

## **Sinergia entre cana e pecuária: Transformando uma biorrefinaria sustentável em fonte de biogás e biometano**

### *Resumo*

Implementação de energia sustentáveis.

Aiko Martins Fukuma 1  
Bianca Aparecida Ribeiro 2  
Bárbara Pereira Landim 3  
Larissa Ferreira Firmo 4  
Jessica Jacinta Silva 5  
Renata Piacentini Rodriguez 6

A utilização do biometano como fonte energética destaca-se pela crescente demanda energética alinhada à busca por tecnologias de energia limpa. O principal instrumento para se alcançar a meta de Carbon Neutrality até 2050 é a transição energética. Este artigo procura ilustrar o biogás como uma das alternativas tecnológicas mais acessíveis nos temas ambientais como o combate à mudança climática e escolha de energias renováveis. Analisando aplicações do biogás, procura entender suas implicações para o meio ambiente. Assim, o Brasil destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar e como líder mundial na pecuária bovina, dois segmentos que resultam na produção de elevados volumes de subprodutos de baixo valor agregado e de resíduos. O país tem grande potencial a ser explorado para a produção de biogás e, conseqüentemente, biometano. Este projeto propõe promover a geração descentralizada de energia na forma de biometano em resíduos da pecuária com o desenvolvimento de tecnologias limpas e inovadoras para o pré-tratamento dos resíduos lignocelulósicos. São realizados ensaios em escala de bancada, seguido do escalonamento em planta piloto a partir da determinação de parâmetros operacionais, focados no aumento da produtividade de biometano. Com base nos resultados experimentais, será proposta a análise de viabilidade econômica, energética e ambiental do arranjo tecnológico e análise do ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Tecnologias; Transição; Mudança Climática; Viabilidade; Energia.

---

<sup>1</sup>Discente, Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia, aiko.fukuma@sou.unifal-mg.edu.br

<sup>2</sup>Discente, Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

<sup>3</sup>Discente, Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

<sup>4</sup>Discente, Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

<sup>5</sup>Discente, Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

<sup>6</sup>Prof. Dra., Universidade Federal de Alfenas–Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia



## INTRODUÇÃO

O biogás é um recurso energético obtido a partir da biodigestão anaeróbia de matéria orgânica contida em resíduos orgânicos do setor sucroenergético, da cadeia da proteína animal, da agricultura e do saneamento, sendo composto principalmente por metano e dióxido de carbono. O biogás pode ser convertido em energia elétrica, energia térmica, ou com sua purificação, em biometano, um biocombustível gasoso composto basicamente por metano, equivalente ao gás natural. Na realidade brasileira, o país possui um enorme potencial de produção de biogás e biometano. De acordo com levantamento da ABiogás (Associação Brasileira do Biogás), os resíduos gerados atualmente poderiam ser convertidos em 90% da média de produção de biogás nacional de gás natural em 2021, o que corresponde a cerca de quatro vezes a capacidade total do Gasoduto Brasil-Bolívia (Gasbol). Em função de suas condições operacionais favoráveis, potencial de substituição de combustíveis fósseis, disponibilidade em todo o território nacional e produção próxima da geração de energia ou do consumo, o biogás tem sido notado como fonte madura, apresentando um aumento crescente nos últimos anos, podendo contribuir em agendas como a de segurança energética e de descarbonização.

Assim o biogás, especificamente, pelo fato de poder ser gerado de forma contínua, difere da energia eólica ou solar. É possível estocá-lo a custos baixos, seja na forma de matéria-prima, seja como gás comprimido. Além disso, devido à sua estabilidade, pode atuar como mecanismo regulador da intermitência dessas outras fontes.

A crescente necessidade global por energia limpa tem aumentado a procura por biocombustíveis. No Brasil, o etanol oriundo da cana-de-açúcar é o principal biocombustível produzido e comercializado. Durante a produção do etanol, gera-se uma grande quantidade de vinhaça, um resíduo líquido da destilação do etanol com elevado conteúdo orgânico que normalmente é aplicado no solo, mas que pode ser convertido a biogás através da digestão anaeróbia.

O Brasil destaca-se também como o maior produtor de cana-de-açúcar e como líder mundial na pecuária bovina, dois segmentos que resultam na produção de elevados volumes de subprodutos de baixo valor agregado e de resíduo, por esse motivo o país tem grande potencial a ser explorado para a produção de biogás e, conseqüentemente, biometano. Durante o processo de produção do etanol são produzidas grandes quantidades de grãos de destilaria, resíduo com alto teor orgânico que normalmente é aplicado ao solo, mas pode ser convertido em biogás por meio da digestão anaeróbica. Alguns autores acreditam que o uso de grãos de destilação diretamente no solo pode levar a problemas como contaminação de águas subterrâneas, acidificação do solo e aumento de emissões de gases de efeito estufa devido à decomposição da matéria orgânica presente nos grãos. O processo de digestão anaeróbica, por sua vez, envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica, resultando na formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (matéria orgânica estabilizada).

Ou seja, é possível diminuir o consumo de eletricidade ou lenha, bem como obter créditos ao fornecer o insumo para a rede. Os reatores anaeróbicos ajudam a produzir o biocombustível que é utilizado em veículos que utilizam o GNV. Já o segundo está relacionada a produção de biogás que possibilita o reaproveitamento dos dejetos gerados na criação de animais. O produtor que utiliza o reator anaeróbio não será mais responsável pela contaminação do solo, açudes, rios, lençóis freáticos etc. E ainda evitará o agravamento do efeito estufa e do aquecimento global que está causando danos ao meio ambiente e à humanidade. E o último ponto o uso do reator anaeróbio auxilia na retirada de dejetos e resíduos do ambiente, evita a proliferação de doenças, elimina odores desagradáveis e impede a multiplicação de insetos como as moscas.

Objetiva-se com esse trabalho avaliar a atividade microbiana anaeróbia pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME), uma forma fácil, econômica, eficaz e ideal para a pesquisa que busca analisar e aprimorar a digestão anaeróbia, buscando reciclagem de matérias orgânicas para favorecer a produção de energia limpa



## METODOLOGIA

A biodigestão anaeróbia é uma opção promissora para tratamento de resíduos agroindustriais, transformados, a partir dela, em biogás e biofertilizante. O biogás pode ser purificado a biometano, que, igualmente, apresenta uma gama de aplicações, porém com maior valor agregado (CIBIOGÁS, 2021), tornando-o atrativo para comercialização, utilização como combustível, e geração de energia elétrica para a biorrefinaria na qual é produzido.

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo a que são submetidos diversos tipos de resíduos (urbanos, rurais ou industriais), com finalidades de tratamento de resíduos, produção de biogás e produção de biofertilizantes e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original. De forma simples, o processo ocorre em duas etapas. Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa é transformada em compostos simples como ácidos orgânicos voláteis, pela ação de enzimas extracelulares, das bactérias acidogênicas e acetogênicas. Na segunda etapa, estes produtos são transformados principalmente em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, pela ação das bactérias metanogênicas.

Essas bactérias metanogênicas são bem sensíveis a condições adversas ou a alterações do ambiente, dessa forma, o passo limitante do processo é a geração de metano.

O presente estudo tem como foco avaliar a atividade microbiana anaeróbia pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME), uma forma fácil, econômica, eficaz e ideal para a pesquisa que busca analisar e aprimorar a digestão anaeróbia.

Procurou-se otimizar o teste de atividade metanogênica tomando-se por base a metodologia adotada por Carlos Augusto de Lemos Chernicharo em seu livro “Reatores anaeróbios”, de 1997. No desenvolvimento do trabalho experimentou várias proporções para esse teste de atividade, buscando a máxima atividade metanogênica específica do inóculo, através de ensaios simples, rápido e eficaz. Assim, utilizando-se um tipo de lodo anaeróbio, estudou-se a influência das quantidades de substrato, da natureza de substrato, da forma de agitação do meio e do tempo armazenado do inóculo nos resultados dos testes de atividade.

Assim foram feitos quatro triplicatas, totalizando doze frascos de antibiótico, em que três triplicatas possuíam diferentes quantidades substrato (ácidos orgânicos), em pequena, média e alta qualidade, e uma triplicata possuindo somente o inóculo e água (controle negativo). Deixadas na estufa a 35°C, realizando as medições do biogás inicialmente de forma diária, posteriormente uma vez por semana, e por fim a cada quinze dias, 15 dias após o início do experimento foram guardados amostras de cada biogás em tubos de ensaios de 9ml. Sempre considerando os volumes acumulados, soma do último dia medido com o próximo, tabelando esses valores, realizando e analisando os resultados por meio de gráficos.

Na segunda parte do experimento, os tubos de ensaios guardados junto a duplicatas selecionadas das triplicatas, foram levadas até a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), para realizar as análises de metano utilizado o cromatógrafo gasoso, obtendo as concentrações e suas porcentagem, dois fatores importantes para as analisar as proporções de inóculo e substrato que melhor auxilia na produção de biogás e, principalmente, na do metano.

A terceira parte, foram realizadas as análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), em que foi utilizado uma amostra do inóculo de uma triplicata adicionando-se dicromato de potássio e uma solução ácida em tubo de ensaio, para obter a cor do inóculo e fazer a comparação com o branco (água com dicromato de potássio e a solução ácida), assim analisar em quantas vezes diluir, que no caso deu cores distintas, precisando dissolver em vinte e cinco (25) vezes, 0,25 ml de água. Após diluir a água e o inóculo em um balão volumétrico, pipetou-se 1,25 ml da diluição nos tubos de ensaio e adicionar cromato de potássio e a solução ácida, todas com as cores similares ao branco, após isso fazer a leitura ondas das eletromagnéticas de cada tubo de ensaio, para observar a quantidade de oxigênio consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica.

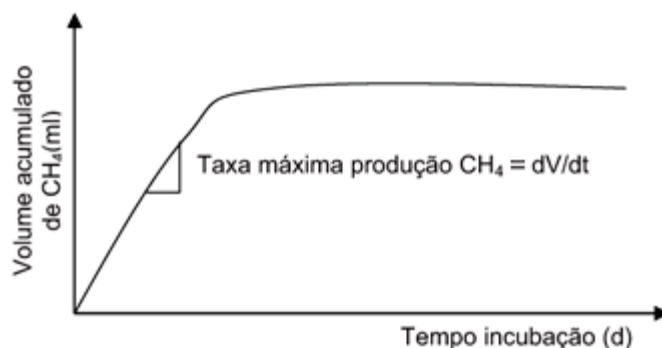
Uma vez escolhido um determinado método para o teste AME, os resultados obtidos através do mesmo serão muito mais úteis em termos comparativos, como entre determinadas condições e fases operacionais de reatores anaeróbios. Assim, a atividade a avaliação da atividade metanogênica específica (AME) permitirá identificar a eficiência do inóculo na conversão dos substratos orgânicos em metano, possibilitando otimizar a produção de biogás a partir dos resíduos e subprodutos da cana-de-açúcar e da pecuária bovina.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção volumétrica de metano é avaliada diariamente, multiplicando-se o volume de biogás pela porcentagem de metano no biogás. A porcentagem de metano pode ser encontrada a partir de uma curva de calibração. A taxa máxima de produção de metano pode ser obtida ao se construir um gráfico temporal da produção acumulada de metano. A Atividade Metanogênica Específica (AME) pode ser então determinada no gráfico de volume acumulado por tempo de incubação, em que a taxa máxima seja determinada no trecho linear, que corresponda ao consumo mínimo de 50% do substrato adicionado. Figura 01:

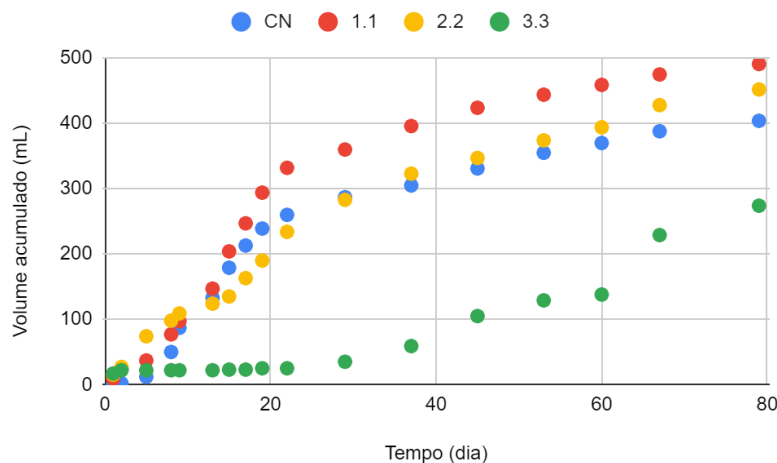
Figura 01: Determinação da taxa de produção de metano



Autor: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Foi analisado os resultados dos ensaios de atividade metanogênica específica (AME) variando a concentração de substrato, comprovando que o substrato interfere diretamente na taxa máxima de produção de biogás. A média dos valor em que marcam o início da transição de retilínea crescente para constante foi entre 200ml e 300ml, nos ensaios de controle negativo (sem substrato), ensaio 1 com 1,71 m/L (menor quantidade) e ensaio 2 com 4,26 m/L (quantidade intermediária), porém, somente o ensaio 3 de 8,52 m/L não ofereceu os resultados esperados, o motivo ainda está sendo investigado e analisado, mas tudo indica que, uma alta quantidade de substrato pode desregular o início da produção de biogás, o suficiente para atrasar ou evitar a formação da reta retilínea da taxa máxima de produção de metano, apresentando o formato curvilínea crescente. A figura 2 a seguir apresenta visualmente os resultados descritos:

Figura 2: Média dos volumes acumulados de cada triplicata



Fonte: Autores (2024)

Está sendo analisada também a concentração de metano do biogás de cada triplicata, que mostraram que todos os ensaios apresentaram uma alta concentração de metano, ou seja, mesmo com as diferenças das médias do volume acumulado a presença do metano em cada frasco de antibiótico é significativo, pois a concentração de metano foi entre 26 e 40 em todas as triplicatas. A tabela 1, a seguir mostra os valores da concentração de metano:

Tabela 1: Composição de metano

COMPOSIÇÃO	CH4 (%)	CO2 (%)
Ensaio 1	35,407	11,505
Ensaio 2	46,299	11,326
Ensaio 3	35,751	12,417
Controle Negativo	34,916	9,321

Fonte: Elaboração própria

Autores: Aiko Fukuma, Bianca Ribeiro, Bárbara Landim, Larissa Firmo, Jessica Silva, Renata Rodrigues



## CONCLUSÕES ou CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que a relação de substrato e inóculo, em que a quantidade do substrato está interligada com a produção do biogás mas não prejudica a proporção de metano incluído no biogás. A variação do volume acumulado não afeta consideravelmente a concentração de metano produzido, pois a faixa desta concentração não está interligada com os volumes acumulados ao longo do período de incubação em que apresenta um pico até alcançar a constante. O estudo cumpre seu propósito ao evidenciar a relevância de ajustar os parâmetros do inóculo e do substrato para melhorar a eficiência do processo de digestão anaeróbia.

## AGRADECIMENTOS

**Os autores agradecem o apoio do CNPq por meio de financiamento do projeto e a concessão da bolsa de iniciação científica.**

## REFERÊNCIAS

AQUINO, Sérgio F. et al. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, p. 192-201, 2007.

DE SOUZA, Marcos Eduardo. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. *Revista DAE*, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.

FRANQUETO, Rafaela; DA SILVA, Joel Dias. USO DO BIOGÁS E BIOMETANO: UMA REVISÃO SOBRE O AMBIENTE REGULATÓRIO NO BRASIL. *REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA*, v. 15, n. 1, 2023.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos avançados*, v. 21, p. 7-20, 2007.

PENNA, Jorge Adílio. Estudo da metodologia do teste de atividade metanogênica específica. 1994. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

“Reatores anaeróbios”; autor Chernicharo, página 105.

SCHÜTTE, Artur Friedrich Dufrayer. O segmento do biogás em foco: discussão das políticas públicas do Brasil e do mundo. 2017.