



UMA SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA A BORRA DO CAFÉ A PARTIR DA SUA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA: CONSTRUÇÃO DE UM REATOR DE BAIXO CUSTO

Thiago Augusto Ambrosio dos Santos¹
Henrique Di Domenico Ziero²
Míriam Tvrzská de Gouvêa³
Tânia Forster Carneiro⁴
Jorge Luiz da Paixão Filho⁵
Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa⁶

Educação Ambiental

Resumo

O biogás pode ser produzido a partir da digestão anaeróbia de resíduos e é uma fonte de combustível renovável que desempenha um papel significativo na geração local de energia elétrica. No Brasil, que é o maior produtor de café no mundo, a exploração de resíduos conhecido como borra de café torna-se de interesse estratégico. Neste contexto, este projeto baseia-se na questão de pesquisar a possibilidade tecnológica de produção de uma fonte de energia alternativa por meio da reutilização de borra de café. A abordagem consiste em se propor a construção de um protótipo de um biorreator de bancada que seja capaz de realizar a produção de biogás, utilizando como fonte principal de energia a borra de café propriamente dita. A metodologia experimental adotada para a construção do biorreator e o desenvolvimento dos ensaios de biodigestão foi desenvolvida em três etapas fundamentais: (i) a construção do biorreator; (ii) a definição da composição do processo de biodigestão adequado e; (iii) desenvolvimento de um sistema de medição da produção de biogás. O experimento foi controlado durante 20 dias, em uma temperatura média de 20°C e como resultado obteve-se uma coleta de 260 mL de água destilada, proveniente do volume de gás que foi produzido.

Palavras-chave: Biorreator; Borra de café; Biodigestão Anaeróbica.

¹Graduando em Engenharia de Produção, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, thiago.augusto4477@gmail.com

²Aluno de doutorado em engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Departamento Engenharia de Alimentos, h229267@dac.unicamp.br

³Profa. Dra. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, miriam.gouvea@mackenzie.br

⁴Prof. Dr. Tânia Forster Carneiro da Universidade Estadual de Campinas – Departamento Engenharia de Alimentos, taniafc@unicamp.br

⁵Prof. Dr. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, jorge.paixao@mackenzie.br

⁶Profa. Dra. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, maria.rosa@mackenzie.br

INTRODUÇÃO

As crises energéticas ocorridas globalmente têm inspirado preocupação e motivado o desenvolvimento de tecnologias e políticas públicas direcionadas para o enfrentamento de novos desafios e minimização de consequências destrutivas. Logo, questões econômicas, geopolíticas e ambientais têm chamado a atenção do mundo para fontes alternativas de energia (GROSSMAN, 2015).

De fato, a projeção de duplicação do consumo mundial de energia nos próximos 50 anos, aliada à crescente demanda por fontes de energia de baixa ou mesmo zero emissão, aumentou a conscientização sobre os caminhos sustentáveis para atender às necessidades energéticas das futuras gerações. Desse modo, a geração de energia a partir de fontes eficientes, limpas e renováveis, como energia solar, eólica, geotérmica e biomassa, assume particular importância na era moderna e oferece grande potencial para atender às demandas de energia do futuro (SAHA et al., 2014).

Nesse sentido, o biogás, produzido a partir da digestão anaeróbia de resíduos, é uma fonte de combustível renovável que desempenha um papel significativo na mitigação de problemas ambientais e na geração local de energia elétrica (NEVZOROVA; KARAKAYA, 2020). Feiz et al. (2020) ainda discute sobre uma economia de base biológica e aponta a produção de biogás como estratégia para o alcance de metas nacionais como parte de uma gestão eficiente de resíduos e minimização de impactos ambientais.

No âmbito brasileiro, a exploração de resíduos do café torna-se de interesse. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), o Brasil é o maior produtor de café no mundo, sendo responsável por um terço da produção mundial, de modo a destacar o Estado de São Paulo como um dos mais tradicionais da cafeicultura brasileira. No tocante ao consumo de café pelo mercado interno do país, dados estatísticos apontam um crescimento consistente, de modo que, entre 1990 (8,2 milhões de sacas) e ano 2000 (13,2 milhões de sacas), o brasileiro aumentou seu padrão de consumo em 61%,

Realização

Apoio

alcançando um índice de 21 milhões de sacas em 2018, de modo a corresponder a uma elevação de 156% em menos de 20 anos (ABIC, 2020).

Esse projeto tem como objetivo geral construir um protótipo de reator de bancada para o estudo da reutilização da borra do café como fonte de energia, bem como estudar os parâmetros relacionados a essa proposta. Especificamente, pretende-se: (i) estudar os tipos de biorreatores; (ii) construir um biorreator de bancada de baixo custo preenchido com resíduo orgânico, especificamente borra de café; (iii) avaliar parâmetros físico-químicos da biodigestão.

METODOLOGIA

CONSTRUÇÃO DO BIORREATOR

Os materiais básicos que foram utilizados para a construção do biorreator foram baseados no estudo realizado por Santos (2014). A Tabela 1 apresenta os materiais adquiridos para a implementação do projeto. A estrutura foi formada por um cano PVC de 200 mm de diâmetro e 1 m de altura, ao qual foi isolada por anéis de vedação próprios para isso em ambas as tampas. A tampa superior possui dois adaptadores com flange para a instalação do manômetro e da válvula de biogás, a qual é plugada a uma mangueira entrando em contato com o sistema de medição de volume de gás. A tampa inferior possui apenas um adaptador com flange para a instalação de uma válvula esférica de diâmetro um pouco maior para a eliminação dos resíduos do tanque. O biorreator fica apoiado em uma estrutura de madeira que o deixa com 1,5 m de altura e permite um melhor manuseio e o apoio de sua base com a válvula de descarte.

Tabela 1 - Materiais e seus respectivos preços

Item	Materiais	Preço	Quantidade	Valor Final
1	Tubo PVC 200mm	R\$ 122,00	1	R\$ 122,00
2	Tampa PVC 200mm	R\$ 65,00	2	R\$ 130,00
3	Anel de vedação 200mm	R\$ 20,00	2	R\$ 40,00
4	Adaptador com flange	R\$ 20,00	3	R\$ 60,00
5	Manômetro de 3,0 kgf/cm ²	R\$ 26,50	1	R\$ 26,00
6	Válvula de esfera	R\$ 30,00	2	R\$ 30,00
7	Adaptador engate com	R\$ 12,00	1	R\$ 12,00

Realização

Apoio

	rosca			
8	Mangueira	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
Total	-	-	13	R\$ 450,00

Fonte: Autor

BIODIGESTÃO DA BORRA DE CAFÉ

Para realização do processo de biodigestão da borra de café foram utilizados os materiais descritos na Tabela 2 juntamente com suas respectivas quantidades.

A água de reuso foi retirada do poço artesiano de um condomínio em São Paulo, a borra do café foi obtida a partir da doação da Padaria Big Bread, localizada no bairro Tatuapé, na Zona Leste de São Paulo, e o esterco bovino fresco foi recolhido de um sítio em Mariporã.

Tabela 2: Quantidade dos materiais utilizados para a biodigestão no reator.

Material	Quantidade
Água de reuso	12 L
Borra de café para diluição	800 g
Borra de café como substrato	40 g
Esterco bovino fresco	800 g

Fonte: Autor

MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DO BIOGÁS

Foi empregado um sistema de instrumentação de baixo custo proposto por Santos (2014) e Teixeira (2019). O conjunto básico de elementos necessários consiste em: (i) conexão do biorreator que acomoda os materiais envolvidos nos processos de biodigestão com o recipiente que será utilizado para a captação do gás produzido; (ii) válvula de controle de saída do gás produzido no biorreator; (iii) manômetro de 2,0 kgf/cm² para medição da pressão do gás produzido; (iv) conjuntos de flanges apropriadas para conexão das válvulas e manômetro ao biorreator e também ao recipiente utilizado como sistema de medição do volume de gás produzido. Esse sistema de medição de volume de gás de baixo custo, produzido de acordo com Teixeira (2019) contendo: (i) recipiente para água destilada para ser comprimida pelo gás produzido; (ii) adaptadores e flanges para conexão

Realização

Apoio



das mangueiras para entrada do gás produzido e saída da água comprimida pelo gás; (iii) recipientes para armazenamento da água destilada drenada para medição do volume. Foram utilizadas mangueiras apropriadas para sistemas pneumáticos (mangueira azul) para coleta de gás do biorreator até o sistema de medição em questão, de acordo com a Figura 1. A Tabela 3 apresenta os materiais adquiridos para a implementação do sistema de medição.

Figura 1: Mangueira azul e suas conexões



Tabela 3: Custo dos materiais para a construção do sistema de medição.

Item	Materiais	Preço	Quantidade	Valor Final
1	Pote de vidro	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
2	Adaptador com flange	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
3	União T	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
4	Adaptador engate com rosca	R\$ 12,00	2	R\$ 24,00
Total	-	-	5	R\$ 74,00

Fonte: Autor.

Uma vez estabelecido este procedimento de projeto do biorreator, o desenvolvimento das etapas prescritas tem como objetivo estabelecer a implementação de um protótipo para a produção de biogás, a partir da replicação de ensaios de pesquisa já

Realização

Apoio

realizados por Luz et al. (2017) e Teixeira (2019), para que se possa atestar a viabilidade tecnológica de utilização da borra de café como alternativa para composição de uma matriz energética sustentável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

BIORREATOR

A escolha do tubo PVC como objeto de controle deu-se em virtude da facilidade de se adequar as dimensões às condições de se obter o volume de *headspace* adequado. As dimensões do reator foram detalhadas no Tópico 3.1 e a Figura 4 ilustra como ficou a implementação física. A construção foi feita com todos os cuidados e precauções, para garantir o funcionamento do projeto e obter um sistema realmente próprio e isolado. Para isso, as peças, roscas e ligações foram vedadas com veda rosca e cola especial. Além do cuidado na montagem, houve testes de vazamento que foram feitos para comprovar a eficiência do isolamento do sistema, de forma a utilizar uma esponja úmida com espuma de sabão nas extremidades e conexões para verificar se haveria formação de bolhas.

Figura 4: Detalhes do reator que foi construído.



Realização

Apoio

PRODUÇÃO DO BIOGÁS

Inicialmente foi planejado utilizar lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto em Campinas. Entretanto, em virtude da pandemia e do risco de se utilizar este lodo proveniente de esgoto que poderia estar contaminado, decidiu-se utilizar materiais com o potencial de fermentação adequado para o experimento, sem correr este risco. Neste contexto, utilizou-se a borra de café, água proveniente de poço de água de mina de água para reuso e esterco bovino fresco, baseado em Luz et. al. (2017), isto é, a seleção baseou-se nos ensaios realizados com o grupo B de reatores que foram utilizados como referência na pesquisa em questão.

O ponto de partida para o preparo e caracterização do biorreator foi definir um volume útil adequado para o mesmo, compatível com o uso de um sistema de instrumentação de baixo custo para medir a produção efetiva de gás, de acordo com os resultados obtidos em Teixeira (2019).

Para isto decidiu-se utilizar um volume útil de 40% do biorreator, ou seja, desta forma seria possível manter 60% do volume do mesmo preservado para *headspace* para viabilizar o processo de medição. Neste contexto, a Tabela 2 indica as proporções utilizadas de cada material, as quais foram calculadas considerando a condição ótima de operação afirmada por Luz et. al. (2017).

Para a diluição da borra de café na água foi utilizado um galão de 20 L de capacidade. A mistura foi agitada e depois aguardou-se um período de tempo de 4 h para decantação. A Figura 3 ilustra os materiais utilizados para biodigestão. Após isso, utilizou peneira fina Malha 75 para filtrar a mistura a ser depositada posteriormente no reator.

Figura 5: Materiais utilizados para o processo de biodigestão

Realização

Apoio



Fonte: Autor

OBTENÇÃO DO BIOGÁS

Para a construção do sistema de medição do volume de gás produzido foi pesquisada a questão de como desenvolver um sistema de baixo custo. Uma vez que o princípio de medição foi a utilização de um líquido incompressível e também que não fosse reativo com o gás, a escolha foi utilizar água destilada para que não houvesse absorção do gás produzido. Foi utilizada uma cola especial à base de silicone para evitar qualquer vazamento de gás no frasco de controle que suporta o volume de água destilada.

A medição foi realizada durante 20 dias corridos, o qual foi bem próximo ao período que Luz et. al. (2017) observou em seu experimento. De acordo com sua pesquisa, esse intervalo seria suficiente para que a biodigestão ocorresse. Além disso, de acordo com Luz et al. (2017), a temperatura ideal para a reação com o uso deste tipo de resíduo é de 37°C, mas pela dificuldade em manter um ambiente nesta temperatura controlada, o experimento ocorreu a uma temperatura média de 20°C a qual foi medida levando em conta a temperatura diária durante o período. As medições ocorreram durante o mês de julho de 2021, na cidade de São Paulo, e como não havia previsão de mudança nas condições climáticas e que o prazo de 20 dias previsto por Luz ET. AL. (2017) havia sido cumprido, decidiu-se por interromper o experimento, uma vez que não estava sendo realizado em laboratório apropriado para esta finalidade, em virtude da pandemia. Como resultado obteve-se uma coleta de 260 mL de água destilada o que equivale à quantidade de biogás obtida em todo o processo. De acordo com Luz et al. (2017), a melhor condição

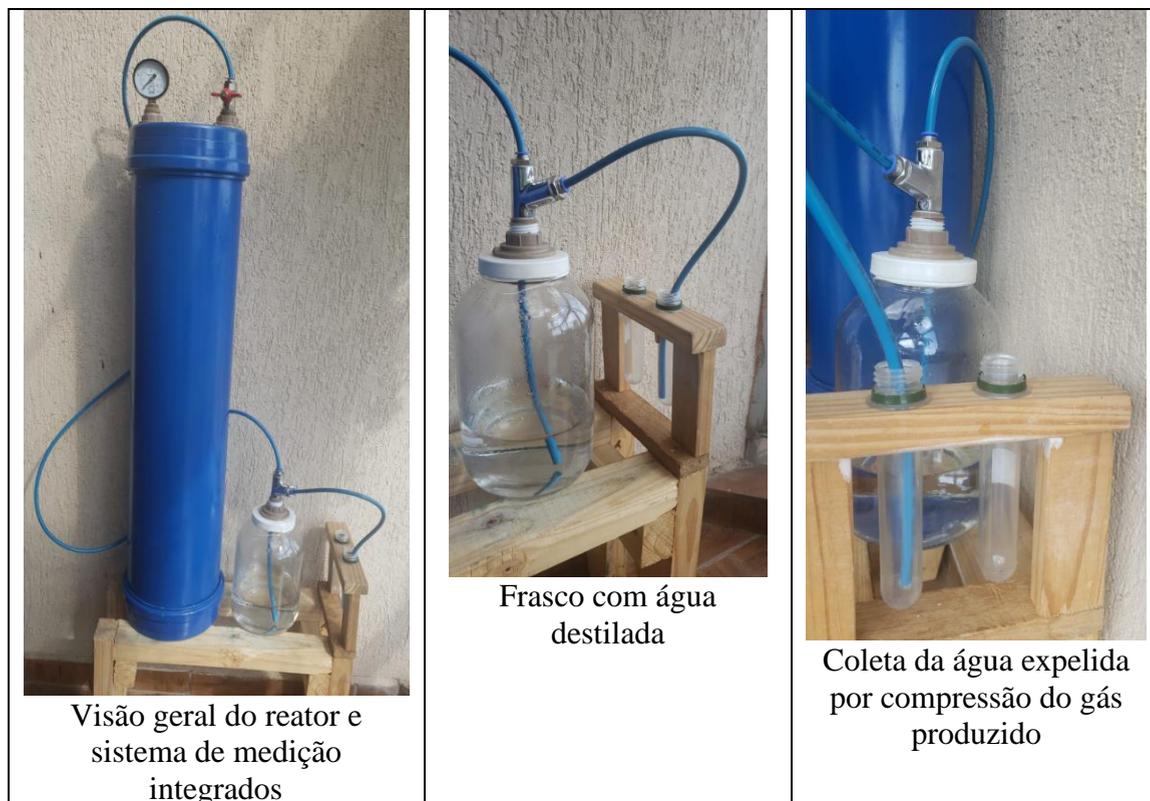
Realização

Apoio

para a produção de biogás seria em torno de 37°C, ou seja, a temperatura deveria ser 75% maior que a praticada. Desta forma, sugere-se que este experimento seja realizado dentro de uma estufa caseira, permitindo um aumento da temperatura ambiente e consequentemente maior produção de biogás.

Nos trabalhos de Luz et al. (2017) e Teixeira (2019), foram realizados estudos detalhados da composição físico-química dos sólidos totais e sólidos voláteis utilizados nos processos de biodigestão e foram realizados também medições do potencial bioquímico do gás produzido. Todas as medições basearam-se na avaliação da quantidade de sólidos totais e voláteis que exigem instrumentação e aparatos de laboratório que não estiveram disponíveis para a realização desse projeto de pesquisa tecnológica. Portanto, uma vez que só foi possível medir o volume de gás produzido a partir do volume de água destilada comprimido e transportado para o frasco de coleta (Figura 6).

Figura 6: Detalhes de integração do sistema de medição com o reator



Fonte: Autor

Realização

Apoio

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbica da borra do café com um reator de baixo custo foi proposto neste estudo. Foi observado uma produção de 260 mL de biogás durante 20 dias de experimento e conclui-se que melhores resultados poderiam ser obtidos com o controle da temperatura. Este projeto permitiu o aprendizado em aplicar metodologia científica para a resolução de problemas em engenharia, desde a especificação dos requisitos até a implementação final de um protótipo físico e coleta de dados experimentais.

Com o acompanhamento diário dos acontecimentos do projeto, trabalhos futuros mostraram-se possíveis de serem desenvolvidos, como a automação da instrumentação para a coleta automática de dados como temperatura, pressão e volume de água expelida.

Agradecimentos à Universidade Presbiteriana Mackenzie pelo apoio para o desenvolvimento deste projeto, e à Padaria Big Bread pelo fornecimento de borra de café para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ABIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Evolução do consumo interno de café no Brasil**. Página institucional, Seção de Estatística, 2020. Disponível em: <https://www.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/>. Acesso em 11 Jun. 2020.

FEIZ, R. et al. Key performance indicators for biogas production - methodological insights on the life-cycle analysis of biogas production from source-separated food waste. **Energy**, v. 200, 117462, 2020.

GROSSMAN, P. Z. Energy Shocks, Crises and the Policy Process: A Review of Theory and Application. **Energy Policy**, v. 77, p. 56-69, 2015.

NEVZOROVA, T.; KARAKAYA, E. Explaining the drivers of technological innovation systems: The case of biogas technologies in mature markets. **Journal of Cleaner Production**, v. 259, 120819, 2020.

Realização

Apoio



SAHA, R. et al. Rechargeable magnesium battery: Current status and key challenges for the future. **Progress in Materials Science**, v. 66, p. 1–86, 2014.

SANTOS, E. S. P. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos no estudo das concentrações de gases de biorreatores de bancada preenchidos com resíduos orgânicos. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental., Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

TEIXEIRA, R. A. Digestão Aeróbica e Potencial de Geração de Biogás a partir de Borra de Café. 2019. 176 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

Realização



Apoio

