SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA

ANAEROBIC CO-DIGESTION OF VINASSE AND WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE

Michel de Santi Caraça[I]
Rose Maria Duda[II]
Roberto Alves de Oliveira[III]

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a co-digestão anaeróbia de vinhaça de cana-de-açúcar com águas residuárias da bovinocultura leiteira (ARBL). Durante o processo de destilação do etanol são produzidas quantidades significantes de vinhaça, que deve ser tratada de forma adequada para uma produção sustentável de etanol, podendo ser utilizada na digestão anaeróbia para produção de biogás. Para avaliação da digestão anaeróbia foram utilizados dois reatores de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em série, com recirculação do efluente, que permitiu o acúmulo de alcalinidade, melhorando as relações AVT/AT e AI/AP. A adição da ARBL, permitiu uma adequação nutricional satisfatória para digestão anaeróbia. A eficiência de remoção de DQO para o sistema foi de 76,7%, com uma produção específica de metano de 0,15 $LCH_4(gDQOremovido)^{-1}$.

Palavras-chave: Suplementação. Recirculação. Bioenergia. Vinhoto. Reator UASB.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the anaerobic co-digestion of sugarcane vinasse with dairy cattle wastewater. During the ethanol distillation process, significant quantities of vinasse are produced, which must be treated in an appropriate manner for a sustainable ethanol production, which can be used in anaerobic digestion to produce biogas. To evaluate anaerobic digestion, two reactors upflow anaerobic sludge blanket (UASB) was used, in series, with effluent recirculation, which allowed the accumulation of alkalinity, improving the ratios AVT/AT and AI/AP. The addition of dairy cattle wastewater allowed a satisfactory nutritional adequacy for anaerobic digestion. The COD removal efficiency for the system was 76.7%, with a specific methane production of 0.15 $LCH_4(gDQOremoved)^{-1}$.

Keywords: Supplementation. Recirculation. Bioenergy. Vinhoto. Reactor UASB.

[I] Mestrando em Microbiologia Agropecuária pela UNESP - Jaboticabal. Tecnólogo em Biocombustíveis formado na Fatec de Jaboticabal. Endereço eletrônico: michel.caraca@unesp.br.
[II] Doutora em Microbiologia Agropecuária pela UNESP - Jaboticabal. Docente da Fatec de Jaboticabal. Eng. Química. Endereço eletrônico: roseduda@fatecjaboticabal.edu.br.
[III] Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela USP. Docente da Unesp de Jaboticabal. Agrônomo. Endereço eletrônico: oliveira@fcav.unesp.br.

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING | Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani

EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

Área do resumo: Ciências Ambientais.
Data de submissão: 11/10/2020
Data de aprovação: 28/10/2020.

1 INTRODUÇÃO

Um importante biocombustível no setor de energias renováveis é o etanol. No Brasil, na safra 19/20 foram produzidos 35,5 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar (ÚNICA, 2020). Para cada litro de etanol destilado são produzidos de 10 a 14 L de vinhaça (ORTEGÓN *et al.*, 2016).

A digestão anaeróbia é uma alternativa para o aproveitamento energético da vinhaça. Porém essa tecnologia, embora muito estudada, ainda não é bem estabelecida, em virtude das variações nas características da vinhaça e a presença de compostos inibitórios, como ácidos voláteis, devido a essas características variáveis as relações carbono nitrogênio (C/N) e carbono/fósforo (C/P) e as concentrações de micronutrientes, podem ser desfavoráveis e insuficientes, respectivamente, para a digestão anaeróbia da vinhaça, sendo necessário adequações (BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016; GOMES *et al.*, 2017).

A utilização de águas residuárias da bovinocultura de leite, como co-substrato na digestão anaeróbia da vinhaça, pode melhorar a relação C/N e C/P. As relações ideais para reatores de alta taxa, como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) são de 350/5/1 (DQO:N:P), respectivamente (CHERNICHARO, 2016).

Além disso, as preocupações com o aquecimento global aumentaram a pressão sobre os sistemas de produção de gado leiteiro e de corte no Brasil e no mundo, para promover uma produção pecuária ambientalmente sustentável, pois essas atividades são responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) (CUNHA *et al.*, 2016).

O reator UASB é um reator utilizado mundialmente no tratamento de diversas águas residuárias industriais e agroindustriais *(BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016; GOMES et al.*, 2017). Segundo Gomes *et al.*, (2017), a utilização de reatores UASB em dois estágios em série, se mostrou eficiente, evitando sobrecargas orgânicas e ácidas, promovendo a estabilidade e o controle do processo, com maior produção de energia.

Outro fator importante é a recirculação do efluente, mantendo a carga orgânica volumétrica na concentração desejada, regulando o pH, promovendo a permanência dos bicarbonatos produzidos na digestão anaeróbia, aumentando a alcalinidade, proporcionando estabilidade ao processo (BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016; GOMES *et al.*, 2017).

Portanto o objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho da co-digestão anaeróbia de vinhaça e águas residuárias da bovinocultura leiteira.

2 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos são apresentados nas subseções a seguir.

2.1 Instalações experimentais

O sistema de tratamento utilizado foi composto por dois reatores UASB, instalados em série. Os volumes foram de 20 L para o primeiro reator (R1) e de 40 L para o segundo (R2).

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

Os reatores foram construídos de tubos de PVC, com separadores de fase em forma de Y, com um ângulo de 45° em relação a vertical (BRUNO; OLIVEIRA, 2013).

2.2 Condições operacionais

O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 24 horas no R1 e 48 horas no R2, a carga orgânica volumétrica (COV), utilizada na condução do experimento foi de 5,64 e 1,07 kg $DQOm^{-3}d^{-1}$ para R1 e R2.

Para preparação do afluente o esterco bovino foi coletado semanalmente no setor de bovinocultura leiteira da UNESP, campus de Jaboticabal e diluído na proporção de 5:1 (dejetos/água), simulando um sistema "Free Sttal", onde as instalações de criação dos animais, são limpas, utilizando jatos de água. De acordo com a resolução CONAMA 357, (2005), o uso de água limpa para diluição de resíduos com fins de descarte ou reúso é vedado, porém a limpeza das instalações, para manutenção das condições sanitárias é permitida. As águas residuárias foram peneiradas em malha de 1 mm, retirando as fibras e sólidos grosseiros presentes, para evitar entupimento da bomba e tubulações. A fração líquida foi utilizada na digestão anaeróbia como afluente para o R1 por sete dias, após esse período a ARBL foi adicionada a vinhaça, na proporção de 20% do volume de vinhaça adicionado, com a intenção de atender a relação C/N ideal.

A vinhaça utilizada foi obtida em uma usina de cana-de-açúcar, na região de Ribeirão Preto e proveniente da destilação do etanol hidratado, coletada mensalmente na saída da coluna de destilação. A taxa de recirculação foi de 5,92 durante todo o ensaio.

2.3 Lodo de inóculo

O lodo utilizado como inoculo nos reatores anaeróbios, foi proveniente de um reator UASB tratando águas residuárias da bovinocultura leiteira, com concentrações de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) de 31,16 e 24,43 g L^{-1}.

2.4 Exames e determinações

Os reatores foram operados por 142 dias e para avaliar o desempenho foram coletadas amostras compostas do afluente e efluentes dos reatores R1 e R2, duas vezes por semana e determinados nessas amostras os seguintes parâmetros: alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) conforme Ripley et al. (1986), alcalinidade total (AT), demanda química de oxigênio total (DQO total), segundo metodologias descritas por APHA, AWWA, WEF (2005), ácidos voláteis totais (AVT) conforme metodologia descrita por Dilallo e Albertson (1961). O volume do biogás produzido foi medido diariamente em gasômetros, como descrito por Bruno e Oliveira (2013), a composição do biogás analisada semanalmente, em cromatografia gasosa, conforme descrito por APHA, AWWA, WEF (2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas subseções a seguir são apresentados os resultados e as discussões.

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

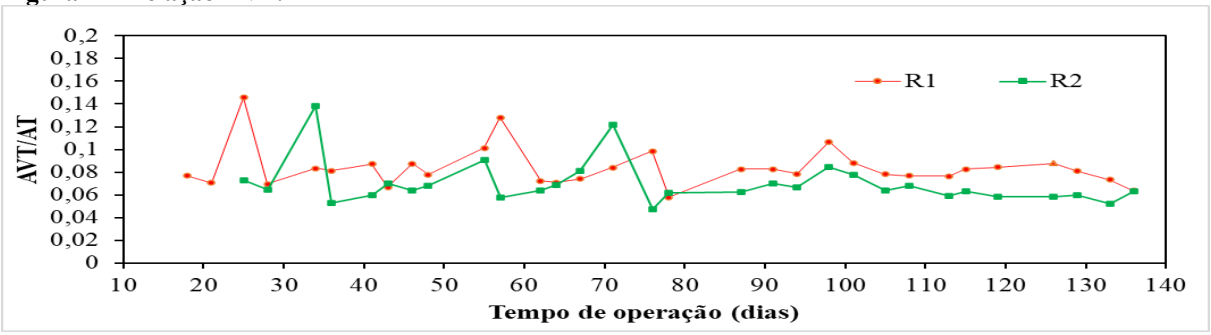
3.1 Alcalinidade e ácidos voláteis

No presente estudo foi observado, estabilidade operacional e capacidade tampão satisfatória dos reatores, R1 e R2, conforme demonstrado pelo aumento nos valores de AP que foram em média de 1134,62 mg $CaCO_3L^{-1}$ para o afluente e de 2044,48 e 1791,15 mg $CaCO_3L^{-1}$ para R1 e R2 respectivamente, mesmo com a variação da COV de 2,7 a 10,1 Kg $DQOm^{-3}d^{-1}$ no R1 e de 0,23 a 2,19 Kg $DQOm^{-3}d^{-1}$ no R2. Houve redução na concentração dos ácidos voláteis de 716,45 mgL^{-1} no afluente para 203,68 mgL^{-1} no R1 e 132,58 mgL^{-1} no R2, consistente com o consumo das arquéias metanogênicas. Uma estratégia frequentemente usada para manter a estabilidade de reatores anaeróbios tratando a vinhaça é a aplicação de substâncias alcalinizantes (BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016). De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a utilização da recirculação do efluente , com o objetivo de manter o bicarbonato produzido a partir do metabolismo metanogênico, permite um equilíbrio adequado entre alcalinidade e AVT, sem a necessidade de produtos químicos adicionais.

Outro fator importante de estabilidade é a relação AVT/AT que foi inferior a 0,14 (R1) e 0,13 (R2) (Fig. 1), com valores médios de 0,10 (R1) e 0,07 (R2). De acordo com Zhao e Viraraghavan, 2004 razões de AVT/AT maiores que 0,8 podem indicar inibição de arquéias metanogênicas. Isso não foi observado neste estudo, provavelmente devido à adição das águas residuárias da bovinocultura leiteira, que podem fornecer nutrientes essenciais para o desempenho adequado da digestão anaeróbia , bem como o uso da recirculação de efluente.

No presente estudo, a aplicação de reatores UASB conectados em série, juntamente com a suplementação de nutrientes pela adição da ARBL à vinhaça, pode ter contribuído para a obtenção de valores de AVT inferiores aos relatados por Barros et al. (2016), que tratando vinhaça em reatores UASB, observou valores de AVT de até 1.728 mgL^{-1} , para COV de 7,5 $KgDQOm^{-3}d^{-1}$ no R1 e 2.722 mgL^{-1}, para uma COV de 11,5 $KgDQOm^{-3}d^{-1}$ no R2.

Figura 1 – Relação AVT/AT

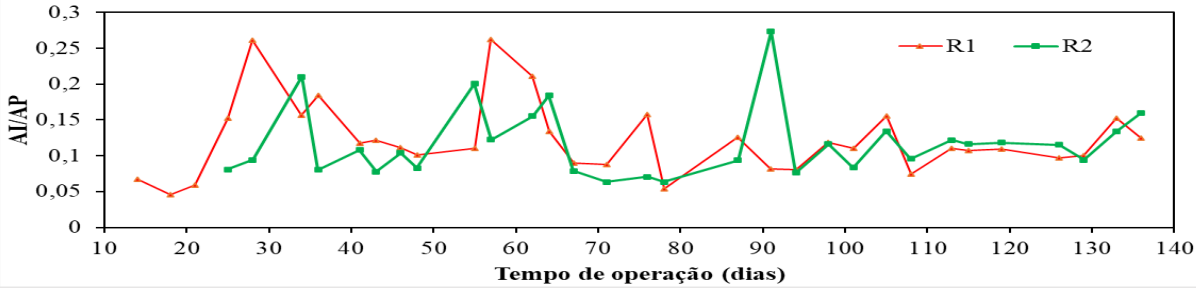


Fonte: os autores (2020)

A relação AI/AP é outro indicador importante da estabilidade do processo, valores de AI/AP abaixo de 0,3 são considerados ótimos para digestão anaeróbia no tratamento de águas residuais domésticas (RIPLEY *et al*., 1986). O valor médio observado nesse estudo para relação AI/AP foi de 0,12 variando conforme (Fig. 2), permanecendo na faixa recomendada.

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

Figura 2 – Relação alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade parcial (AI/AP)

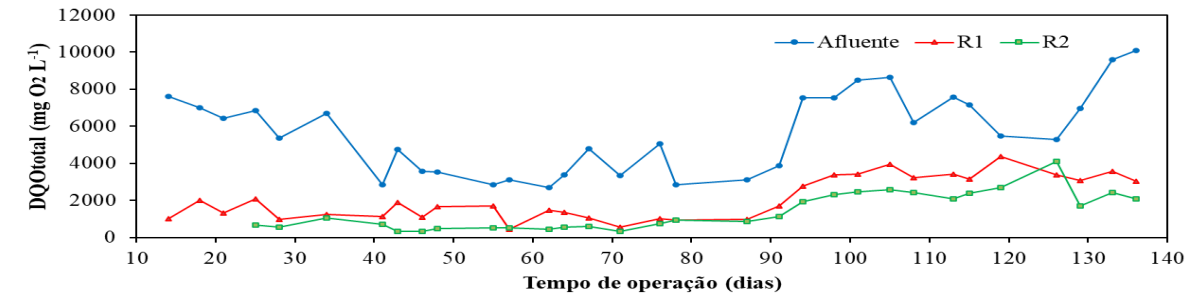


Fonte: os autores (2020)

3.2 Demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos

Os valores de DQOtotal variaram conforme (Fig. 3), e os valores médios foram de 5.636,15 mgO_2L^{-1} para o afluente sendo reduzido para 2.078,32 mgO_2L^{-1} (R1) e 1.376,92 mgO_2L^{-1} (R2) com médias de remoção de 62,86; 40,88 e 76,72% para R1, R2 e R1+R2, respectivamente, sendo os valores obtidos semelhantes aos encontrados por Barros; Duda e Oliveira, 2016, que após implementarem a recirculação do efluente, como descrito pelos autores, houve uma redução na eficiência de remoção da DQO, devido ao acumulo de compostos denominados recalcitrantes, que são de difícil biodegradação.

Figura 3 – Valores da demanda química de oxigênio (DQOtotal) para o afluente e efluentes dos reatores UASB, R1 e R2.



Fonte: os autores (2020)

A produção de biogás no tratamento da vinhaça e de extrema importância viabilizando a aplicação da digestão anaeróbia, apenas o R1 apresentou produção de gás, com concentração média de metano de 51,77%. Obteve-se como média uma produção volumétrica de 0,45 $LCH_4L^{-1}d^{-1}$ e uma produção específica de metano de 0,15 $LCH_4(gDQOremovido)^{-1}$ para o R1. Esse valor está abaixo do rendimento teórico calculado estequiometricamente, que é de 0,35 $LCH_4(gDQOremovido)^{-1}$, porem esses valores são semelhantes aos encontrados por Barros; Duda e Oliveira, 2016, onde a produção especifica de metano variou de 0,133 a 0,181 $LCH_4(gDQOremovido)^{-1}$ para o R1 de acordo com o aumento da COV.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de águas residuárias da bovinocultura leiteira como suplementação a vinhaça demonstra-se satisfatória, pois os resultados obtidos, corroboram com conceitos apresentados, quanto a estabilidade do processo. A recirculação do efluente se mostrou eficiente para adequação da COV e permanência da alcalinidade produzida durante a digestão anaeróbia, auxiliando na manutenção da estabilidade do processo, como indicado pela relação AVT/AT com média de 0,10 ± 0,08 e 0,07 ± 0,02 para R1 e R2 respectivamente e pela relação AI/AP com média de 0,12 ± 0,05 para os reatores R1 e R2.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington, 2005.

BARROS, V. G. DE; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. DE. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 3, p. 628–639, 2016.

BRUNO, M.; DE OLIVEIRA, R. A. Performance of uasb reactors in two stages followed by post-treatment with activated sludge in wastewater batch of wet-processed coffee. **Engenharia Agricola**, v. 33, n. 4, p. 808–819, 2013.

CONAMA Nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Data da legislação: 17/03/2005. **Publicação DOU nº 053**, de 18/03/2005, págs. 58-63

CUNHA, C. S. et al. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 744–754, 2016.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile Acids By Direct Titration. **Water Pollution Control**, v. 33, n. 4, p. 356–365, 1961.

GOMES, V. et al. Bioresource Technology Improved methane production from sugarcane vinasse with fi lter cake in thermophilic UASB reactors , with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, n. July, p. 371–381, 2017.

ORTEGÓN, G. P. et al. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 410–419, 2016.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **J. Water Pollut.** Control Fed. 58, 1986

UNICA, 2020. União da indústria de cana-de-açúcar. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2019/2020. http://www.unicadata.com.br (acessado em 05.10.20).

ZHAO, H. W.; VIRARAGHAVAN, T. Analysis of the performance of an anaerobic digestion system at the Regina wastewater treatment plant. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 3, p. 301–307, 2004.