



VALORIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ NA PRODUÇÃO DE BIOCHAR COMO ADITIVO PARA INTENSIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Júlia B. Garcia¹;

Schirlei V. Rossa¹.

¹Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – Novo Hamburgo – RS juliablumeg@gmail.com

Palavras-Chave: Digestão anaeróbia, Metano, Economia circular.

Introdução

O crescimento das atividades agroindustriais tem intensificado a geração de resíduos orgânicos, tornando sua destinação adequada um dos principais desafios ambientais da atualidade. O descarte inadequado desses resíduos favorece sua decomposição descontrolada, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano (CH_4), cujo potencial de aquecimento global é significativamente superior ao do dióxido de carbono (CO_2). Nesse cenário, a valorização de resíduos agroindustriais por meio da economia circular surge como uma estratégia sustentável, capaz de reduzir impactos ambientais e agregar valor à materiais anteriormente considerados rejeitos.

Entre os resíduos lignocelulósicos disponíveis no Brasil, destaca-se o caroço de açaí, que representa aproximadamente 80% da massa do fruto e é gerado em grandes quantidades devido ao elevado consumo e à crescente exportação da polpa. Apesar de sua ampla disponibilidade, grande parte desse resíduo ainda é descartada de forma inadequada, ocasionando problemas ambientais e desperdício de um material rico em lignina e carbono. Essas características tornam o caroço de açaí uma matéria-prima promissora para a produção de biochar, um material carbonáceo obtido pela pirólise da biomassa sob ausência ou limitação de oxigênio.

O biochar apresenta elevada estabilidade química, estrutura porosa e área superficial desenvolvida, propriedades que possibilitam sua aplicação em diferentes áreas, incluindo processos ambientais e biotecnológicos. Nos últimos anos, sua utilização como aditivo em sistemas de digestão anaeróbia tem despertado interesse devido à capacidade de favorecer a formação de biofilmes microbianos, adsorver compostos potencialmente inibidores e facilitar a transferência direta de elétrons entre microrganismos. Esses mecanismos contribuem para o aumento da atividade microbiana e da estabilidade do processo, refletindo em maior eficiência na produção de biogás.

A digestão anaeróbia constitui uma tecnologia consolidada para o tratamento de resíduos orgânicos e para a produção de energia renovável, uma vez que converte matéria orgânica em biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono. Entretanto, a eficiência



desse processo pode ser limitada por fatores como oscilações de pH, acúmulo de substâncias inibidoras e instabilidade das comunidades microbianas. Dessa forma, a incorporação de materiais que promovam melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos representa uma alternativa promissora para otimizar o desempenho dos biodigestores.

Embora diversos estudos demonstrem os benefícios da aplicação de biochar na digestão anaeróbia, ainda são escassas as pesquisas práticas e pesquisas que avaliam especificamente o biochar produzido a partir do caroço de açaí e sua influência sobre a produção de biogás. Assim, este trabalho se justifica pela necessidade de desenvolver alternativas sustentáveis para o aproveitamento desse resíduo abundante, contribuindo simultaneamente para a redução dos impactos ambientais causados por seu descarte e para o aprimoramento de tecnologias de geração de energia renovável. Além de agregar valor a um subproduto agroindustrial, a pesquisa está alinhada aos princípios da economia circular e ao desenvolvimento de soluções ambientalmente responsáveis para o setor energético.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é produzir biochar a partir do caroço de açaí e avaliar sua aplicação como aditivo em biodigestores anaeróbios, investigando sua influência na intensificação e qualidade da produção de biogás e na estabilidade do processo de digestão anaeróbia, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis para a valorização de resíduos lignocelulósicos e a produção de energia renovável.

Material e Métodos

O biochar foi produzido a partir de caroços de açaí adquiridos comercialmente. A biomassa foi lavada em água corrente, seca em estufa a 200 °C por 2 h e triturada mecanicamente para obtenção de granulometria uniforme. O material foi acondicionado em cadinhos de porcelana com tampa e submetido à pré-queima em forno mufla a 200°C por 1 h, seguida de outra queima a 250°C por mais 1 h. Posteriormente, realizou-se a calcinação a 500°C durante 3 h. Após o tratamento térmico, o biochar foi resfriado em dessecador, pesado para determinação do rendimento e armazenado em recipiente hermético.

A caracterização do biochar incluiu a determinação de pH, condutividade elétrica, densidade aparente, porosidade, umidade, materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo. O pH foi determinado em suspensão aquosa utilizando potenciômetro, enquanto a condutividade elétrica foi medida em extrato aquoso por condutivímetro. A densidade aparente foi obtida pela relação entre massa e volume do material seco, e a porosidade foi estimada pelo método de saturação com água. A umidade foi determinada por método gravimétrico até massa constante. Os materiais voláteis e o teor de cinzas foram determinados em forno mufla, sendo o carbono fixo calculado por diferença a partir dos resultados de umidade, materiais voláteis e cinzas.

Os ensaios de digestão anaeróbia foram conduzidos em biodigestores de bancada operando em sistema de batelada, contendo lodo ativado proveniente da Cooperativa Ecocitrus e biochar como aditivo. Os reatores foram constituídos por frascos de vidro borossilicato conectados a um sistema de medição do potencial bioquímico de metano (BMP) por deslocamento de solução salina acidificada (pH 2). A composição do biogás foi determinada



por analisador portátil disponibilizado pela Ecocitrus utilizando reatores confeccionados com garrafas PET.

Os biodigestores permaneceram em caixa térmica contendo água, com temperatura controlada por aquecedor de aquário acoplado a termostato. O delineamento experimental foi composto por quatro tratamentos contendo 0% (controle), 5%, 8% e 15% de biochar. Durante o experimento foram monitorados a temperatura, o volume acumulado de biogás e o tempo de estabilização da produção. Os resultados foram comparados entre os tratamentos para avaliar a influência da adição de biochar na produção e na qualidade do biogás.

Resultados e Discussão

Inicialmente, foi realizado um ensaio preliminar para compreender o funcionamento do sistema experimental e definir as condições operacionais mais adequadas dos biodigestores. Nesse experimento, cada reator recebeu 450 mL de inóculo, correspondendo a aproximadamente 90% da capacidade total do biodigestor (500 mL), restando apenas 10% de headspace para o acúmulo de biogás. Foram avaliados quatro tratamentos contendo 0% (controle), 2%, 5% e 8% de biochar.

Durante a operação observou-se produção de biogás superior à capacidade prevista para o sistema de medição. O reduzido volume de *headspace* ocasionou rápido deslocamento da solução salina acidificada utilizada para determinação do potencial bioquímico de metano (BMP). A solução, inicialmente dimensionada para aproximadamente quinze dias de monitoramento, foi totalmente deslocada em apenas quatro dias, impossibilitando o acompanhamento da estabilização da digestão anaeróbia.

As medições foram realizadas após 1, 2 e 4 dias de operação. Os volumes registrados corresponderam apenas ao biogás produzido em cada intervalo, sendo o volume total obtido pela soma das três medições (Tabela 1).

Tabela 1 – Produção de biogás obtida no ensaio preliminar

Tratamento	Dia 1 (mL)	Dia 2 (mL)	Dia 4 (mL)	Total (mL)
0%	144mL	342mL	332mL	818mL
2%	133mL	246mL	250mL	629mL
5%	139mL	336mL	322mL	797mL
8%	130mL	360mL	354mL	844mL

O tratamento contendo 8% de biochar apresentou a maior produção acumulada (844 mL), seguido pelo controle (818 mL), 5% (797 mL) e 2% (629 mL). Entretanto, esses resultados não foram considerados representativos devido às limitações operacionais observadas.

O ensaio permitiu identificar duas adaptações metodológicas sendo elas aumentar o volume de *headspace* para evitar o esgotamento precoce da solução salina e calcular a concentração de biochar em relação ao volume de inóculo, e não ao volume total do biodigestor, uma vez que o biochar interage diretamente com a biomassa microbiana. Assim, o segundo



experimento foi conduzido com 150 mL de inóculo, correspondentes a 30% da capacidade do biodigestor, aumentando o *headspace* para aproximadamente 70% e possibilitando o monitoramento da digestão anaeróbia durante 18 dias.

Foram avaliados quatro tratamentos contendo 0% (controle), 5%, 8% e 15% de biochar, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Produção de biogás no segundo experimento.

Tratamento	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 6	Dia 8	Dia 10	Dia 14	Dia 18	Total (mL)
0%	202mL	60mL	55mL	18mL	42mL	75mL	155mL	170mL	777mL
5%	280mL	134mL	77mL	29mL	125mL	10mL	80mL	70mL	805mL
8%	232mL	60mL	43mL	29mL	32mL	10mL	110mL	220mL	736mL
15%	200mL	54mL	25mL	5mL	34mL	2,5mL	35mL	90mL	445,5mL

Todos os tratamentos apresentaram produção de biogás, evidenciando adequada atividade microbiológica do inóculo. O tratamento contendo 5% de biochar apresentou a maior produção acumulada (805 mL), seguido pelo controle (777 mL), 8% (736 mL) e 15% (445,5 mL). Esses resultados indicam que concentrações intermediárias de biochar favoreceram o desempenho da digestão anaeróbia, enquanto concentrações elevadas não promoveram ganhos adicionais.

O menor desempenho observado no tratamento contendo 15% de biochar sugere que o excesso do material pode alterar as características do meio reacional e comprometer o equilíbrio da comunidade microbiana. Embora o biochar atue como suporte para colonização microbiana, adsorvente de compostos inibidores e facilitador da transferência direta de elétrons, sua utilização em concentrações elevadas pode reduzir esses benefícios, indicando a existência de uma concentração ótima para maximizar a produção de biogás.

Também foram observadas oscilações na produção ao longo do experimento, comportamento esperado em sistemas de digestão anaeróbia devido ao equilíbrio entre as etapas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Essas variações refletem a adaptação da comunidade microbiana às condições do meio e à disponibilidade de substrato. No tratamento contendo 5% de biochar verificou-se maior estabilidade da produção em relação aos demais tratamentos, sugerindo que o material favoreceu condições mais adequadas ao desenvolvimento dos microrganismos. Esse comportamento está de acordo com a literatura, que atribui ao biochar elevada capacidade tamponante, formação de biofilmes, adsorção de compostos inibidores e favorecimento da transferência direta de elétrons (DIET), promovendo maior estabilidade operacional dos biodigestores.

As adaptações realizadas após o ensaio preliminar mostraram-se fundamentais para o sucesso do experimento, permitindo acompanhar todo o período de digestão anaeróbia e fornecer resultados mais confiáveis para comparação entre os tratamentos. A caracterização físico-química do biochar produzido a 500 °C é apresentada na Tabela 3. **Tabela 3 – Caracterização físico-química do biochar produzido a 500 °C.**



Parâmetro	Resultado obtido	Faixa/valor desejável
pH	11,09	alcalino ($\approx 8-11$)
Densidade aparente	0,4502 g/mL	0,20–0,60 g/mL
Porosidade	55,24%	>40%
Umidade	3,43%	<10%
Materiais voláteis	30,45%	15–35% (500 °C)
Cinzas	18,65%	5–25%
Carbono fixo	47,47%	>45%
Condutividade elétrica	3190 $\mu\text{S/cm}$	sem valor ideal único
TDS	372 ppm	sem valor de referência

A caracterização físico-química demonstrou que o biochar produzido apresentou propriedades adequadas para aplicação em biodigestores anaeróbios. O pH de 11,09 evidencia caráter alcalino, favorecendo a capacidade tamponante do sistema e reduzindo oscilações de pH durante a digestão anaeróbia. A densidade aparente (0,4502 g/mL) e a porosidade (55,24%) estão de acordo com valores descritos para biochars de biomassas lignocelulósicas, favorecendo a formação de biofilmes, a adsorção de compostos potencialmente inibidores e a transferência direta de elétrons (DIET).

A umidade (3,43%), os teores de materiais voláteis (30,45%), cinzas (18,65%) e carbono fixo (47,47%) encontram-se dentro das faixas relatadas para biochars produzidos em torno de 500 °C, indicando adequada carbonização da biomassa. A condutividade elétrica (3190 $\mu\text{S/cm}$) demonstra a presença de minerais que podem favorecer o metabolismo microbiano sem causar efeitos inibitórios.

Esses resultados corroboram o desempenho observado nos biodigestores, nos quais o tratamento contendo 5% de biochar apresentou a maior produção de biogás e maior estabilidade operacional, indicando que suas propriedades físico-químicas favoreceram o desenvolvimento da comunidade microbiana e a eficiência da digestão anaeróbia.

A pesquisa, entretanto, ainda se encontra em desenvolvimento. Como etapa seguinte, será produzido um biochar a 400 °C, que será caracterizado pelos mesmos métodos e avaliado em biodigestores nas mesmas condições experimentais. Os resultados serão comparados aos obtidos para o biochar produzido a 500 °C, permitindo avaliar a influência da temperatura de pirólise sobre as propriedades do material e identificar a condição mais eficiente para intensificar a produção de biogás. Posteriormente, os tratamentos serão encaminhados à Cooperativa Ecocitrus para análise da composição do biogás por meio de analisador portátil, possibilitando determinar a porcentagem de metano e verificar se a utilização do biochar promove melhoria na qualidade energética do biogás, além do aumento de sua produção.



Conclusões

Os resultados preliminares obtidos demonstram que o biochar produzido a partir do caroço de açaí apresenta potencial para aplicação como aditivo em biodigestores anaeróbios, contribuindo para a intensificação do processo de digestão anaeróbia. Entre os tratamentos avaliados, a concentração de 5% de biochar proporcionou a maior produção acumulada de biogás, indicando que concentrações intermediárias favorecem o desempenho do sistema, enquanto concentrações mais elevadas podem reduzir sua eficiência.

A caracterização físico-química evidenciou que o biochar apresentou propriedades compatíveis com sua aplicação em biodigestores, destacando-se o pH alcalino, a elevada porosidade e o teor de carbono fixo, características que favorecem a estabilidade operacional do processo, a formação de biofilmes microbianos e a mitigação de compostos potencialmente inibidores. Esses resultados reforçam o potencial do material para atuar como suporte ao desenvolvimento da comunidade microbiana responsável pela produção de biogás.

Além dos benefícios relacionados ao desempenho do processo, o aproveitamento do caroço de açaí representa uma alternativa sustentável para a valorização de um resíduo agroindustrial amplamente disponível no Brasil, agregando valor a um subproduto de baixo aproveitamento e contribuindo para os princípios da economia circular e da geração de energia renovável.

Como a pesquisa ainda se encontra em desenvolvimento, serão produzidos e caracterizados biochars obtidos a diferentes temperaturas de pirólise, além da realização de novos ensaios em biodigestores e análises da composição do biogás, permitindo validar estatisticamente os resultados e identificar as condições mais eficientes para maximizar a produção e a qualidade do biogás.

Agradecimentos

Agradeço à Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento da pesquisa, à professora Schirlei Viviane Rossa pela orientação científica, à Cooperativa Ecocitrus pelo fornecimento do inóculo e pelo apoio na realização das análises do biogás e aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo constante e pelos investimentos realizados em minha formação, tornando possível a concretização deste trabalho.

Referências

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. London: Routledge, 2015.

KIM, M. *et al.* Enhancing methane production of anaerobic digestion using biochar: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 63, p. 190-201, 2016.

MACHADO, N. *et al.* Construção e validação de biodigestor de bancada, tipo batelada, para quantificar biogás a baixo custo. *RECIMA21*, v. 4, n. 8, 2023.



SILVA, Ilma; BANDEIRA, Ricardo; ALVES, Alessandro; GADE, Sacha. Obtenção de biochar a partir da pirólise controlada de biomassa de açaí. **Editora Científica Digital**, 2023. Disponível em: <https://share.google/YUInxQB4p5VcXOIdg>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SANTOS, A. *et al.* Efeito do biochar e carvão ativado granular na digestão anaeróbia do bagaço de malte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **IBEAS**, 2025.

MASEBINU, S. O.; AKINLABI, E. T.; MUZENDA, E.; ABOYADE, A. O. A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 103, p. 291-307, 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2018.12.048.

SILVA, D.; RIBEIRO, J.; ALVAREZ, C. Potencial do biochar para uso em upgrading do biogás: uma revisão. **Revista Foco**, v. 18, n. 1, 2025. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/8634>. Acesso em: 15 mar. 2026.

FELTRIN, Cibelle Gregorio Caldas. **Produção de biogás de resíduos vegetais suplementados com biochar**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/d4a90c631b0d-4308-a7a2-328bac7040e2>. Acesso em: 17 mar. 2026.

LEÃO, Alice. **Potencial de produção de biogás com biomassa do líquido da casca de coco verde no estado do Ceará**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://share.google/usUrgoKcza6mY1jgn>. Acesso em: 30 mar. 2026.

PIRES, Isis; NAKASHIMA, Gabriela; PADILHA, Elias; VARANDA, Luciano; ALESI, Leticia; YAMAJI, Fábio. Biochar de Palha de Cana-de-Açúcar: Caracterização e Estudo do Processo. **Revista Virtual de Química**, 2018. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/PiresNoPrelo.Acesso> em: 15 mar. 2026.