



# AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO PH DURANTE O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE COPRODUTOS DO CAMBUCI

Palavras-Chave: Biomassa; Bioenergia; Biogás; Valorização Energética;

Autores(as):

Carlos Stephano da Silva Gomes Nuovi [FEEC – UNICAMP]

Larissa Castro Ampese [FEA- UNICAMP]

Henrique Di Domenico Ziero [FEA- UNICAMP]

Luana R. R. Fröner-Lacerda [FEA- UNICAMP]

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Forster-Carneiro (orientador/a) [FEA – UNICAMP]

## INTRODUÇÃO:

No Brasil a indústria de alimentos é uma das mais significativas, correspondendo a quase 10% do PIB nacional em 2019 (ABIA, 2020). No entanto, seus resíduos nem sempre recebem tratamento adequado, ocasionando problemas ambientais (MARGALLO et al., 2019), liberando gases de efeito estufa, aumentando a propagação de doenças e gerando chorume, que pode contaminar solo e lençóis freáticos (DAS et al., 2019). Com a utilização de tecnologias de recuperação energética a partir de resíduos é possível diminuir sua carga orgânica e produzir bioenergia, biocombustíveis e produtos de valor agregado (MACIEL-SILVA; MUSSATTO; FORSTER-CARNEIRO, 2019).

O Cambuci (*Campomanesia phaea* Berg.) é um fruto brasileiro da Mata Atlântica (**Figura 1**), com alto potencial produtivo (Taver et al., 2022). O cambuci cresce principalmente em Minas Gerais e São Paulo. Os frutos são carnosos, suculentos e comestíveis, com diâmetro entre 5 e 6 cm (Vallilo et al., 2005). O cambuci é suculento, tem odor adocicado e sabor ácido, sendo utilizado na preparação de compotas, geleias, sorvetes e licores, tendo um rendimento de polpa de cerca de 80% (Taver et al., 2022). O cambuci tem aproximadamente 80% de polpa, 18% de casca e 1% de sementes (Vallilo et al., 2005). A polpa é de interesse no processamento industrial, no entanto, a casca e as sementes não foram objeto de estudos aprofundados.



Figura 1. Frutos de Cambuci

Fonte:

<https://www.caraguatatuba.sp.gov.br/pmc/2019/06/pesm-realiza-viii-festival-gastronomico-do-cambuci-com-diversas-atracoes-e-trilha-gratuita-para-comunidade/>

Devido à sua composição, o coproduto consiste em uma fonte de com potencial para obtenção de energia renovável (SAWATDEENARUNAT et al., 2015). Resíduos lignocelulósicos são desafiadores devido a presença de lignina, que confere resistência à degradação do material prevenindo sua destruição por parte dos microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia (ABIA, 2020; CHANDRA; TAKEUCHI; HASEGAWA, 2012). Pré-tratamentos poderiam ser utilizados para contornar essas dificuldades, entretanto apresentam custos elevados e produzem contaminantes o que inviabiliza sua utilização em maiores escalas.

A digestão anaeróbia promove a biodegradação do resíduo e a produção de biogás, contendo metano ( $\text{CH}_4$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) (LI; CHEN; WU, 2019), sendo o  $\text{CH}_4$  e o  $\text{H}_2$  considerados vetores de energia no futuro. O biogás gerado na biodegradação da matéria orgânica pode ser aproveitado como fonte para a produção de energia elétrica ou térmica através da conversão do  $\text{CH}_4$  em  $\text{CO}_2$  e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pela combustão (AMPESE et al., 2021).

A digestão anaeróbia é amplamente utilizada para o tratamento de efluentes líquidos municipais e da indústria de alimentos (MACIEL-SILVA; MUSSATTO; FORSTER-CARNEIRO, 2019). Utilizando-se a DA seca (operada com pelo menos 15% de teor de sólidos totais) é possível realizar o tratamento de maiores cargas de resíduos usando menores volumes de reator, viabilizando a produção de biogás, e, portanto, a obtenção de energia elétrica e térmica (ATELGE et al., 2020). Essa abordagem auxilia a transição para uma matriz energética ambientalmente favorável, tópico de interesse mundial, além de propiciar a diminuição da necessidade de fertilizantes pelo uso do digestato como biofertilizante, diminuindo danos associados ao uso de fertilizantes químicos bem como à disposição de coprodutos em aterros, incineração ou compostagem.

Para a rota de digestão anaeróbia existem diversos parâmetros operacionais que precisam ser observados, como temperatura, pH, tempo de detenção hidráulica, entre outros. O pH afeta diretamente o crescimento microbiano, favorecendo a reprodução de determinados tipos de microrganismos em detrimento de outros. A produção de metano e outros mecanismos importantes que ocorrem no digestor são regidas pelo pH em que ele é operado, sendo que os microrganismos metanogênicos têm um intervalo de pH ótimo entre 7,0 e 8,0. Neste trabalho será observada a evolução do pH e sua relação com a produção de biogás e metano no reator de digestão anaeróbia alimentado com coprodutos de Cambuci.

## **METODOLOGIA:**

O estudo foi conduzido no Laboratório de Bioengenharia e Tratamento de Águas e Resíduos (BIOTAR) na Unicamp – Campinas/SP. Todas as amostras foram analisadas em triplicatas de acordo com os protocolos descritos nos *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA). O pH das amostras foi verificado à temperatura ambiente com um medidor de pH digital (Satra, modelo PHS-3E-PI) e o pH do digestor foi corrigido por adição de alcalinizante quando necessário. A composição do

biogás foi analisada utilizando um cromatógrafo de gás (GC) (Shimadzu®, modelo GC 2014) equipado com um detector de condutividade térmica (TCD). O coproduto de Cambucí utilizado no experimento foi doado por uma empresa de alimentos do estado de São Paulo - Brasil.

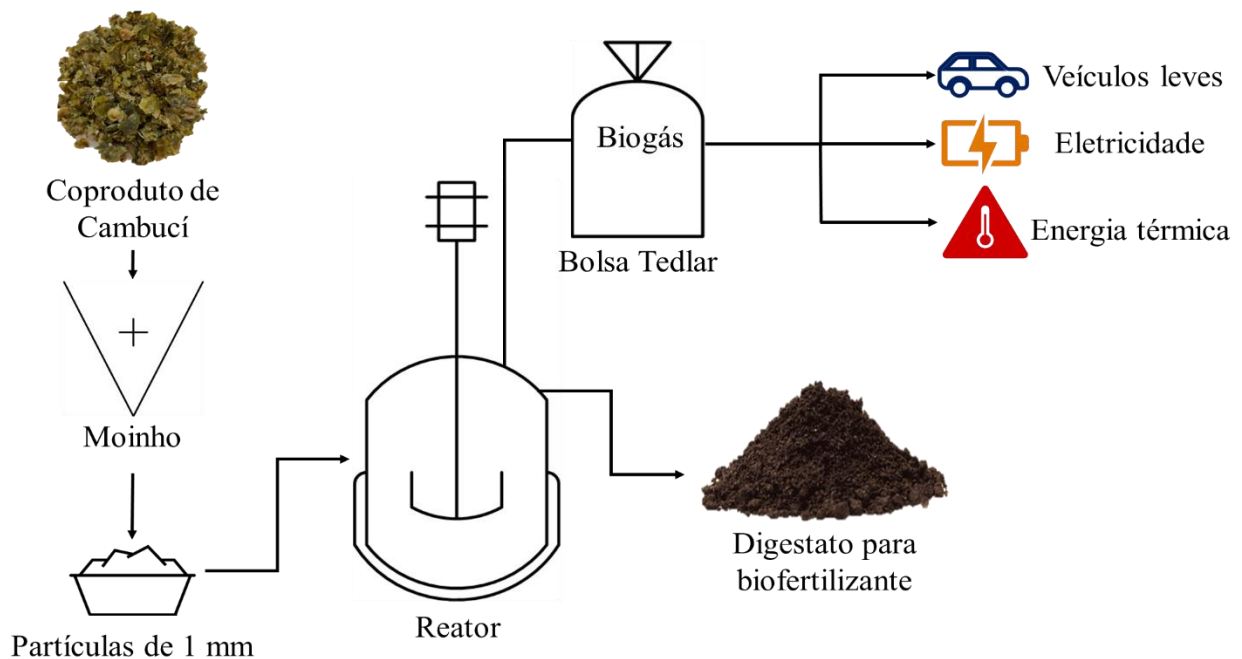


Figura 2. Representação simplificada do experimento conduzido no laboratório BIOTAR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Nos 42 dias de experimento o pH oscilou de aproximadamente 7 a 9. Durante o experimento o pH se manteve quase sempre acima de 7, chegando a quase 9 no 24º dia de digestão. O maior percentual de metano foi de 85% quando o pH estava em aproximadamente 7,8. Os melhores resultados de porcentagem de metano foram obtidos quando o pH estava em uma faixa entre 7,5 e 8. Essa faixa de pH neutra é indicada para produção de metano na digestão anaeróbia favorecendo a metanogênese (AMPESE, L. C. et al). Outros estudos que usaram essa faixa de pH para digestão anaeróbia obtiveram altos percentuais de metano (NÁTHIA-NEVES. et al). A **Figura 3** representa a variação de pH entre o dia 0 e o dia 42 de experimento.

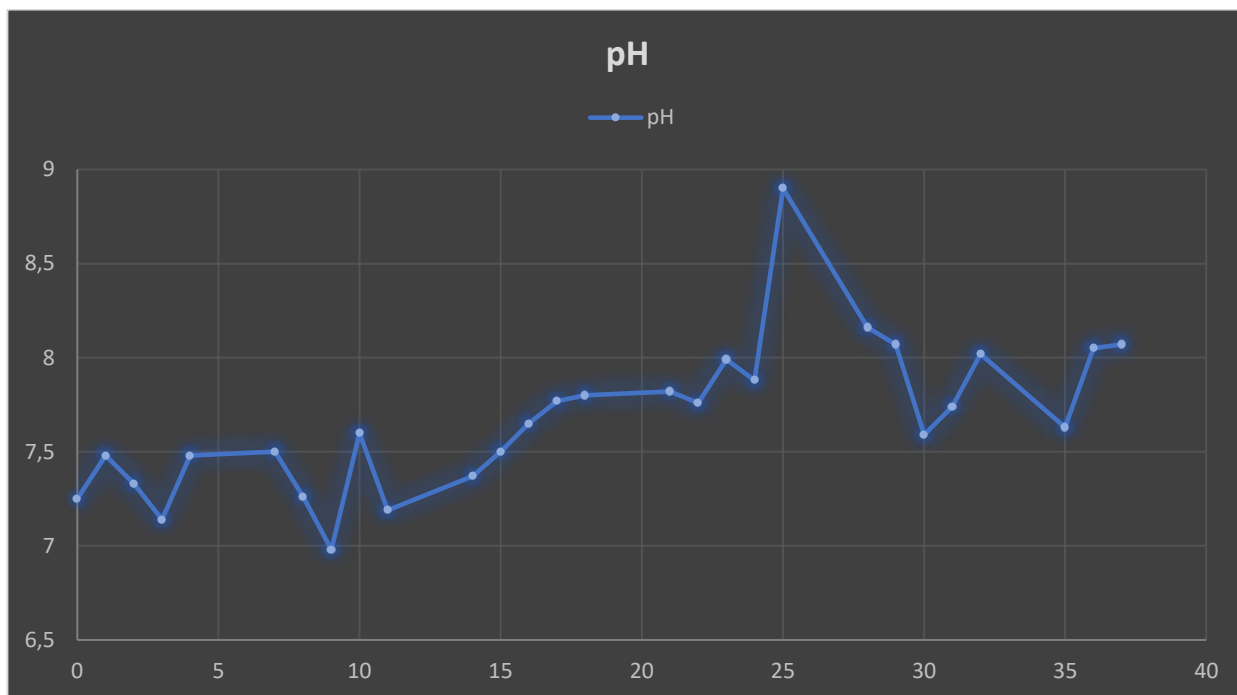


Figura 3. Evolução do pH do reator de digestão anaeróbia ao longo do experimento.

A partir do biogás gerado na digestão anaeróbia é possível obter energia elétrica e térmica que podem retornar para a indústria, suprimindo parte da energia demandada nas suas atividades (**Figura 4**).

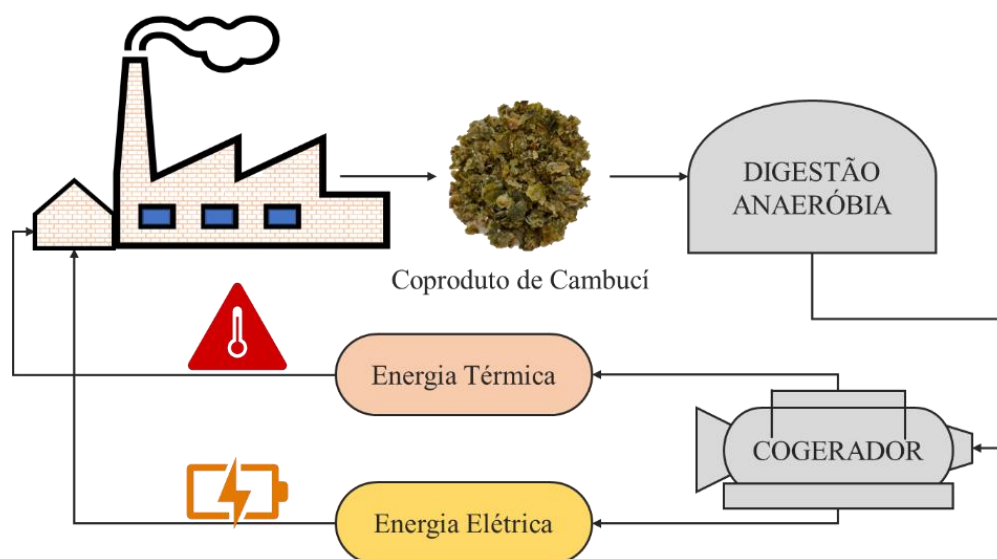


Figura 4. Representação esquemática da recuperação energética para a indústria a partir da digestão anaeróbia de coproduto de Cambuci.

Além disso, a fração de material sólido remanescente no reator pode ser utilizada como biofertilizantes, diminuindo o consumo de fertilizantes químicos em plantações (GUSTAVO, W. et al).

## CONCLUSÕES:

Em conclusão, os resultados deste estudo corroboram com pesquisas anteriores, evidenciando a ocorrência da metanogênese em faixas de pH entre 7,0 e 8,0. Esses achados reforçam a viabilidade da digestão anaeróbia como uma rota eficiente para o tratamento de coprodutos de Cambuci, proporcionando a valorização de biomassa e a transformação de resíduos em produtos de elevado valor agregado. A produção de biogás, especialmente rico em metano, emerge como uma fonte potencial de energia elétrica e térmica. Essa abordagem demonstra um importante avanço rumo à sustentabilidade, ao mesmo tempo em que reduz a dependência de fontes não renováveis de energia.

## BIBLIOGRAFIA

ABIA. **Números do setor de alimentos - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2020.**

AMPESE, L. C. et al. Valorization of Macaúba husks from biodiesel production using subcritical water hydrolysis pretreatment followed by anaerobic digestion. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105656, ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105656>.

ATELGE, M. R. et al. A critical review of pretreatment technologies to enhance anaerobic digestion and energy recovery. **Fuel**, v. 270, p. 117494, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117494>.

CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1462–1476, abr. 2012. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.11.035>.

DAS, S. et al. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. **Journal of cleaner production**, v. 228, p. 658–678, 2019.

LI, Y.; CHEN, Y.; WU, J. **Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review. Applied Energy**. In: APPLIED ENERGY. , 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.243>.

MARGALLO, M. et al. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. **Science of the Total Environment**, p. 1255–1275, 2019.

MACIEL-SILVA, F. W.; MUSSATTO, S. I.; FORSTER-CARNEIRO, T. Integration of subcritical water pretreatment and anaerobic digestion technologies for valorization of açai processing industries residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1131–1142, 2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.362>.

SAWATDEENARUNAT, C. et al. **Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. Bioresource Technology**. 2015.

Sganzerla, W.G.; Costa, J.M.; Tena-Villares, M.; Buller, L.S.; Mussatto, S.I.; Forster-Carneiro, T. Dry Anaerobic Digestion of Brewer's Spent Grains toward a More Sustainable Brewery: Operational Performance, Kinetic Analysis, and Bioenergy Potential. **Fermentation** **2023**, 9, 2. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010002>

Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G. et al. Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. **Int. J. Environ. Sci. Technol.** **15**, 2033–2046 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1682-2>

Taver, I.B.; Spricigo, P.C.; Neto, H.B.; de Alencar, S.M.; Massarioli, A.P.; Jacomino, A.P. Bioactive Compounds and In Vitro Antioxidant Capacity of Cambuci and Uvaia: An Extensive Description of Little-Known Fruits from the Myrtaceae Family with High Consumption Potential. **Foods** **2022**, 11, 2612. <https://doi.org/10.3390/foods11172612>

Vallilo, M. I., Garbelotti, M. L., Oliveira, E. de ., & Lamardo, L. C. A.. (2005). Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). **Revista Brasileira De Fruticultura**, 27(2), 241–244. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000200014>