruno Henrique Teles.

Produção de biogás a partir da vinhaça / Bruno Henrique Teles
Ferreira. -2023.

14f.: il.

Orientação: Prof.^a Mirelle Márcio Santos Cabral.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio
Integrado em Açúcar e Álcool) - Instituto Federal de Alagoas,
Campus Penedo, Penedo, 2023.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Cana-de-açúcar. 2. Vinhaça. 3. Biogás. I. Cabral, Mirelle
Márcio Santos. II. Título.

CDD: 664.1

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

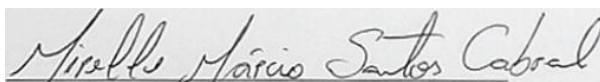
BRUNO HENRIQUE TELES FERREIRA

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

APROVADO (A) EM: 14/02/2023

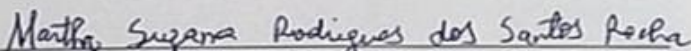
BANCA EXAMINADORA



Prof. Mirelle Márcio Santos Cabral (orientador)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Raul César da Silva Nascimento
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^ª. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA

PRODUCTION OF BIOGAS FROM VINASSE

Ferreira, B. H. T.¹
Cabral, M. M. S.²

RESUMO

Considerando a busca por fontes alternativas aos combustíveis fósseis, surge a possibilidade de reutilizar a vinhaça para outra função (invés da fertirrigação, que é a mais comum), produzir-se biogás. Primeiramente, é importante destacar que a vinhaça é um líquido residual da destilação do etanol encontrada em abundância. Devido as suas características físico-químicas, representa grande preocupação se descartada de forma equivocada no meio ambiente. Dessa forma, em meio a tantas possibilidades de utilização desse subproduto, a digestão anaeróbica se destaca, pois tem a capacidade de diminuir a concentração de matéria orgânica, neutralizar o pH e, principalmente, produzir biogás – importante fonte de calor e eletricidade, com a vantagem de ser um biocombustível renovável. Portanto, esse trabalho busca fazer uma análise da utilização da vinhaça para a produção do biogás através de revisão bibliográfica, essa tecnologia ainda necessita de investimentos e melhorias para aumentar a produção e utilização. Contudo, pode-se concluir que fica evidente o grande potencial brasileiro em produzir o biogás, já que se encontra a vinhaça em abundância dado a grande quantidade de usinas produtoras de etanol.

Palavras-chave: Vinhaça; Meio ambiente; Digestão anaeróbica; Biogás.

ABSTRACT

Considering the search for alternative sources to fossil fuels, the possibility arises of reusing vinasse for another function (instead of fertigation, which is the most common), to produce biogas. First, it is important to highlight that vinasse is a residual liquid from ethanol distillation found in abundance. Due to its physical-chemical characteristics, it represents a great concern if disposed of in the wrong way in the environment. Thus, in the midst of so many possibilities for the use of this by-product, anaerobic digestion stands out, as it has the ability to reduce the concentration of organic matter, neutralize the pH and, mainly, produce biogas – an important source of heat and electricity, with the advantage of being a renewable biofuel. Therefore, this work seeks to analyze the use of vinasse for the production of biogas through a literature review, this technology still needs investments and improvements to increase production and use. However, it can be concluded that the great Brazilian potential in producing biogas is evident, since vinasse is in abundance given the large number of ethanol production plants.

Keywords: Vinasse; Environment; Anaerobic digestion; biogas.

¹Bruno Henrique Teles Ferreira, discente do curso Técnico Integrado em Açúcar e Alcool, bhtf1@aluno.ifal.edu.br

²Mirelle Marcio Santos Cabral, docente do curso Técnico Integrado em Açúcar e Alcool.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o maior número de plantações de cana-de-açúcar fica localizada no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, onde existem as maiores indústrias de açúcar e etanol, e seus subprodutos. Com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), hoje extinto, e com o aumento da produção de etanol, houve também um aumento nos subprodutos gerados dessa cultura, com isso novas maneiras de reutilização e descartes vem sendo buscadas, a fim de proporcionar um menor impacto ambiental (PASSOS, 2009).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento — CONAB (2020) o Brasil obteve uma grande produção de cana na safra 2020/21, chegando a produzir até 39,3 milhões de tonelada de açúcar, tornando o Brasil como o maior produtor do mundo por dois anos consecutivos. E a produtividade média, no país, esperada para a cana-de-açúcar, na safra 2022/23, é de 70.484 kg/ha, produzindo cerca de 39,88 milhões de tonelada de açúcar, superior a 2021/22. Em média, 55% da cana produzida no Brasil se transformam em etanol e 45% em açúcar, sendo que a vinhaça é resultado da fermentação alcoólica dessa biomassa (BEBÉ et al., 2009). Esse subproduto pode ser utilizado em várias funções, uma delas é a obtenção do biogás, que é um biocombustível composto, principalmente, de matéria orgânica.

As indústrias sucroalcooleiras representam para o país um grande valor na produção de vinhaça decorrente da produção de etanol, sendo que a destinação mais comum no Brasil é a aplicação nas lavouras de cana-de-açúcar. A vinhaça é produzida durante a safra em meados de maio ao período de dezembro. Para cada 1 litro de álcool produzido na destilaria é descartado uma grande quantidade de vinhaça que pode chegar até 12 litros (NOVA CANA, 2019).

A vinhaça é muito rica em nitrogênio, potássio, enxofre e matéria orgânica, além de ser utilizada para o desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar, serve como adubo na fertirrigação, evitando-se que seja descartada em rios e acabe poluindo o meio ambiente e contaminando a humanidade com doenças. A vinhaça apresenta uma grande concentração de carga orgânica, podendo resultar em vários problemas ambientais se não tiver um destino final adequado. Assim, descobriu-se ser possível produzir biogás a partir da vinhaça através da biodigestão anaeróbica em reatores de alto desempenho, e proporcionando um fim melhor para esse subproduto, dessa forma, o gás obtido pode ser transformado em energia elétrica (GERMANO, 2011). Verifica-se, também, que a produção de biogás é atrativa, uma vez que é um recurso energético renovável que é derivado da decomposição de matéria orgânica, economicamente e ambientalmente viável.

Diante do exposto, esse artigo tem o objetivo de agregar conhecimento sobre a produção de biogás usando a vinhaça como matéria-prima, bem como fazer uma análise do impacto ambiental dessa tecnologia.

2 VINHAÇA

A vinhaça é um resíduo proveniente da destilação do caldo fermentado que dará origem ao etanol, caracterizado por um resíduo líquido pastoso, com coloração marrom (Figura 1), de natureza ácida e com odor característico, sendo considerada o principal resíduo de uma indústria sucroalcooleira tanto pelo seu grande volume gerado como também pelo seu enorme potencial poluidor (SZYMANSKI *et al.*, 2010).

Figura 1: Tanque de vinhaça.



Fonte: FUSATI, 2023.

Devido a fontes diferentes de obtenção de etanol (cana-de-açúcar, beterraba, milho, etc.) a composição da vinhaça pode ser alterada, apresentando diferentes propriedades. De maneira geral, a vinhaça é composta por alguns minerais (potássio, enxofre e outros) e por matéria orgânica, com demanda química de oxigênio entre, (quantidade de oxigênio necessária para decompor quimicamente a matéria orgânica.), 20.000 e 35.000 mg/L (SZYMANSKI *et al.*, 2010). Segundo a Nova Cana (2019), a vinhaça pode ser conhecida por outros nomes que se diferem de acordo com a região a qual se encontra, ou seja, pode ser conhecida também por vinhoto, tiborna ou restilo.

O uso da vinhaça começou a ser potencializado com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975, em busca de um fim melhor para esse resíduo. Com isso, intensificou-se a busca por uma forma de reaproveitar a vinhaça de modo a proporcionar uma melhor destinação, a princípio ela foi utilizada como adubo, depois começou a ser usada para obtenção do biogás (CNPEM, 2015).

A vinhaça é caracterizada como um efluente de alto poder poluente, em torno de cem vezes mais prejudicial do que o esgoto doméstico devido à grande quantidade de matéria orgânica, alta Demanda Bioquímica de Oxigênio, (quantidade de oxigênio necessária para fazer biologicamente, por meio de microorganismos.) baixo pH – variando entre 3,7 a 5 –, grande corrosividade e temperaturas elevadas (SILVA, 2007). Além disso, apresenta um baixo custo, contudo, é necessário que a utilização desse subproduto seja feita com cuidado para não prejudicar o meio ambiente com sua grande carga orgânica. Apresenta, também, um alto valor fertilizante, por esse motivo é utilizada na fertirrigação no próprio canavial, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Fertirrigação da cana-de-açúcar utilizando a vinhaça.



Fonte: NUNES, 2013.

A vinhaça é composta principalmente por matéria orgânica e é rica em nutrientes destacando-se o potássio, cálcio e magnésio, sendo que seus constituintes nutricionais estão ligados à origem do mosto. A seguir é possível observar na Tabela 1 a composição química da vinhaça *in natura* e da vinhaça concentrada (SILVA *et al.*, 2007).

Tabela 1: Composição química das diferentes amostras de vinhaça.

Nutrientes	Vinhaça <i>in natura</i>	Vinhaça concentrada
Nitrogênio (g/Kg)	0,2	0,8
Fósforo (g/Kg)	0,03	0,14
Potássio (g/Kg)	0,6	4,3
Cálcio (g/Kg)	0,3	1,6
Magnésio (g/kg)	0,1	1,2
Enxofre (g/Kg)	0,1	0,3
Cobre (g/Kg)	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$
Ferro (g/Kg)	18×10^{-3}	$119,3 \times 10^{-3}$
Manganês (g/Kg)	$1,3 \times 10^{-3}$	$18,8 \times 10^{-3}$
Zinco (g/ Kg)	$0,8 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de PINTO e ARAUJO, 2023.

Como observado na Tabela 1, a grande diferença entre a vinhaça *in natura* e a vinhaça concentrada está fundamentada na quantidade de nutrientes disponíveis em cada uma delas, ficando evidente que a vinhaça concentrada apresenta valores maiores de nutrientes, pois há a retirada da água em relação à vinhaça concentrada. Assim sendo, traz benefícios quanto ao transporte para distribuição no campo, uma vez que a presença da água encarece o transporte devido aos grandes volumes, uma solução seria o uso da vinhaça localizada no local de produção. Um exemplo é o ferro, o qual apresenta um teor de 18 mg/Kg na vinhaça *in natura*, enquanto na vinhaça concentrada essa concentração é de 119,3 mg/Kg.

De acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar e Bioenergia - UNICA (2019) estima-se que até o ano de 2030 a produção de etanol possa dobrar, com esse patamar de produção, a vinhaça irá praticamente dobrar seguindo o mesmo ritmo do etanol, com média de aproximadamente 540 bilhões de litros por ano. Dessa forma, o setor sucroalcooleiro deve estar preparado para promover as condições necessárias a fim de obter uma produção sustentável, ou seja, saber qual a destinação final mais adequada ao grande excedente de vinhaça. Devido à grande carga orgânica, esse importante subproduto pode ser aproveitado para a produção de biogás. Têm-se um aproveitamento de 60% do metano como fonte de energia, o qual se tornou atrativo a partir do desenvolvimento de reatores de alto desempenho, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira e, ainda, proporcionando uma destinação sustentável desse efluente. SFRTAS

3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA VINHAÇA

Atualmente, com a grande demanda da produção de etanol, a quantidade de vinhaça cresce de forma proporcional. No entanto, a vinhaça é um subproduto altamente poluente se descartado de forma inadequada no meio ambiente, chegando a ser mais tóxico que o esgoto doméstico, devido à matéria orgânica. Dessa maneira, quando esse produto é descartado de forma equivocada causa sérios danos ao meio ambiente. Um exemplo é o descarte da vinhaça no solo (Figura 3), podendo atingir os lençóis freáticos e rios, já que podem ocorrer à percolação de metais pesados como o manganês, ferro, alumínio, cloreto, e outros, provocando uma grande poluição (SZYMANSKI *et al.*, 2010).

Figura 3: Canal de vinhaça.



Fonte: ROSSETTO e SANTIAGO, 2022.

De acordo com Fialho *et al.* (2019) um tratamento com destinação adequada é uma ótima alternativa para vinhaça, porque ela pode ser utilizada como fertilizante e na produção do biogás, por meio da biodigestão anaeróbica. Contudo, se a vinhaça não obtiver um tratamento adequado da usina produtora de etanol, poderá trazer uma série de prejuízos ao meio ambiente e ao ser humano.

De acordo com a Constituição Federal de 1988 no artigo 225:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Diante do exposto é possível confirmar a responsabilidade populacional com o meio ambiente, cabendo aos órgãos públicos fiscalizar, contudo, muitas vezes é possível verificar a falta de responsabilidade para com a lei e gerações futuras. De acordo com Fialho *et al.* (2019) a vinhaça apresenta um grande perigo em relação a contaminação de rios e mananciais, quando é utilizada de forma inadequada, já que possui uma alta carga de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), o que pode causar a desoxigenação dos rios, levando a morte de animais e plantas. Além de que esse subproduto pode atrair moscas e demais insetos, para a região onde se encontra armazenado, que uma vez espalhados, esses insetos podem trazer prejuízos para criadores de animais, como por exemplo, a vaca leiteira.

Ademais, a vinhaça também pode trazer problemas para o solo, como o aumento do pH, elevação na concentração de sais, aumento potencial de salinização do solo ao longo dos anos, devido a presença do potássio e proporcionar mudanças nas suas características físicas e químicas (SILVA *et al.*, 2007). Sem contar que o descarte indevido desse efluente – em rios, lagos, solo, etc. – pode causar grandes danos ambientais, principalmente, pela sua carga de

DBO, sendo assim, ficam evidentes que é necessário dar-se um fim devidamente adequado a esse subproduto (CALEGARI, 2017).

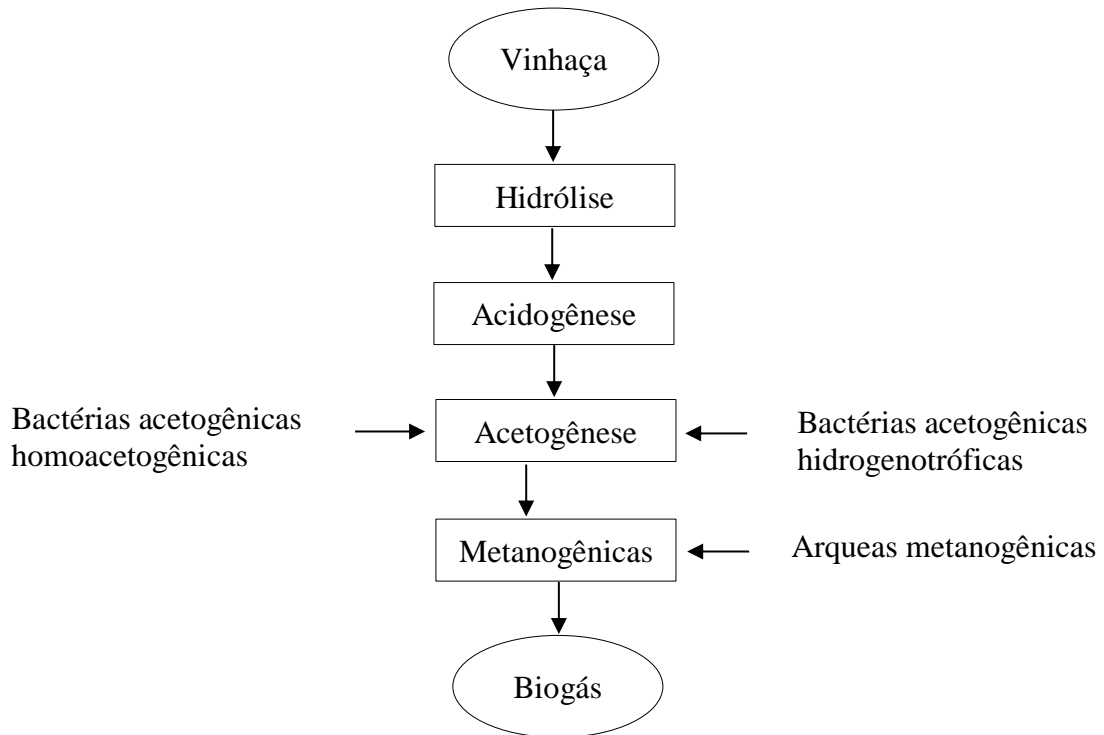
4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável, representando uma importante fonte de energia com potencial em escala global. Esse importante gás tem sua origem a partir da decomposição de matéria orgânica – restos de alimentos, resíduos vegetais, animais e municipais –, esse processo ocorre sem a presença de oxigênio, logo, é obtido pela decomposição anaeróbica. Para isso, utilizam-se bactérias que decompõem as moléculas da matéria orgânica, transformando-a quase que totalmente em gases e um percentual de energia térmica (PORTAL DO BIOGÁS, 2021).

O biogás é composto por 50-75% de metano, 25-50% de CO₂, em menores concentrações pode ter também sulfeto de hidrogênio, vapor d'água e outros gases. Contudo, a sua composição pode variar de acordo com a biomassa utilizada, assim, a produção de biogás depende, principalmente, da matéria orgânica e do meio onde ocorre a sua decomposição. A biodigestão anaeróbica proporciona uma grande redução da carga orgânica do efluente, facilitando a produção do biogás, sendo este utilizado para diversos fins, além de diversificar a matriz energética brasileira (PENTEADO *et al.*, 2018).

O processo de digestão anaeróbica tem uma ação complexa em termos químicos e biológicos, já que consiste em um processo no qual a matéria orgânica é degradada anaerobiamente por diferentes populações de micro-organismos em cooperação, gerando diferentes produtos, dentre eles o metano e o gás carbônico. Esse processo ocorre em diferentes fases, sendo que em cada fase atuam-se micro-organismos diferentes, além disso, tem-se que a forma anaeróbica de tratamento da vinhaça é mais vantajosa do que a forma aeróbica, pois apresenta um menor consumo de energia, de espaço e por produzir uma quantidade reduzida de lodo (CALEGARI, 2017).

A eficiência do processo de biodigestão depende de alguns fatores de operação, como a temperatura, pH do meio, tipo de substrato usado no processo, concentração de sólidos e período de retenção da biomassa no biodigestor, dentre outros. Portanto, a produção do biogás é dada em quatro fases, sendo elas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, como demonstrado na Figura 4 (SOUZA, 2018).

Figura 4: Fluxograma de produção do biogás.

Fonte: AUTOR, 2023.

A princípio tem-se a etapa de hidrólise, onde ocorre a degradação anaeróbica (sem presença de oxigênio) de compostos orgânicos complexos em monômeros básicos pela ação de enzimas. Assim, os compostos menores são oxidados por bactérias anaeróbicas, onde acaba originando ácidos orgânicos (como por exemplo, têm-se o ácido acético e o ácido propiônico). A formação desses ácidos é caracterizada como a segunda etapa de produção, chamada de acidogênese. Em seguida ocorre a etapa de acetogênese, na qual as bactérias, denominadas de acetogênicas, transformam os ácidos provenientes da etapa anterior em acetato e hidrogênio. A partir disso há dois tipos de bactérias diferentes com base no seu metabolismo que são inseridas no processo: as bactérias acetogênicas hidrogenotróficas, as quais produzem ácido acético, dióxido de carbono e gás hidrogênio a partir de alguns substratos, como os ácidos orgânicos; e as bactérias acetogênicas homoacetogênicas que produzem hidrogênio facultativo, além de catalisarem acetato a partir de CO_2 e H_2 (CALEGARI, 2017).

Por fim, tem-se a etapa de metanogênese, onde as arqueas metanogênicas (organismos procariontes que se diferenciam das bactérias principalmente pelo fato de suas paredes celulares não apresentarem peptidoglicanas) convertem o acetato e o hidrogênio em gás metano e dióxido de carbono, essa fase ocorre lentamente e com controle das taxas de conversão do processo. As arqueas metanogênicas tem capacidade de produzirem grande quantidade de gás

metano e são encontradas em locais com grande quantidade de matéria orgânica, como por exemplo, brejos e lagos (CALEGARI, 2017).

A recuperação energética da vinhaça pela produção de biogás pode trazer benefícios para o setor sucroalcooleiro, já que esse biogás pode substituir a queima do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia, possibilitando que esse material (bagaço) seja utilizado para produzir etanol de segunda geração, o que irá proporcionar maior incentivo e rendimento na produção sucroalcooleira (SOUZA, 2018). Logo, o processo de produção anaeróbica do biogás vem apresentando ser bastante vantajoso por ser responsável pela remoção de até 80% da DBO e rendimento de aproximadamente $0,5 \text{ m}^3$ por kg de DBO (CALEGARI, 2017).

De acordo com Souza (2018) o biogás produzido a partir da vinhaça tem um bom potencial energético e seu poder calorífico – em torno de 5.000 a 7.000 kcal.m^3 , podendo chegar até 12.000 kcal.m^3 caso o CO_2 seja retirado na mistura (MORELL et al., 2018) – se aproxima ao poder calorífico do gás natural (um derivado do petróleo) em torno de $9,4 \text{ kcal/m}^3$, além de ter a vantagem de ser uma fonte de energia renovável e ter o resíduo que serve como matéria-prima em grande quantidade. Contudo, mesmo sendo um combustível capaz de reduzir a emissão de gases poluentes para atmosfera, o biogás ainda é pouco utilizado e valorizado como combustível, e um dos motivos é por ser amplamente utilizado na fertirrigação (NAKASHIMA, 2018).

5 CONCLUSÕES

Na atualidade, tem-se intensificado a busca por fontes de energias alternativas, devido, principalmente, a preocupação ambiental. Assim, conclui-se que a utilização da vinhaça usando os reatores anaeróbicos é muito benéfica, pois permite explorar o potencial desse resíduo em produzir energia com a vantagem de proporcionar um destino final adequado e satisfatório, sem agredir muito o meio ambiente e ser viável economicamente. Além disso, é possível confirmar o grande potencial desse resíduo em diminuir até 80% a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Foi possível constatar que a digestão anaeróbia da vinhaça produz uma quantidade promissora de biogás e, considerando as diversas utilizações para esse produto, como por exemplo, a cogeração de energia, injeção na rede de gás e uso como combustível veicular, este se torna um produto de grande valia econômica e ambiental.

Também foi constatado que o biogás tem potencial de elevar seu potencial energético, após um devido processo de tratamento, aproximando-se de características do gás natural.

Portanto, é possível confirmar o destaque do biogás por se tratar de uma fonte renovável e com alto potencial energético. Contudo, é necessário que haja um incentivo a pesquisas para se desenvolver e melhorar as tecnologias, a fim de ampliar a produção do biogás em maiores escalas, com a vantagem de obter-se um melhor destino para o grande excedente de vinhaça.

REFERÊNCIAS

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com a vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 781-787, 2009.

CALEGARI, R. P. **Produção de biogás a partir de vinhaça concentrada**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar, safra 2022/23 2º levantamento. 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/43933_4c496920bffcfbfb45deb447d553a49. Acesso em: 15 Fev. 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Conab estima produção estável de cana e aumento de 32% na de açúcar. 2020.. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3568-conab-estima-producao-estavel-de-cana-e-forte-destaque-para-o-acucar-na-safra-atual#:~:text=Com%20esse%20volume%20de%20cana,foi%20alcan%C3%A7ado%20na%20%C3%BAltima%20safra>. Acesso em: 25 Fev. 2022.

CONSTITUIÇÃO FEDERAL. **República Federativa do Brasil**, 1988, art. 225. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 28 mar. 2022.

CNPEM - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais. Vinhaça para gerar energia. Disponível em: <https://cnpem.br/vinhaca-gerar-energia/>. Acesso em: 5 jan. 2022.

FIALHO, M. L.; CARNEIRO, A. P. C.; REIS, K. P.; CAMPOS, O. N.; FRANCO, M. V.; O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol – Poluição ambiental. **Revista científica da Faculdade do Guarujá**, n. 17, 2019.

FUSATI. Impermeabilização para lagos ou tanques de contenção de vinhaça. Disponível em: <https://fusatiambiental.com.br/geomebrana-impermeabilizacao-de-tanques-de-vinhaca/>. Acesso em: 8 jan. 2022.

GERMANO, B. N. **Produção de biogás a partir da vinhaça: Uma análise de bem-estar usando modelagem econômico-hidrológica integrada**. 2011. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MORELL, P. O.; SANTOS, V. T.; SILVA, M. P. M.; STREMEL, D. P. Influência da matéria prima na produção de biogás por diferentes tipos de vinhaça. **Revista Brasileira de Energia renovável**. p. 350-358, 2018.

NAKASHIMA, R. N. **Avaliação energética da geração e uso do biogás no setor sucroenergético**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 2018.

NUNES, S. C. Bico de irrigação com uso de vinhaça em canavial em Alagoas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/713001/irrigacao-cana-vinhaca>. Acesso em: 5 jan. 2022.

NOVA CANA. Uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar. Curitiba, 2021. Disponível em <https://www.novacana.com/cana/uso-vinhaca-cultura>. Acesso em: 21 Dez. 2021.

PASSOS, R. R. G. **Avaliação energético-econômica da utilização da vinhaça via biogás ou evaporação seguida de incineração**. p. 47. Departamento de engenharia mecânica, São Paulo, 2009.

PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; DOURADO, D. C.; GUERI, M. V. D. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbica da vinhaça e bagaço da cana. **Biofix scientific jornal**, v. 3, n. 1, p. 26-33, 2018.

PINTO, L. E.V.; ARAUJO, F. F. Uso de vinhaça como biofertilizante: efeito na nodulação, crescimento e acúmulo de nutrientes no cultivo da soja. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 5, p. 97-109, 2019.

PORTAL DO BIOGÁS. BIOGÁS. 2021. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/biogas/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Adubação – Resíduos alternativos. Embrapa, 2022. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html. Acesso em: 16 de mar de 2022.

SILVA, M. A. S. Impactos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e de seu efluente. Universidade Federal de Goiás, 2007.

SILVA, M. A. S.; QRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Biodigestão anaeróbica da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 901-913, 2010.

SOUZA, R. C. P. **Análise Exergética da Vinhaça para Produção de Biogás**. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Vinhaça: biofertilizante e energia sustentável. 2019. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/vinhaca-biofertilizante-e-energia-sustentavel/>. Acesso em: 3 jan. 2022.