

APROVEITAMENTO DA VINHAÇA RESIDUAL DA PRODUÇÃO DO ETANOL PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS: UMA REVISÃO

Marina Marques da Silva¹, Rômulo Maziero², Leandro Soares de Oliveira³; Juan Carlos Campos Rubio⁴

Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão de literatura sobre a vinhaça residual da produção de etanol com potencial na geração de biogás. Os resultados indicam que é crescente a busca por alternativas de novas tecnologias aplicadas a vinhaça, dentre as quais destaca-se a biodigestão para geração de biogás, que pode ser usado para fins de eletricidade ou com finalidade térmica para geração de vapor que será consumido no processo. A biodigestão da vinhaça resulta em dois subprodutos, sendo o biogás e a água residuária. As principais aplicações do biogás na indústria estão relacionadas com a geração de energia a partir de turbina a gás conjugada com gerador elétrico ou até mesmo queima do gás em caldeira, com finalidade de geração de vapor para utilização em outros processos dentro da indústria. Já a água residual, pode ser utilizada em outros processos na indústria, como: lavagem da cana, água de embebição, limpeza e até mesmo o uso em caldeiras, o que dependerá da qualidade final desse efluente. Estudos demonstram a viabilidade técnica econômica do aproveitamento da vinhaça para geração de biogás e ainda evidenciam a redução das emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) da vinhaça, via digestão anaeróbica. Conclui-se que, apesar das opções de aproveitamento, deve-se atentar para a permanência das propriedades altamente poluidoras da vinhaça, ao aproveitá-la, evita-se a disposição em rios e lagos próximos as indústrias produtoras de etanol, no entanto, o fato das alternativas de tecnologia não reduzirem o potencial poluidor, mostra-se como oportunidade para estudos relacionados a este tema.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Biomassa. Biodigestão.

Abstract

The objective of this work is to present a review of the literature on the residual vinasse of ethanol production with biogas generation potential. The results indicate that the search for alternatives to new technologies applied to vinasse is increasing, among which the biodigestion for the generation of biogas, which can be used for electricity purposes or for thermal purposes for the generation of steam to be consumed in the process. The biodigestion of vinasse results in two by-products, being biogas and wastewater. The main applications of biogas in the industry are related to the generation of energy from a gas turbine coupled with an electric generator or even burning the gas in a boiler for the purpose of generating steam for use in other processes within the industry. Wastewater can be used in other processes in the industry, such as: cane washing, soaking water, cleaning and even the use in boilers, which will depend on the final quality of this effluent. Studies demonstrate the economic feasibility of using vinasse for biogas generation and also evidence the reduction of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions from vinasse through anaerobic digestion. It is concluded that, in spite of the recovery

¹ Doutoranda em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG; professor da Faculdade de Tecnologia de Ourinhos-FATEC. E-mail: marinanuclear@ufmg.br.

² Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Área de Concentração: Propriedades Físicas e Químicas dos Materiais) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - PROPEMM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo- IFES. E-mail: maziero.ifes@gmail.com.

³ Doutor em Agricultural And Biological Engineering pela Purdue University-USA; Pós-Doutorado pela University of Hawaii-UH/USA; professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. E-mail: leandro@demec.ufmg.br.

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo-UFMG; professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. E-mail: juan@ufmg.br.

options, it is necessary to take into account the permanence of the highly polluting properties of the vinasse, when taking advantage of it, it avoids the disposal in rivers and lakes near the ethanol producing industries, however, the fact that the technology alternatives do not reduce the polluting potential, is shown as an opportunity for studies related to this topic.

Keywords: Solid waste. Biomass. Biodigestion.

Introdução

O uso de biomassas está se tornando uma alternativa cada vez mais atraente, como solução parcial na falta de energia, com uma abordagem ecológica, tendo na cana-de-açúcar um fundamento sólido; que recebe o novo e complemento valioso do conceito inovador das biorrefinarias e instalações produtivas, que pode ser resumido para alcançar o rendimento global mais alto das matérias-primas, com o menor nível de impacto ambiental.

Dentre as alternativas de uso dos resíduos da indústria sucroalcooleira está o uso da vinhaça como matéria-prima para a produção de biogás, que vem sendo estudada devido ao volume e potencial de geração de metano por meio da biodigestão. A vinhaça é um resíduo líquido proveniente da destilação de uma solução alcoólica denominada vinho, obtida do processo de fermentação para obtenção do álcool. Esse resíduo pode ter como matéria-prima o caldo de cana, o melaço ou a mistura de proporções, ou de diluições destes.

Segundo Calegari (2017), o Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo. Na safra de 2015/2016 foram gerados 30,4 bilhões de litros de etanol, estima-se que são gerados aproximadamente 10 a 13 litros de vinhaça por litro de etanol. Portanto, aproximadamente 300 bilhões de litros desse material residual é gerado anualmente.

Bernal et al. (2017) afirmam que a recuperação de energia a partir de resíduos é uma das estratégias que podem auxiliar a expansão das energias renováveis no Brasil. Entre os vários tipos de resíduos, a vinhaça, resíduo com carga orgânica elevada e é originário da indústria da cana-de-açúcar, representa importante economia para o País.

Diante disso, este trabalho tem por objetivo realizar um estado da arte sobre a vinhaça residual da produção de etanol com potencial na geração de biogás.

1 Tecnologias aplicadas a vinhaça

Segundo Cortes-Rodríguez et al. (2018), na produção de etanol, um dos resíduos mais poluentes é a vinhaça, que é o produto inferior da destilação. De acordo com Sindhu et al. (2016), a vinhaça é um subproduto da indústria de açúcar e etanol e é ácida com pH de 3.5 e 5.0, com alto conteúdo orgânico e odor desagradável.

A composição química da vinhaça é diversa, dependendo da fonte usada para produção de etanol e destilação. Devido ao alto potencial poluidor, é crescente a busca por alternativas de novas tecnologias aplicadas a vinhaça, seja para fertirrigação nos próprios canaviais, tecnologia de concentração de vinhaça para reduzir o volume ou até mesmo a biodigestão para geração de biogás, que pode ser usado para fins de eletricidade ou com finalidade térmica para geração de vapor que será consumido no processo.

1.1 Concentração de vinhaça

Calegari (2017) ressalta que a vinhaça possui um teor de sólidos baixo de 2 a 10%, este resíduo é composto por um grande valor, o que acarreta custos elevados de transporte. Ainda de acordo com o autor, os principais meios de concentração de vinhaça empregados são: concentração mediante evaporação da água; reciclagem usando parte da vinhaça na diluição do caldo a ser fermentado e desenvolvimento de novas linhagens de leveduras que suportem altos teores de álcool no mostro.

Nos estudos da Agência Nacional de Águas - ANA (2009) e de Christofolletti et al. (2013), enfatizou-se que no processo de concentração de vinhaça, a água é removida sem perda dos sólidos, um processo que pode diminuir os custos de transporte dos caminhões tanque, aumentando o raio de aplicação da vinhaça, onde a fertirrigação em dutos não é mais viável.

Albers (2007) em estudo sobre tratamento da vinhaça relatou que, uma maior quantidade de vapor disponível para o sistema de concentração pode representar uma quantidade menor de concentração, ou, inversamente, se as condições da planta não oferecem uma grande quantidade de vapor, uma maior quantidade de efeitos será necessário para diminuir o consumo de utilidade. O autor afirma que tendo em conta esta condição, é possível observar que os fabricantes atualmente oferecem concentradores que têm de quatro a sete efeitos com o objetivo de reduzir o uso de vapor nesse processo.

Cortes-Rodríguez et al. (2018) afirmam em pesquisa que atualmente, na grande maioria das indústrias, o uso da vinhaça *in natura* é uma prática comum. Neste contexto, os autores argumentam que a concentração da vinhaça permitiria reduzir significativamente o volume da vinhaça, o que também reduziria o custo de disposição. Contudo, a concentração de vinhaça, por meio de sistemas de evaporação, traz uma quantidade térmica bastante significativa do consumo em destilarias.

Nos estudos desenvolvidos por Rezende (1983) e Calegari (2017) foi citado que o uso da vinhaça concentrada pode ser de diferentes formas como: componente de forragens,

suplementos alimentares e rações animais, uso direto como fertilizante, incineração a cinzas e biodigestão anaeróbica para produção de metano.

1.2 Vinhaça para fertirrigação do solo

No estudo sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão desenvolvido por Cruz et al. (2013), os autores afirmam que na fertirrigação, a disposição da vinhaça é feita diretamente no solo sem nenhuma forma de pré-tratamento. Os benefícios advindos da fertirrigação são tanto diretos, por meio da redução no custo com a adubação, quanto indiretos, visto que aumentam a fertilidade natural dos solos onde esse subproduto é aplicado.

Moraes et al. (2017) afirmam que a vinhaça é aplicada em campos como fonte de nutrientes de plantas (fertirrigação). Ainda segundo os autores, um efeito colateral desse uso é a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) durante o armazenamento e o transporte em canais abertos para campos e de solos fertirrigados. Neste estudo, os autores avaliaram as emissões de GEE em experimentos, simulando este sistema de gerenciamento de vinhaça e potencial para reduzir as emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) da vinhaça, via digestão anaeróbica em plantas de biogás.

Moore, Nogueira e Kulay (2016) estudaram os efeitos sistêmicos de substituição de fertilizantes químicos pela vinhaça no desempenho ambiental do etanol, por meio da avaliação do ciclo de vida. Baseando-se que o uso da vinhaça como fertilizante pode salificar o solo devido a alta toxicidade, Candido e Lombardi (2017) propõem o uso de vinhaça tratada como meio de cultura para reduzir os custos da produção de microalgas, com a vantagem de aumentar o valor do resíduo.

1.3 Biodigestão

Segundo Moraes, Zaiat e Bonomi (2015), a digestão para a produção de biogás é reconhecida como uma tecnologia básica que serve para a adequação do gerador de energia, cumprindo as exigências para uma melhoria sustentável da eficácia da otimização de produção de biocombustíveis.

Para Calegari (2017), a biodigestão anaeróbica da vinhaça para a produção de metano tem se mostrado um processo interessante, por ser responsável pela diminuição da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), produção de gás metano e o deflúvio resultante ainda pode ser utilizado como fertilizante, por ainda conter nutrientes minerais.

Cortez et al. (2007) estudaram a digestão anaeróbica da vinhaça para a produção de biogás. A digestão anaeróbica foi realizada em dois estágios: a fase acidogênica e a metanogênica. Na fase acidogênica, as cadeias complexas de carboidratos, lipídios e proteínas foram hidrolisadas para ácidos orgânicos e na fase metanogênica, esses ácidos foram convertidos em metano e dióxido de carbono.

Ferraz Júnior et al. (2016) enfatizaram que a aplicação da digestão anaeróbica termófila é uma escolha lógica para o tratamento da cana-de-açúcar – vinhaça (efluentes industriais da produção de etanol), porque este processo permite a recuperação de energia como hidrogênio e metano sem necessidade de energia para o calor ou interferindo na qualidade como biofertilizante.

Muitos estudos relatam o uso de águas residuais sintéticas a temperaturas mesofílicas para a produção de H₂ em reator de leito fluidizado anaeróbio (AFBR) (AMORIM, SATER, SILVA, 2012; SHIDA et al., 2012). No entanto, Santos et al. (2014) foram pioneiros ao investigar o efeito da concentração de matéria-prima no AFBR, em sistema de produção de H₂ fermentativa contínua com vinhaça de cana-de-açúcar para temperaturas termófilas.

Reis et al. (2015) afirmam que a digestão anaeróbia da vinhaça tem potencial para reduzir a carga orgânica desse resíduo ao gerar biogases, tais como metano (CH₄) ou hidrogênio (H₂). No entanto, poucos estudos concentram na recuperação de energia na forma de H₂, neste estudo, os autores avaliaram a produção de hidrogênio e metano da vinhaça de cana-de-açúcar em um AFBR.

Em estudo recente, Fuess et al. (2017) considerou a aplicação de digestão anaeróbica com separação de fases combinada com o uso de um reator anaeróbico de leito estruturado (ASTBR) como a fase metanogênica para o tratamento de vinhaça de cana-de-açúcar.

Leme e Seabra (2017) apresentaram uma avaliação técnico-econômica da produção de biometano da vinhaça na indústria brasileira de bioetanol, considerando cinco rotas tecnológicas de atualização de biogás. As tecnologias avaliadas foram lavagem de água sob pressão, lavagem físico-orgânica, lavagem de amina, separação de membrana e adsorção do balanço de pressão.

Bernal et al. (2017) apresentaram uma análise das emissões de dióxido de carbono evitada e a viabilidade econômica associada à combustão de biogás produzido pela digestão anaeróbica da vinhaça resultante da cana-de-açúcar plantada no Brasil.

Muitos estudos foram realizados no Brasil, principalmente no Paraná, como é o exemplo de Nogueira et al. (2017) que exploraram a possibilidade de inserção do biogás produzido com vinhaça na matriz energética do Paraná e Pazuch et al. (2017) analisaram a viabilidade

econômica de produzir eletricidade usando vinhaça em uma planta de etanol localizada na região noroeste do estado do Paraná.

Segundo Granato (2003) e Calegari (2017), após a digestão anaeróbica da vinhaça, obtêm-se dois subprodutos: o biogás oriundo da metagênese e a água residuária. Em relação ao primeiro, as principais aplicações na indústria estão relacionadas com a geração de energia a partir de turbina a gás conjugada com gerador elétrico ou até mesmo queima do gás em caldeira, com finalidade de geração de vapor para utilização em outros processos dentro da indústria. Já a água residual, pode ser utilizada em outros processos na indústria, como: lavagem da cana, água de embebição, limpeza e até mesmo o uso em caldeiras, o que dependerá da qualidade final desse efluente.

1.4 Outros produtos a partir da vinhaça

Estudos como de Freire e Cortez (2000) e Elia Neto (2016) apontam que deve-se também registrar outros produtos a partir da vinhaça diferente do energético e do fertilizante, a produção de ração animal, como exemplo. A fabricação de ração animal a partir da vinhaça foi uma possibilidade estudada durante os anos de 1980. Sem entrar no mérito das tecnologias, os autores citam: a secagem de vinhaça e a produção de algas a partir da vinhaça.

2 Conclusão

As oportunidades para utilização das tecnologias à vinhaça, principalmente biodigestão e concentração, é apresentar um novo conceito na usina e órgãos públicos na produção de produtos a partir dos resíduos industriais e agrônômicos. Embora a finalidade mais comumente usada para a vinhaça seja a fertirrigação, é crescente a busca de novas tecnologias para reduzir a dificuldade que compreende na disposição final deste resíduo, que apesar de várias possibilidades de aproveitamento ainda existe o entrave do alto custo do transporte, devido o enorme volume e potencial poluição do solo.

Uma opção para reduzir parte destes problemas é a concentração de vinhaça, que reduz consideravelmente o volume sem reduzir a utilidade para a fertilização e para geração do biogás, bem como, para o uso como complemento alimentar ou ração animal. Estudos mostram as vantagens do aproveitamento da vinhaça para geração de biogás por digestão anaeróbica, pois, o biogás pode ser usado na indústria para geração de energia elétrica ou térmica e outros casos em que a vinhaça é utilizada *in natura*, a água residual pode ser utilizada para lavagem da cana, limpeza e até mesmo o uso em caldeiras.

Portanto, apesar das opções de utilização da vinhaça, ainda existe a permanência das propriedades altamente poluidoras do subproduto, ao aproveitá-la, evita-se a disposição em rios e lagos próximos as indústrias produtoras de etanol, no entanto, o fato das alternativas de tecnologia não reduzirem o potencial poluidor, mostra-se como oportunidade para estudos relacionados a este tema.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Agência Nacional de Águas, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, União da Indústria da Cana-de-açúcar, Centro de Tecnologia Canavieira, Brasília - DF, 2009, 294 p.
- ALBERS, M. Tratamento da Vinhaça: Concentração e outros. In: Workshop Tecnológico sobre Vinhaça. Projeto Políticas Públicas **Fapesp**. v. 10, n. 10, p. 2007.
- AMORIM, E. L.; SADER, L. T.; SILVA, E. L. Effect of substrate concentration on dark fermentation hydrogen production using an anaerobic fluidized bed reactor. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 166, n. 5, p. 1248-1263, 2012.
- BERNAL, A. P.; SANTOS, I. F. S.; 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, 260-271, 2017.
- CALEGARI, R. P. **Produção de biogás a partir de vinhaça concentrada**. 2017. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-09082017-153551/>>. Acesso em: 10 de out. 2017.
- CANDIDO, C.; LOMBARDI, A. T. Growth of *Chlorella vulgaris* in treated conventional and biodigested vinasses. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 1, p. 45-53, 2017.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANELLI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2752-2761, 2013.
- CORTES-RODRÍGUEZ, E. F.; FUKUSHIMA, N. A.; PALACIOS-BERECHE, R.; ENSINAS, A. V.; NEBRA, S. A. Vinasse concentration and juice evaporation system integrated to the conventional ethanol production process from sugarcane – Heat integration and impacts in cogeneration system. **Renewable Energy**, v. 115, p. 474-488, 2018.
- CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JUNIOR, J.; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. Biodigestão de Efluentes. In: L.A.B. Cortez, E.s Lora (Eds.), **Biomass para Energia, Editoria da UNICAMP**, Campinas, 2007, p. 493-529.
- CRUZ, L. F. L. S.; DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F.; PIRES, E. C. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça:

fertirrigação, concentração e biodigestão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 29, p. 111-127, 2013.

ELIA NETO, A. Estado da arte da vinhaça. In: ÚNICA (União da Indústria da Cana de Açúcar), **2º Workshop “Resíduos urbanos e agrícolas: energia, reciclagem de nutrientes e produção de fertilizantes”**, Campinas - SP, 2016. Disponível em: <http://unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=21743421>. Acesso em: 01 set. 2017.

FERRAZ JÚNIOR, A. D. N.; KOYAMA, M. H.; ARAÚJO JÚNIOR, M. M.; ZAIAT, M. **Thermophilic anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse. Renewable Energy**, v. 89, 245-252, 2016.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Campinas: Livraria e Editora Agropecuária, Série Engenharia Agrícola, 203 p., 2000.

FUESS, L. T.; KIYUNA, L. S. M.; FERRAZ JÚNIOR, A. D. N.; PERSINOTI, G. F.; SQUINA, F. M.; GARCIA, M. L.; ZAIAT, M. Thermophilic two-phase anaerobic digestion using an innovative fixed-bed reactor for enhanced organic matter removal and bioenergy recovery from sugarcane vinasse. **Applied Energy**, v. 189, p. 480-491, 2017.

GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica de vinhaça**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2003.

LEME, R. M.; SEABRA, J. E. A. Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the **Brazilian bioethanol industry. Energy**, v. 119, p.754-766, 2017.

MOORE, C. C. S.; NOGUEIRA, A. R.; KULAY, L. Environmental and energy assessment of the substitution of chemical fertilizers for industrial wastes of ethanol production in sugarcane cultivation in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 4, p. 628-643, 2017.

MORAES, B. S.; PETERSEN, S. O.; ZAIAT, M.; SOMMER, S. G.; TRIOLO, J. M. Reduction in greenhouse gas emissions from vinasse through anaerobic digestion, **Applied Energy**, v. 189, p. 21-30, 2017.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 888-903, 2015.

NOGUEIRA, C. E. C.; SOUZA, S. N. M.; MICUANSKI, V. C.; AZEVEDO, R. L. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 300-305, 2015.

PAZUCH, F. A.; NOGUEIRA, 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.

REIS, C. M.; CAROSIA, M. F.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; SILVA, E. L. Evaluation of hydrogen and methane production from sugarcane vinasse in an anaerobic fluidized bed reactor. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 27, p.8498-8509, 2015.

REZENDE, J. O. **Vinhaça: outra grande ameaça ao meio ambiente**. 1983. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1983.

SANTOS, S. C.; ROSA, P. R. F.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; SILVA, E. L. Hydrogen production from diluted and raw sugarcane vinasse under thermophilic anaerobic conditions. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 18, p. 9599-9610, 2014.

SHIDA, G.M.; SADER, L. T.; AMORIM, E. L. C.; SAKAMOTO, I. K.; MAINTINGUER, S. I.; SAAVEDRA, N. K; VARESCHE, M. B. A.; SILVA, E. L. Performance and composition of bacterial communities in anaerobic fluidized bed reactors for hydrogen production: effects of organic loading rate and alkalinity. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 22, p. 16925-16934, 2012.

SINDHU, R.; GNANSOUNOU, E.; BINOD, P.; PANDEY, B. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products – An overview. **Renewable Energy**, v. 98, p. 203-215, 2016.