INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CAMA DE FRANGO

Enzo Vaz Bonancin (PIBIC/UEM), Anderson Rafael Igarashi, Sérgio Henrique Bernardo de Faria (Orientador), Wardleison Martins Moreira (Coorientador). E-mail: ra131127@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharias / Engenharia Química.

Palavras-chave: Biogás; Cama de frango; Absorção oxidativa.

RESUMO

A intensificação da avicultura no Brasil tem aumentado a geração de resíduos orgânicos, como a cama de frango, cuja disposição inadequada causa riscos ambientais. A digestão anaeróbia é tecnologia consolidada para valorização energética desses resíduos, gerando biogás, que contém impurezas como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), contaminante corrosivo que limita seu uso em cogeração. Este trabalho objetivou desenvolver e avaliar um modelo computacional integrado de produção e purificação de biogás a partir da cama de frango, com foco na remoção de H_2S por absorção oxidativa com Fe(III)EDTA. Foram utilizados dados experimentais de ensaios de Potencial Bioquímico de Metano em diferentes relações substrato/inóculo, submetidos a testes estatísticos. A relação 1:4 foi selecionada como condição mais favorável, com produção média de 540 NmL/gSV de biogás e 200 NmL/gSV de metano, permitindo estimar um potencial nacional de biogás entre 1,79 e 4,03 bilhões de Nm^3 por ano. A purificação foi modelada no Aspen Plus, alcançando remoção de H_2S de 97,61% e regeneração do Fe^{2+} de 99,98% na condição de referência. A análise de sensibilidade, por planejamento Box-Behnken, indicou a altura da coluna e a razão líquido/gás como variáveis de maior influência sobre a remoção de H_2S, enquanto o diâmetro não apresentou efeito significativo. A condição ótima elevou a remoção para 99,55%, reduzindo o H_2S de 2000 para 10,92 ppm e aumentando o teor de CH_4 de 59,99% para 70,40%. Os resultados demonstram o potencial da integração entre produção e purificação de biogás por absorção oxidativa para o aproveitamento energético da cama de frango.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes energéticas sustentáveis e a necessidade de manejo adequado de resíduos agroindustriais têm impulsionado processos biotecnológicos alinhados à bioeconomia. A digestão anaeróbia destaca-se como via promissora para converter resíduos orgânicos em energia renovável, gerando biogás e reduzindo a carga poluente (COSTA *et al.*, 2012). A cama de frango, resíduo

abundante da avicultura, apresenta composição favorável à metanogênese, mas compostos sulfurados presentes nesse substrato geram sulfeto de hidrogênio (H_2S) durante a digestão, gás corrosivo e tóxico que compromete equipamentos de armazenamento e cogeração (COSTA *et al.*, 2012).

A avaliação do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) constitui ferramenta importante para estimar a capacidade de produção de biogás em diferentes condições operacionais. Para viabilizar a conversão do biogás em biometano, é necessária a remoção eficiente do H_2S, sendo a absorção oxidativa com solução de Fe(III)EDTA um método eficaz, regenerável e seletivo (MAIA *et al.*, 2017). Diante disso, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um modelo computacional integrado de produção e purificação de biogás a partir da cama de frango, com foco na remoção de H_2S por absorção oxidativa, avaliando a influência de parâmetros operacionais e geométricos sobre o desempenho do processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de produção e caracterização do biogás foram obtidos da dissertação de Silva (2020), que caracterizou fisico-quimicamente a cama de frango e conduziu ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) em reatores de batelada, sob temperatura mesofílica (35 ± 1 °C), avaliando diferentes relações substrato/inóculo (S/I). Os dados foram submetidos, no software Minitab, ao teste de outliers de Grubbs, à análise de variância (ANOVA, $\alpha = 0,05$) e à correlação de Pearson, considerando como fatores a relação S/I e o número da batelada. A partir da condição selecionada, estimou-se o potencial nacional de produção de biogás com base em dados da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) e na metodologia de Sganzerla *et al.* (2023), incluindo geração de energia e mitigação de emissões de CO_2.

A etapa de purificação foi modelada no Aspen Plus (v.15), seguindo a estrutura de simulação desenvolvida por Igarashi (2024) e validada com dados de Maia *et al.* (2017), composta por uma coluna de absorção, um separador de sólidos e uma coluna de regeneração alimentada com ar. A cinética de absorção do H_2S pelo Fe^{3+} seguiu a lei de potências de Wubs e Beenackers (1994). A coluna de absorção foi dimensionada para velocidade superficial do gás de aproximadamente 5 cm/s e razão H/D igual a 5, resultando em diâmetro de 0,46 m e altura de 2,30 m (condição de referência). A partir dessa configuração, foi conduzida uma análise de sensibilidade segundo um planejamento Box-Behnken, variando a razão líquido/gás (L/G), o diâmetro (D) e a altura (H) da coluna em três níveis, com os resultados ajustados a um modelo polinomial de segunda ordem no software R (pacote RSM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cama de frango utilizada apresentou 76,87% de sólidos totais, dos quais 61,87% correspondem a sólidos voláteis, além de relação C/N de 15,23 e pH de 9,1, indicando boa disponibilidade de matéria orgânica, ainda que fora da faixa ideal para digestão anaeróbia. Entre as relações substrato/inóculo avaliadas nos ensaios de

BMP, a relação 1:4 (S/I = 0,25) apresentou a maior produção média, de aproximadamente 540 NmL/gSV de biogás e 200 NmL/gSV de metano, diferença confirmada como estatisticamente significativa pela análise de variância (ANOVA), sendo por isso selecionada como condição de referência para as etapas seguintes. A partir dela, estimou-se um potencial nacional de produção de biogás entre 1,79 e 4,03 bilhões de Nm^3 por ano, com potencial de geração de até 5,67 milhões de MWh/ano de energia elétrica e mitigação de até 1,43 milhão de toneladas de CO_2 por ano.

Na simulação da etapa de purificação, avaliaram-se os fatores L/G, D e H da coluna de absorção. Na condição de referência (L/G = 1,00; D = 0,46 m; H = 2,30 m), obteve-se eficiência de remoção de H_2S de 97,61% e de regeneração do Fe^{2+} de 99,98%. A análise de sensibilidade pelo planejamento Box-Behnken (R^2 = 0,9955) mostrou, pelo gráfico de Pareto dos efeitos (Figura 1), que a altura da coluna e a razão L/G foram as variáveis de maior influência sobre a remoção de H_2S, com efeito positivo, enquanto o diâmetro não apresentou efeito significativo dentro da faixa avaliada.

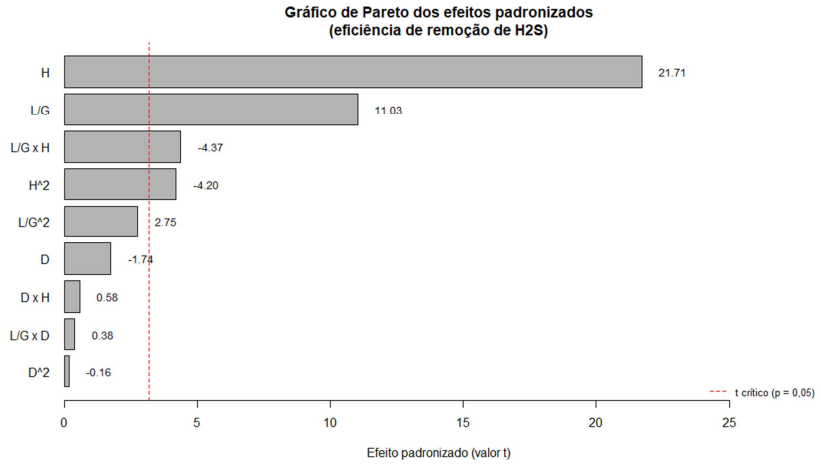


Figura 1 – Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados sobre a eficiência de remoção de H_2S.

A melhor condição obtida (L/G = 1,19; D = 0,46 m; H = 2,76 m) elevou a eficiência de remoção de H_2S para 99,55%, mantendo a regeneração do Fe^{2+} acima de 99,8%. O biogás purificado nessa condição apresentou aumento do teor de CH_4 de 59,99% para 70,40% e redução do H_2S residual de 2000 para 10,92 ppm, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo da composição do biogás bruto e purificado.

Componente	Entrada	Saída (Referência)	Saída (Ótimo)
CH_4	59,99%	68,05%	70,40%
CO_2	27,96%	18,02%	15,28%
N_2	9,36%	10,73%	11,14%
O_2	2,49%	2,83%	2,93%
H_2O	0%	0,37%	0,26%
H_2S	2000 ppm	55,5 ppm	10,92 ppm

Os resultados da Tabela 1 confirmam a eficácia do processo de purificação avaliado, adequado ao aproveitamento energético da cama de frango.

CONCLUSÕES

A relação substrato/inóculo 1:4 apresentou a maior produção de biogás e metano entre as condições avaliadas, sendo selecionada como referência para a estimativa de um potencial nacional de produção de biogás relevante para o setor avícola brasileiro. O modelo computacional de purificação por absorção oxidativa com Fe(III)EDTA mostrou-se estável e eficiente, atingindo remoção de H_2S superior a 99% na condição otimizada, com a altura da coluna e a razão L/G como parâmetros mais influentes. Conclui-se que a integração entre produção e purificação de biogás constitui alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento energético da cama de frango.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pela concessão da bolsa de iniciação científica, e ao Departamento de Engenharia Química (DEQ/UEM), pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

COSTA, L. V. C.; SAGULA, A. L.; LUCAS JUNIOR, J. Uso de remediadores biológicos na biodigestão anaeróbia da cama de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, v. 6, n. 2, p. 71-78, maio/ago. 2012.

IGARASHI, A. R. **Modelagem e simulação de um processo de remoção de sulfeto de hidrogênio de uma corrente de biogás**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2024.

MAIA, D. C. S. *et al*. Removal of H_2S and CO_2 from biogas in bench scale and the pilot scale using a regenerable Fe-EDTA solution. **Renewable Energy**, Oxford, v. 109, p. 188-194, 2017.

SGANZERLA, W. G. *et al*. Application of anaerobic co-digestion of brewery by-products for biomethane and bioenergy production in a biorefinery concept. **BioEnergy Research**, New York, v. 16, n. 4, p. 2560-2573, 2023.

SILVA, T. G. da. **Avaliação do potencial de produção de biogás da cama de frango**. 2020. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

WUBS, H. J.; BEENACKERS, A. A. C. M. Kinetics of H_2S absorption into aqueous ferric solutions of EDTA and HEDTA. **AIChE Journal**, New York, v. 40, n. 3, p. 433-444, mar. 1994.