



PRODUÇÃO DE GÁS METANO A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CASCA DE CAFÉ

Palavras-Chave: METANO, DIGESTÃO ANAERÓBIA, CASCA DE CAFÉ

Autores(as):

TZYY SHYUAN YANG, FEAGRI - UNICAMP

Prof. Dr. ARIOVALDO JOSÉ DA SILVA (orientador), FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O Brasil é o maior produtor mundial de café, seguido de Vietnã, Colômbia e Indonésia. Apenas em 2020, o Brasil produziu 63,4 milhões de sacas de café beneficiado, ou seja, é responsável por 30% da produção mundial (OIC, 2020). Nesse cenário, o estado de Minas Gerais é o maior produtor de café no país, seguido de Espírito Santo, São Paulo e Bahia (EMBRAPA, 2017). Nas culturas de café, é produzida cerca de 45% de resíduos do total de café colhido (VENTURIM, 2002). Durante o processo de beneficiamento na pós-colheita são gerados resíduos sólidos do café, como casca e polpa. Esses resíduos são, muitas vezes, amontoados em pilhas acarretando poluição de lençol freático, ar e solo onde são despejados (GÓMEZ-SALCEDO *et al.*, 2021).

Nesse contexto, como alternativa ao tratamento e disposição de casca de café, é proposto sua utilização na produção de biogás e biofertilizante. Por tudo isso, a digestão anaeróbia é uma tecnologia cuja função é reduzir a carga poluente do resíduo sólido e recuperar energia perdida. Diante disso, os resíduos agroindustriais são vantajosos à digestão anaeróbia devido ao seu alto teor de matéria orgânica, as quais são facilmente biodegradáveis (SARABIA *et al.*, 2017). Em relação ao café, o uso de seus resíduos sólidos como fonte de açúcar tem sido benéfico para a produção de biogás e de biocarvão, o qual favorece a absorção de metais pesados (PESHEVA *et al.*, 2018). Assim, com o aproveitamento de resíduos, há grande capacidade de evitar a decomposição do resíduo orgânico na natureza e posteriormente a propagação de gás metano, responsável pelo aquecimento global.

Considerando os desafios que envolvem resíduos agrícolas, a produção de gás metano tende a trazer benefícios por ser alternativa eficiente e barata com alto potencial energético. Diante disso, entende-se a importância e a necessidade de desenvolver projetos visando o reaproveitamento de resíduos sólidos provenientes das atividades agrícolas de forma sustentável reduzindo impactos ambientais, os quais são constantemente gerados quando os resíduos não são descartados e tratados de forma adequada. Neste projeto, propõe-se estudar a produção de gás metano por meio da digestão anaeróbia de casca de café. Para isso, foram realizados testes de fermentação em batelada, utilizando

casca de café como substrato, avaliar o rendimento e a produtividade específica de gás metano, como também, comparar com valores obtidos em trabalho anterior, realizado com o mesmo substrato.

METODOLOGIA:

O substrato orgânico para o processo de digestão anaeróbia é a casca de café seca, proveniente de uma propriedade rural localizada no município São Sebastião do Paraíso - MG. Antes de ser submetida ao processo de digestão anaeróbia, uma fração do resíduo foi seca ao ar, naturalmente, por um período de 72 h. Após a secagem, foram determinados os teores de sólidos totais (ST), fixos (STF) e voláteis (STV) no substrato.

Para inoculação dos reatores foi utilizado lodo proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) tratando efluente de um abatedouro de aves. Antes de serem submetidos ao processo de digestão anaeróbia, foram determinados os teores de sólidos totais e voláteis no Laboratório de Meio Ambiente e Saneamento (LMAS) da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP no campus Campinas - SP.

Para adaptação e desgaseificação foi adicionado ao inóculo o resíduo de casca de café em partículas com tamanho máximo 10 mm, em quantidade que resulte na relação $SV_{\text{substrato}}/SV_{\text{inóculo}}$ igual a 0,1 (Gómez-Salcedo *et al.*, 2021). Para digestão anaeróbia, foi utilizado frascos tipo Schott fechados com rolha de borracha impedindo a entrada de ar e a perda de biogás, envolto por papel alumínio para evitar interferência da luz e sob agitação manual uma vez ao dia para promover a desgaseificação e prevenir a formação de espuma, conforme a norma alemã VDI-4630 (VDI 2006). O experimento foi realizado em triplicata durante 30 dias, sem controle da temperatura, sendo que a primeira batelada foi feita entre março e abril e a segunda entre maio e junho de 2023.

Ainda conforme a referida norma, a quantidade de inóculo adicionada aos reatores deve corresponder de 1,5% a 2 % em peso de massa orgânica por volume de reator, expressa em sólidos voláteis. Dessa forma, em cada frasco foram adicionados 400 mL do lodo adaptado, prevendo-se o teor de sólidos totais de 3,5% e que 60% ou mais dessa fração corresponde aos sólidos voláteis. A quantidade de casca de café seca adicionada em cada reator variou de acordo com a relação $SV_{\text{substrato}}/SV_{\text{inóculo}}$ de 0,5 (Gómez-Salcedo *et al.*, 2021).

A fim de impedir entrada de ar e perda de biogás, os frascos foram fechados com rolhas de borracha, as quais foram atravessadas por um tubo de vidro para a conexão com do aparato de leitura do volume de biogás, ou seja, os eudiômetros confeccionados em vidro boro-silicato. A sua configuração permite a leitura do volume de gás por deslocamento de líquido, este sendo uma solução de NaCl 6N (350 g/L) para evitar a solubilidade dos gases CO_2 e CH_4 . Durante o processo de digestão anaeróbia o sistema foi mantido hermeticamente fechado e uma fita de papel milimetrado foi colada no corpo do eudiômetro, externamente, para permitir a leitura e a conversão do volume deslocado. O volume de biogás lido durante as bateladas foi convertido para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

As concentrações de CH₄ e CO₂ no biogás foram monitoradas duas vezes por semana em cromatógrafo gasoso marca Shimadzu modelo GC-2030. As concentrações de CH₄ e de CO₂ no biogás foram calculadas considerando ambos os gases como componentes principais no biogás e desprezando-se a presença de vapor d'água. Por fim, o rendimento de CH₄, foi calculado por meio da razão entre volume de CH₄ e sólidos voláteis aportados pelo substrato, enquanto a produtividade foi estipulada por meio do rendimento dividido pelo produto entre o volume do reator e os dias analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O experimento foi montado conforme Figura 1. Dos resultados obtidos da caracterização de sólidos totais voláteis de resíduos de casca de café e inóculo, segundo Tabela 1, os sólidos voláteis representam 81% e 5% respectivamente. Assim, o resíduo indica alto teor de matéria orgânica e de sólidos voláteis em base seca acima de 50% recomendado para uso como fonte de biomassa ao sistema (VDI 2006).

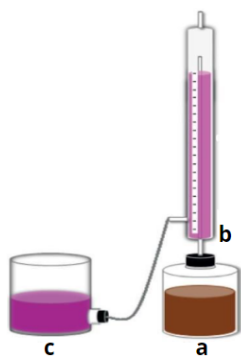


Figura 1 - Esquema do Aparato Experimental: Reator Anaeróbio (a), Eudiômetro (b) e Reservatório de Coleta de Líquido (c) - Fonte: VID-4630.

Tabela 1 - Caracterização de sólidos totais			
Material	ST (g/g)	STF (g/g)	STV (g/g)
Casca de café	0,8736	0,0671	0,8065
Lodo de abatedouro de ave	0,0605	0,009	0,0515

Tabela 1 - Concentração de metano na evolução de biodegradabilidade anaeróbia com resíduo de casca de café.

Em seguida, foi feita a análise do potencial de concentração de CH₄ e CO₂ de cada reator do início ao fim de cada batelada, observou-se que na primeira batelada o metano atingiu a maior concentração em média 75,23% (mol x mol) no 18° dia do teste, enquanto a segunda batelada atingiu o pico no 11° dia do teste tendo em média 46,37% (mol x mol) conforme Figura 2. As duas bateladas foram realizadas em ambiente sem controle de temperatura e sob agitação manual uma vez a cada dois dias e sem pré-tratamento de substrato. Portanto, de acordo com Figura 3, foi notável a interferência de temperatura conforme o efeito da sazonalidade climática no rendimento de biogás.

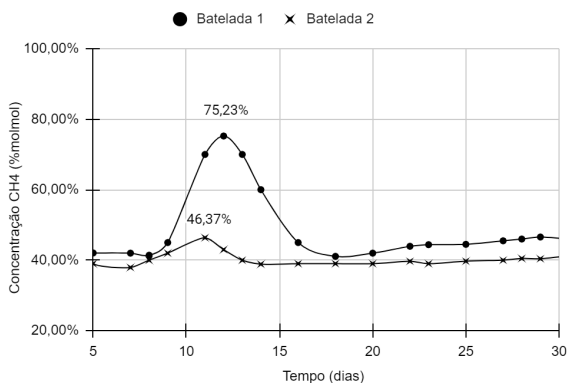


Figura 2 - Concentração de metano na evolução de biodegradabilidade anaeróbia com resíduo de casca de café.

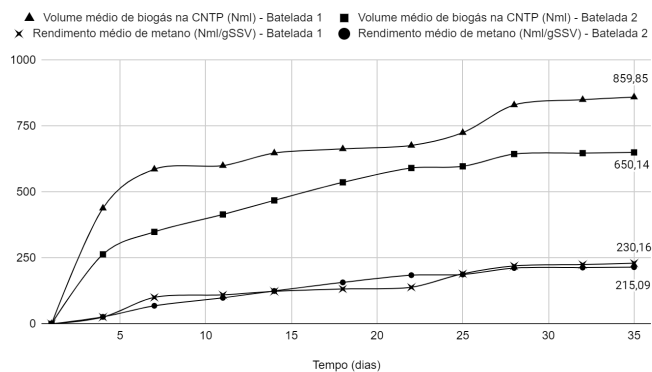


Figura 3 - Rendimento de biogás e gás metano na evolução de biodegradabilidade anaeróbia com resíduo de casca de café

Segundo Gómez-Salcedo *et al.* (2021), o rendimento de metano em polpa fresca de café foi de 259,80 Nml/g SSV, em polpa de café armazenado foi de 127,81 Nml/g SSV e casca de café seco ao ar livre foi de 153,33 Nml/g. Além disso, conforme Neves *et al.* (2006), o desempenho com resíduos de processo de produção de café solúvel variou entre 240 e 280 Nml/g SSV. Diante disso, o rendimento da primeira e segunda batelada foram similares, sendo 230,16 Nml/g SSV e 215,09 Nml/g SSV, respectivamente, sendo valores superiores aos da Gómez-Salcedo *et al.* (2021) que também utilizou a casca de café seco ao ar como substrato.

Nesse contexto, na primeira batelada realizada em março e abril de 2023, a variação de temperatura ambiente durante a digestão anaeróbia foi de 22,4°C a 27,7°C enquanto na segunda batelada feita em maio e junho, a temperatura ambiente variou entre 18°C e 23,8°C. A temperatura é um fator que interfere diretamente a atividade dos microrganismos anaeróbios de forma mais sensível comparado aos aeróbios, ou seja, geralmente os reatores de digestão anaeróbia são operados entre 30°C e 37°C. Apesar disso, os reatores ainda conseguem funcionar adequadamente a baixas temperaturas, todavia, é necessário longo período de contato entre o lodo e o substrato (RODRIGUES & RATUSZNEI, 2005).

Além disso, levando em consideração a estrutura complexa lignocelulósica da casca de café e a concentração de compostos fenólicos livres do substrato durante o tempo de armazenamento de resíduo, houve alteração gradual da textura, homogeneidade e interferência na produção de metano indicando menor biodegradabilidade anaeróbia do resíduo (GÓMEZ-SALCEDO *et al.*, 2021). Isso porque a lignocelulose possui uma estrutura compacta, devido aos polissacarídeos e à hemicelulose, além da polimerização e a cristalinidade da celulose, por isso são resistentes a interferentes enzimáticos e hidrolíticos (MENDES *et al.*, 2012).

Portanto, a presença de lignocelulose nas cascas de café tem apresentado limitações para a digestão anaeróbia nas duas bateladas realizadas. Nesse sentido, a aplicação de um pré-tratamento na lignocelulose possibilita a disponibilidade de açúcares fermentescíveis por meio da celulose e da hemicelulose, a qual beneficia a digestão anaeróbia (GUERI *et al.*, 2021). Além disso, o efeito do processo de pré-tratamento tende a aumentar tanto o volume de poros quanto a área superficial de contato entre o inóculo e substrato (SUN & CHENG, 2002).

CONCLUSÕES:

Conforme os experimentos feitos, os testes com casca de café neste projeto apresentaram capacidade metanogênica satisfatória demonstrando que o resíduo é um potencial substrato para produção de metano por digestão anaeróbia. Nas duas bateladas realizadas, foi notável a variação na produção de biogás de acordo com as condições do substrato e do ambiente onde foi realizada a digestão. Apesar disso, a presente pesquisa obteve resultados similares aos dados obtidos em trabalhos anteriores realizados com o mesmo substrato.

Nesse sentido, foi possível analisar os fatores favoráveis e desfavoráveis que influenciaram a geração de produção de biogás. Portanto, cabe ressaltar que, para futuros trabalhos, é possível

realizar experimentos com o controle de tempo e condição de armazenamento de substrato, de temperaturas e de agitação automática durante a digestão anaeróbia, como também, a aplicação de diferentes métodos de pré-tratamento e adição de determinado co-substrato na co-digestão a fim de aprimorar digestibilidade dos materiais visando aumento de produção de gás metano.

BIBLIOGRAFIA

- EMBRAPA. **Seis maiores estados produtores dos Cafés do Brasil atingiram 98% do volume da safra de 2017**. Observatório Agrícola Acompanhamento da Safra Brasileira Café, 2017.
- GÓMEZ-SALCEDO, Yunet; BAQUERIZO-CRESPO, Ricardo; DA SILVA, Ariovaldo José; OLIVA-MERENCIO, Deny; PEREDA-REYES, Ileana. **Digestión anaerobia de residuales sólidos del beneficio húmedo del café**. Rev. Int. Contam. Ambie. 37, 281-292, 2021.
- GUERI, Matheus Vitor Diniz; SCHIRMER, Waldir Nagel; TORRES, Luan Matheus Gonçalves; FURTADO, Andreia Cristina. **Pré-tratamentos de resíduos lignocelulósicos visando ao aumento da geração de metano nos processos de digestão anaeróbia: uma revisão**. Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia. Paraná, 2021. ISSN: 2447-0740.
- MENDES, T. D.; PACHECO, F. B. T.; CARVALHO; F. B. P.; NAKAI, D. K.; RODRIGUES, D. S.; MACHADO, C. M. M.; AYRES, M. **Avaliação de diferentes pré-tratamentos para desconstrução da biomassa lignocelulósica**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 19., 2012, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro: Búzios, 2012. p. 1 – 9.ISSN 2178-3659.
- NEVES L.; OLIVEIRA R.; ALVES M. **Anaerobic codigestion of coffee waste and sewage sludge**. Waste Manage. 26, 176-181. 2006.
- OIC. **Dados estatísticos da Organização Internacional de Café**. Informe de mercado de café. Londres, Reino Unido, 2020.
- PESHEVA D.; MITEV, D.; PEEVAC, L.; PEEVA, G. **Valorization of spent coffee grounds: A new approach**. Sep. Purif. Technol. 192, 271-277, 2018.
- RODRIGUES, José Alberto Domingues; RATUSZNEI, Suzana Maria. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias**. Texto de apoio didático. Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2005.
- SARABIA, M.A.; LAINES, J.R; SOSA, J.A.; ESCALANTE, E. **Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales**. Rev. Int. Contam. Ambie. 33 (1), 109-116, 2019.
- SUN, Y.; CHENG, J.; **Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review**. Bioresource Technology, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.
- VDI (2006). VDI-4630. **Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf, Alemanha.
- VENTURIM, J. B. **Gestão de resíduos orgânicos produzidos no meio rural: o caso do beneficiamento do café**. 2002. 123 f. Tese, Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis, 2002.