



EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

TOXICIDADE DE EFLUENTES DE REATORES UASB UTILIZADOS NA CODIGESTÃO DE VINHAÇA E MELAÇO UTILIZANDO SEMENTES DE *LACTUCA SATIVA*

THE TOXICITY OF EFFLUENTS FROM UASB REACTORS USED IN THE CODIGESTION OF VINASSE AND MOLASSES USING LACTUCA SATIVA SEEDS.

Alessandra Mendes^I
 Roberto Alves de Oliveira^{II}
 Rose Maria Duda^{III}

RESUMO

Foi avaliada a codigestão anaeróbia de vinhaça, melaço e torta de filtro em reatores UASB (R1 e R2), em série, para a produção de biogás e qualidade do efluente, quanto a toxicidade utilizando sementes de *L. sativa*. Os tempos de detenção hidráulica (TDH) foram fixados em 24,0 horas para os primeiros estágios (R1) e em 11,2 horas para os segundos estágios (R2). A co-digestão da vinhaça, melaço e torta de filtro foram estáveis quanto a produção de ácidos voláteis totais, alcalinidade e produção volumétrica de metano, com valores médios de aproximadamente 3,5 L CH₄ (L d)⁻¹, para a aplicação de cargas orgânicas volumétricas de aproximadamente 30 g DQO_{total} (L d)⁻¹ e remoções de DQO_{total} para o sistema (R1+R2) superiores a 80%. Os testes de toxicidade utilizando a *L. sativa* indicam que o reator UASB-R1, pode ser alternativa interessante para redução da toxicidade de afluentes compostos por vinhaça e melaço de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: biogás; digestão anaeróbia; reatores anaeróbios; alface.

ABSTRACT

The anaerobic co-digestion of vinasse, molasses, and filter cake in UASB reactors (R1 and R2), in series, was evaluated to produce biogas and effluent quality, regarding toxicity using *L. sativa* seeds. Hydraulic detention times were set at 24.0 hours for the first stages (R1) and 11.2 hours for the second stages (R2). The co-digestion of vinasse, molasses and filter cake were stable in terms of total volatile acid production, alkalinity and volumetric methane production, with average values of approximately 3.5 L CH₄ (L d)⁻¹, for the application of organic load rate of approximately 30 g total COD (L d)⁻¹ and total COD removals for the system (R1+R2) greater than 80%. The toxicity tests using *L. sativa* indicate that the UASB-R1 reactor could be an interesting alternative for reducing the toxicity of tributaries composed of vinasse and sugarcane molasses.

Keywords: biogas; anaerobic digestion; anaerobic reactors; lettuce

^I Graduanda do Curso de Tecnologia em Biocombustíveis da Faculdade Tecnologia “Nilo de Stéfani” (FATEC de Jaboticabal), email.: alessandra.mendes01@fatec.sp.gov.br.

^{II} Docente da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Jaboticabal.

^{III} Docente de FATEC de Jaboticabal. Email: rose.duda@fatec.sp.gov.br



EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

Data de submissão: 30/09/2024.

Data de aprovação: 24/10/2024.

DOI: 10.52138/sitec.v4i1.379

1 INTRODUÇÃO

Os subprodutos da produção de açúcar e etanol da cana-de-açúcar, como o melaço, torta de filtro e vinhaça podem ser fonte interessante de matéria-prima para a produção de biogás. O biogás é instrumento de sinergia entre a gestão responsável de resíduos e a produção de energia renovável na transição global para a sustentabilidade (Bedoic *et al.*, 2021). A vinhaça é o principal resíduo gerado a partir da produção de etanol, seguido pela torta de filtro, que são utilizados no cultivo da cana-de-açúcar como fertilizantes.

O melaço, subproduto da produção de açúcar de cana-de-açúcar, é amplamente utilizado na produção de etanol, em virtude do baixo preço e do grande volume produzido. Os processos anaeróbios possibilitam a estabilização da matéria orgânica presente na vinhaça, torta de filtro e melaço, com a produção de dois produtos de valor econômico, o biogás e a vinhaça biodigerida. No entanto, existe a necessidade de avaliação da toxicidade do afluente e efluentes dos reatores anaeróbios quanto a fitotoxicidade em plantas.

Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar a codigestão anaeróbia de vinhaça, melaço e torta de filtro para a produção de biogás e a qualidade do efluente, quanto a toxicidade utilizando sementes de *L. sativa*.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

A busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis é objeto de pesquisa recorrente. Além de se constituírem em recursos não-renováveis e limitados, a produção e uso de combustíveis de origem fóssil estão relacionados à emissão de poluentes atmosféricos. Nesse contexto, os biocombustíveis destacam-se como alternativa de energia mais limpa e renovável, em substituição às fontes de energia convencionais (Penteado *et al.* 2017), destacando-se o etanol e o biogás.

Na produção de etanol gera-se a vinhaça, que é produzida na proporção de aproximadamente 12,5 L de vinhaça para cada litro de etanol (Araujo, 2017). Segundo Barros (2016), a vinhaça sai da coluna de destilação com temperatura em torno de 90 °C e pH entre 3 e 4. É constituída por 94 a 97% de água, Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^{+} , melanoidinas e quantidades residuais de açúcar, álcool e componentes voláteis como clorofórmio, pentaclorofenol, fenol e cloreto de metileno, e a quantidade dessas substâncias depende da matéria-prima e do processo de produção do etanol (BARROS, 2016).

A vinhaça normalmente é aplicada ao solo, seguindo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Norma: P 4.231/2015), como fonte principalmente de potássio, substituindo parcialmente o uso de fertilizantes químicos. Porém, esses mesmos compostos, quando percolados ou lixiviados, podem causar alterações nas propriedades físico-químicas do solo, com risco de contaminação para os lençóis freáticos (Baffa *et al.*, 2009).

O processo biológico anaeróbio de conversão de matéria orgânica constitui-se opção viável para redução da carga orgânica e para o aproveitamento do potencial energético na vinhaça. A digestão anaeróbia reduz a carga poluidora da vinhaça sem perda do potencial de



EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

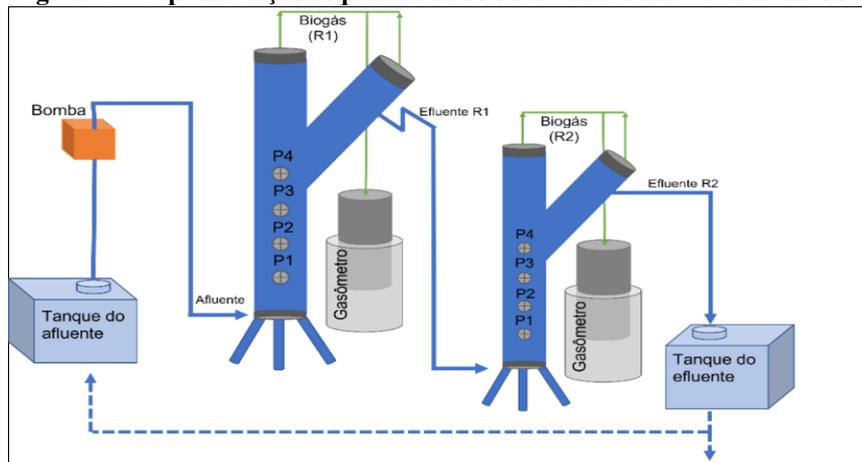
fertilização e gera biogás, combustível gasoso com conteúdo energético elevado que pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica (Longo, 2015).

No entanto, existe a necessidade de avaliações de toxicidade dos efluentes gerados nos reatores anaeróbios. A toxicidade é o potencial de uma substância de gerar danos preocupantes tanto para a saúde humana, quanto para o desenvolvimento de plantas e a biodiversidade de microrganismos (ASAHIDE et al., 2012). Dentre as espécies de plantas a alface *Lactuca sativa* é a mais usada em processos de bioensaios, sendo utilizada como bioindicador para detecção de toxicidade da água em sementes (BUFALO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foram construídos reatores UASB idênticos, em série, com o separador de fases não convencional, na forma de Y, com ângulo de 45° em relação à vertical. (Figura 1). Os reatores UASB possuem o volume de 12,0 L no primeiro estágio (R1) e 5,6 L no segundo estágio (R2).

Figura 1 – Representação esquemática do sistema de tratamento anaeróbio



Fonte: Lima (2022)

Os reatores UASB foram instalados em câmaras climatizadas que mantem a temperatura de aproximadamente 35°C e possuem tanque para armazenagem do afluente e do efluente, bomba de diafragma, e gasômetros de fibra de vidro. A vinhaça, o melão e a torta de filtro utilizados foram coletados em indústria sucroenergética localizada na região de Ribeirão Preto -SP.

A codigestão anaeróbia da vinhaça e melão da cana-de-açúcar durante na safra da cana-de-açúcar, na região Oeste do Estado de São Paulo. Os tempos de detenção hidráulica (TDH) foram fixados em 24,0 horas para os primeiros estágios (R1) e em 11,2 horas para os segundos estágios (R2). Para o aumento gradual da COV, foi utilizado aumento da quantidade de substrato (vinhaça e melão) na diluição com efluente recirculado, de modo a aumentar a DQO do afluente dos sistemas. A torta de filtro foi coletada úmida na indústria, no entanto, para a estocagem e adição no afluente, foi realizada a secagem da torta de filtro de forma natural, com simples exposição ao ar livre. A metodologia adotada para o teste de toxicidade seguiu as recomendações de Sobrero e Ronco (2004).



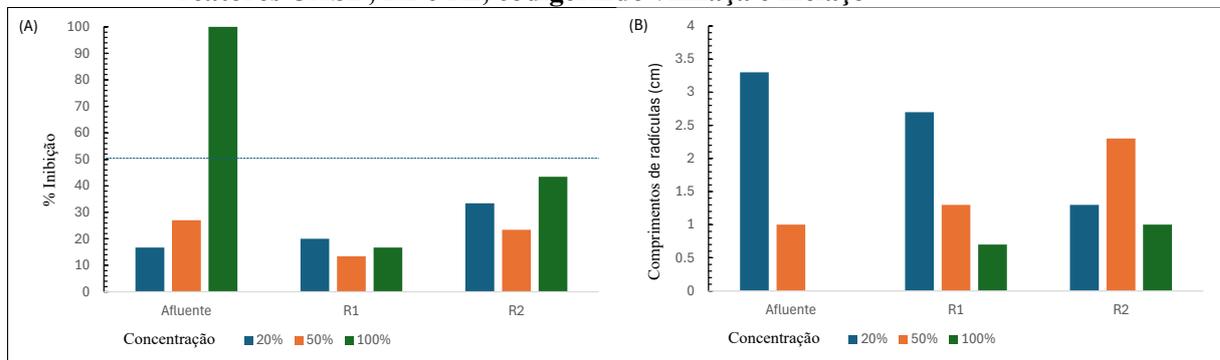
EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A co-digestão da vinhaça, melão e torta de filtro foram estáveis quanto a produção de ácidos voláteis totais, alcalinidade e produção volumétrica de metano, com valores médios de aproximadamente $3,5 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$, para a aplicação de COV de aproximadamente $30 \text{ g DQO}_{\text{total}} (\text{L d})^{-1}$ e remoções de $\text{DQO}_{\text{total}}$ para o sistema (R1+R2) superiores a 80%. BARROS (2017) operou reatores UASB, na faixa de temperatura mesofílica, com COV similares deste experimento, de aproximadamente $33,0 \text{ g DQO}_{\text{total}} (\text{L d})^{-1}$ e observou valores de PVM de $2,1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{m d})^{-1}$.

Observou-se que ocorreu inibição da germinação das sementes de *Lactuca sativa* em todas as concentrações estudadas para o afluente e efluente dos reatores UASB, utilizando vinhaça, melão e torta de filtro. No entanto verificou-se que o afluente bruto inibiu 100% das sementes de *L. sativa* e essa inibição foi reduzida no efluente do R1 e R2 (Figura 2 A). Os maiores tamanhos de radículas foram observados no afluente e R1 para as concentrações de 20% (Figura 2B). Com o aumento da concentração do afluente e efluentes observou-se o decréscimo no tamanho das radículas.

Figura 2 - Percentual de inibição de germinação (A) e tamanho de radícula (B) da *L. sativa* exposta a diferentes concentrações (20, 50 e 100%) do afluente e efluente dos reatores UASB, R1 e R2, codigerindo vinhaça e melão



Fonte: Resultados obtidos pelos autores (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes utilizando a *L. sativa* indicam que o reator UASB-R1, pode reduzir a toxicidade de afluentes compostos por vinhaça e melão de cana-de-açúcar, para valores inferiores a 20%. No entanto, o reator UASB-R2, aumentou a toxicidade do efluente e estudos posteriores serão necessários para a compreensão desses resultados.

AGRADECIMENTOS

À FATEC de Jaboticabal e ao Laboratório de Saneamento Ambiental da Unesp de Jaboticabal por ceder a estrutura para a realização do projeto. À FAPESP pelo auxílio financeiro (Processo n. 2019/19443-6) e ao CNPQ pela bolsa de iniciação científica concedida a primeira autora.



EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

REFERÊNCIAS

ARAUJO, G. J. F. de. **Análise energética, ambiental, e econômica de biodigestores de circulação interna e concentradores de vinhaça para geração de eletricidade, fertilizantes e créditos de carbono em diferentes cenários econômicos.** 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-31082017-092505/publico/GeraldoJFAraujo_Corrigida.pdf. Acesso em: 07 fev. 2024.

ASAHIDE, C.A.et al. Utilização de sementes de alface na avaliação da toxicidade de sais de metais potencialmente tóxicos. **Química ambiental 52º Congresso Brasileiro de Química.** Recife/2012. Disponível em: <http://jornalold.faculdadecienciasdavidacom.br/index.php/RBCV/article/view/518>. Acesso em: 15 set. 2024.

BAFFA, D. C. F.; FREITAS, R. G.; BRASIL, R. P. C. **O uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar.** Ituverava: Nucleus, 2009. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4037413>. Acesso em: 08 fev. 2024.

BARROS, V.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. **Brazilian journal of microbiology**, v. 47, p. 628-639, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjm/a/jbRQ3rjyHN3F73NcWM6cdxM/>. Acesso em: 10 mai. 2024.

BUFALO, J. et al. Períodos de Estratificação na Germinação de Sementes de Alface (*Lactuca sativa* L.) Sob Diferentes Condições de Luz e Temperatura. Artigo **Periódico Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.3, p.931-940, mai.-jun., 2012. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/6619>. Acesso em 16 set. 2024.

BEDOIC et al., Synergy between feedstock gate fee and power-to-gas: An energy and economic analysis of renewable methane production in a biogas plant. **Renew. Energy** **173**, 12–23.2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.124>. Acesso em: 16 set. 2024.

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Norma Técnica P4.321**, de 2015 Vinhaça-Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 15p. fev. 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinhaca_-_Critérios-e-procedimentos-para-aplicacao-no-solo-agricola-3a-Ed-2a-VERSAO.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

LIMA, V. O. **codigestão anaeróbia de vinhaça e lodo de decantador de ETA aumenta a estabilidade de reatores UASB e a produção de metano.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal. Disponível em:



EDIÇÃO 2024 – RESUMO EXPANDIDO

<https://repositorio.unesp.br/items/485f551a-1c06-4722-9a42-25fe39426e3b>. Acesso em 25 out. 2024.

LONGO, R. R.. **Geração de metano em reator UASB**: Avaliação de parâmetros de monitoramento para controle do processo de tratamento anaeróbio de vinhaça. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13082015-102042/publico/Dissertacao_Rodrigo_Rodrigues_Longo.pdf. Acesso em: 15 mar. 2024.

PENTEADO, M. C. et al. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. **Biofix Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 26-33, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/328079631.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2024.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A.. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas**: estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, p. 63-70, 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/31808369/cap4.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.