

## POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO E BOVINOCULTURA LEITEIRA

VIVIANNE ALVES DA SILVA<sup>1</sup>, JULIANA LOBO PAES<sup>2</sup>, CARINA SOARES PIRES<sup>3</sup>,  
MYRNA MARTINS SANTOS MOREIRA<sup>4</sup>, CAROLINE CARVALHO PINTO<sup>4</sup>,  
CARLA GISLAINE DE BARROS SCARP DOS REIS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRRJ, Seropédica-RJ, viviannealvesm13@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Agrícola e Ambiental, Profa. Dra. Associada, Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia, UFRRJ, Seropédica-RJ

<sup>3</sup> Engenheira Agrícola e Ambiental, Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental, Supervisora de Operações, Águas do Imperador, Petrópolis - RJ

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRRJ, Seropédica-RJ

<sup>5</sup> Engenheira Ambiental e Sanitarista, Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFRRJ, Seropédica - RJ

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** O avanço da tecnologia no campo, proporciona precisão de produção, acarretando uma agricultura mais sustentável e produtiva. Inúmeros setores agrícolas necessitam de foco quanto ao seu desenvolvimento tecnológico, destacando-se a digestão anaeróbia (DA). Objetivou-se caracterizar físico quimicamente o substrato da monodigestão e codigestão anaeróbia do lodo de esgoto (LE) e dejetos de bovino (DB) para aferir seu potencial de geração de biogás. Para isso foram analisadas as relações de 1:0, e 0:1 LE:DB e 1:1 A(água):DB e LE:DB, com ensaios feitos em triplicata. A caracterização físico-química do substrato LE e DB compreendeu as análises de potencial hidrogeniônico, relação entre Acidez Volátil e Alcalinidade Total, sólido total e biodegradabilidade. O biogás gerado foi analisado quanto a potencial da produção acumulada (PA), em L kg<sup>-1</sup>. No geral, de acordo com os valores médio dos parâmetros obtidos verifica-se que o LE e DB são recomendados para produção de biogás. Para o PA observou-se que as proporções contendo lodo de esgoto se destacaram nas primeiras semanas de análise e a MoDA de dejetos mantiveram o padrão de produção tardia. Conclui-se que o lodo apresentou resultados satisfatórios como codigestante nas primeiras semanas de DA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de Esgoto, Dejetos Bovinos, Digestão anaeróbica

### POTENTIAL OF BIOGAS FROM SEWAGE TREATMENT PLANTS

**ABSTRACT:** The advancement of technology in agriculture provides production precision, leading to a more sustainable and productive agriculture. Numerous agricultural sectors require focus on their technological development, with anaerobic digestion (AD) being particularly noteworthy. The objective was to physicochemically characterize the substrate of the monodigestion and codigestion of sewage sludge (SS) and bovine manure (BM) to assess their biogas generation potential. For this, the ratios of 1:0, and 0:1 SS:BM and 1:1 W(water):BM and SS:BM were analyzed, with tests done in triplicate. The physicochemical characterization of the SS and BM substrate included analyses of hydrogenionic potential, the ratio between Volatile Acidity and Total Alkalinity, total solids, and biodegradability. The generated biogas was analyzed for potential accumulated production (PAP), in L kg<sup>-1</sup>. In general, based on the average values of the obtained parameters, it is verified that SS and BM are recommended for biogas production. For PAP, it was observed that the proportions containing sewage sludge

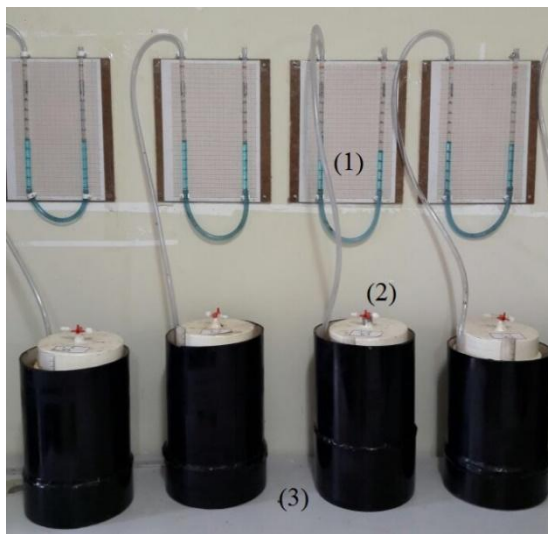
stood out in the first weeks of analysis, and the monodigestion of manure maintained a pattern of late production. It is concluded that sewage sludge presented satisfactory results as a co-digestant in the first weeks of AD.

**KEYWORDS:** sewage sludge, cattle manure, anaerobic digestion

**INTRODUÇÃO:** A Agricultura 4.0 condiz com a inovação da revolução verde, visando o aumento da produção de uma forma sustentável, mantendo ou elevando a qualidade dos produtos com redução dos custos de produção. Dentre os inúmeros processos que necessitam de avanços tecnológicos, destaca-se a digestão anaeróbia (DA). Esse processo pode ser adotado nos sistemas produtivos com a instalação de biodigestor anaeróbio visando propor uma destinação final e alternativa para a biomassa residual. Como produto final desse processo há a geração de energia limpa na forma de biogás e de fertilizante orgânico (SAMORAJ et al., 2022). A capacidade instalada de geração a Biogás por Unidade Federativa do Brasil em MW foi apresentado pela primeira vez no Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020 disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A capacidade instalada de geração de energia por biogás concentra-se em regiões com maior potencial de produção de matéria orgânica, resíduos agrícolas, urbanos, florestais e industriais, em que em 2022 atingiu cerca de 236 MW. Já a capacidade instalada de geração elétrica mini e micro - geração distribuída em 2022 atingiu cerca de 105 MW, superando a energia eólica (17 MW) e hidráulica (86 MW) (EPE, 2024). Esses dados demonstram a importância da geração de energia elétrica por biogás no próprio local de geração de resíduos. A produção de biogás por digestão anaeróbica é um processo em potencial para gestão de resíduos e redução da pegada de carbono (ARCHANA et al., 2024). O biogás é uma solução gasosa contendo componentes de hidrocarbonetos como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além dos gases sulfídricos ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e Nitrogênio (N). A formação do biogás rico em metano possibilita além da geração de energia elétrica, a energia térmica (fogões a gás) e energia mecânica (combustão de motores), substituindo a extração da madeira e combustíveis fósseis respectivamente (ARCHANA et al., 2024; FREITAS et al., 2019; GOVENDER; THOPI, INGLES-LOTZ., 2019). Já o fertilizante orgânico é usado no manejo de fertilidade do solo, pois esse material é rico em húmus e nutrientes, o que promove redução dos custos do plantio (ANGOURIA-TSOROCHIDOU; THOMSEN, 2021). No contexto da produção de biogás por meio de sistemas acessíveis voltados para ações sustentáveis no local de geração de resíduos (SGANZERLA et al., 2021), a integração lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto com dejetos bovinos utilizando a digestão anaeróbica para geração de biogás representa uma solução ambientalmente viável para produção de alimentos e energia, além de atender os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, 6 - Água Potável e Saneamento, 7 - Energia Limpa e Acessível e 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis. Dessa forma objetivou-se avaliar a digestão anaeróbia do lodo de esgoto e dejetos de bovino das relações de monodigestão anaeróbica (MoDA) 1:0, e 0:1 LE:DB e 1:1 A:DB; para codigestão anaeróbica (CoDA) 1:1 LE:DB.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado no Laboratório de Pesquisas Multiusuário do Grupo de Energias Renováveis e Alternativas Rurais (LabGERAR), da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Palatinato, pertencente ao Águas do Imperador do Grupos Águas do Brasil, localizada no estado do Rio de Janeiro e o dejetos de bovino coletado na Bovinocultura de Leite da UFRRJ. Os biodigestores anaeróbios modelo indiano de bancada (Figura 1) foram

abastecidos em batelada com 1,7 kg de substrato nas relações de MoDA 1:0, e 0:1 LE:DB e 1:1 A:DB; para CoAD 1:1 LE:DB, com ensaios feitos em triplicata.



- (1) Manômetro de coluna d'água;
- (2) Gasômetro;
- (3) Câmara de contenção de "selo d'água"

FIGURA 1. Biodigestores anaeróbico de bancada modelo indiano  
Fonte: Grupo de Energias Renováveis e Alternativas Rurais (GERAR)

Avaliou-se as características físico-química dos substratos LE e DB pelo potencial hidrogeniônico (pH), acidez volátil (AV), alcalinidade (AT), sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) (APHA, 2015). As análises foram realizadas em triplicata para cada biodigestor anaeróbico. A biodegradabilidade (BD) foi determinada de acordo com a metodologia adotada por Adriamanohiarisoamanana et al. (2016), em que se considera a relação entre teor de sólidos totais e os sólidos voláteis. A relação AV/AT foi obtida pela relação entre Acidez Volátil e Alcalinidade Total. O volume de biogás produzido foi calculado por meio do produto do deslocamento vertical do gasômetro por sua área da seção transversal interna durante o tempo de retenção hidráulica. O deslocamento vertical do gasômetro foi medido de forma visual em uma régua fixa em sua lateral. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm (101,32 kPa) e 20 °C foi efetuada com base no trabalho realizado por Matos et al. (2017a), no qual, pelo fator de compressibilidade, o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal. Para a correção do volume de biogás utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac. O biogás gerado foi analisado quanto a potencial da produção acumulada (PA), em  $L\ kg^{-1}$ . Adotou-se análise de variância seguido do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR para caracterização físico-químicas do substrato.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observou-se na Tabela 1 que houve variação significativa nos parâmetros de pH, AV/AT, ST e BD entre as proporções de dejetos bovino, lodo de esgoto e água dos substratos em estudo. Para as proporções em que o lodo de esgoto esteve presente (1:0 e 1:1 LE:DB) foi possível verificar redução no pH, ou seja, o meio se tornou mais ácido, se comparado com as amostras com apenas MoDA contendo dejetos de bovino (Tabela 1). Apesar do meio ter se tornado mais ácido com o acréscimo do lodo de esgoto, ainda assim se manteve na faixa de produção ideal para o biogás que varia de 6,5 e 8,0 (GONÇALVES; RAMALHO et al., 2021; MATOS et al., 2017b). Segundo RIBEIRO (2018) a caracterização do lodo de esgoto para aproveitamento como biomassa obteve resultados semelhantes, relatando acidez em seu meio, devido a reações de nitrificação do nitrogênio amoniacal e pela

degradação do lodo de esgoto por microrganismos produzindo ácidos orgânicos no processo. A relação AV/AT é responsável por medir o processo de digestão anaeróbia, sendo de extrema importância para avaliar a digestão anaeróbia (FEIDEN, 2001). Este parâmetro indica se a digestão anaeróbia está ocorrendo de forma satisfatória, entre 0,1 – 0,5, para valores maiores foi determinado a ocorrência de algum distúrbio ou sobrecarga no meio. Para LE e DB foram encontrados valores variando entre 1,05 – 2,06, indicando instabilidade no sistema (Tabela 1).

TABELA 1. Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), relação AV/AT, sólidos totais (ST) e biodegradabilidade (BD) das diferentes relações de mono- e codigestão anaeróbia

Relação	pH	AV/AT	ST (%)	BD
1:0 LE:DB	6,73B	2,07A	6,04D	0,48C
0:1 LE:DB	7,40A	1,06B	15,23A	0,80A
1:1 LE:DB	6,96B	1,16B	11,59B	0,72B
1:1 A:DB	7,41A	0,56C	8,06C	0,81A

Letras maiúsculas distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Como esperado, o maior valor médio de ST para monodigestão anaeróbia contendo apenas dejetos bovinos foi oriundo da elevada carga de matéria orgânica existente nesse substrato. A codigestão anaeróbia do lodo de esgoto e o dejetos bovinos manteve altos valores de ST. Assim, observou-se que o lodo de esgoto favoreceu o maior teor de matéria orgânica no meio a ser digerido em biodigestores anaeróbios. O valor de ST do LE enquadra-se dentro da faixa apresentada pela literatura. Já o ST de DB está acima do recomendado para a operação de biodigestor anaeróbio. No entanto, a BD do dejetos bovinos favorece na decomposição da matéria orgânica, e consequentemente a produção de biogás, diferentemente de LE (Adriamanohiarisoamanana et al., 2016). Avaliando a codigestão de lodo de esgoto e dejetos bovinos 1:1 LE:DB (Figura 2), verificou-se que a partir da 2ª semana a produção de biogás aumentou de forma constante e ininterrupta. Na CoDA de dejetos bovinos com água 1:1 A:DB (Figura 2) foi possível inferir que a partir da 5ª semana a produção de biogás tornou-se expressiva com quatro semanas seguidas de alta em seus valores, a partir da 9ª semana o biogás acumulado foi se tornando constante com pouca variação expressiva com um total 1,38 L kg<sup>-1</sup> contrapondo as duas proporções foi possível analisar que a proporção contendo lodo de Esgoto obteve maior produção com 3,90 L kg<sup>-1</sup>.

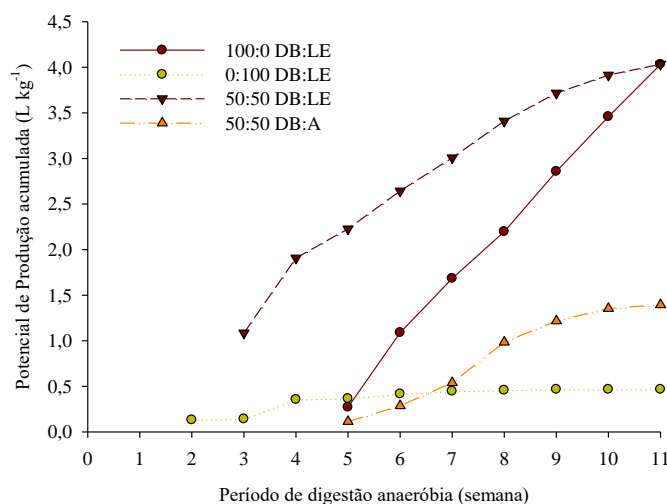


FIGURA 2. Potencial de Produção Acumulada de biogás das diferentes relações de mono- e codigestão anaeróbia

Para a MoDA 100 LE observou-se acúmulo de biogás a partir da 2ª semana, atingindo seu pico de PPA na 4ª semana, nas semanas seguintes observou-se uma estabilidade, com variações pouco expressivas e coincidentes com teste de queima que também se manteve constante, porém se comparado com a codigestão de lodo e dejetos a proporção com dois substratos obteve concentração maior de biogás na semana 11, com  $4,03 \text{ L kg}^{-1}$  em contrapartida a monodigestão de lodo na mesma semana obteve  $0,46 \text{ L kg}^{-1}$ , indicando sucesso. Na monodigestão com apenas dejetos de bovino foi observado acúmulo significativo a partir da 5ª semana, coincidindo com a MoDA contendo DB e água. Com o decorrer das semanas em análise a MoDA obteve crescimento expressivo atingindo PPA de  $4,03 \text{ L kg}^{-1}$ , não obtendo estabilidade durante as semanas em análise, em contrapartida com 0:1 LE:DB. Ao comparar com a MoDA 1:1 A:DB, a digestão apresentou maior PPA acumulado. Com isso pode-se inferir que as relações contendo lodo possuem resultados para PPA em um tempo menor, já as relações contendo apenas dejetos de bovino tem um tempo maior. Com a mistura dos dois substratos obteve-se uma constância na produção, porém com um PPA menor.

**CONCLUSÕES:** Conclui-se que a adoção da codigestão anaeróbia em contrapartida a monodigestão anaeróbia torna-se necessário diante da otimização do processo por reduzir o tempo de partida do dejetos bovino e aumentar o período de produção de biogás ao longo do processo de digestão anaeróbia.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a PIBIC/UFRRJ pela bolsa concedida. Os autores agradecem ao Comitê Guandu – AGEVAP – pelo Auxílio Financeiro para Projetos Técnicos e Científicos concedido por meio do Edital Chamamento Público Nº 016/2019, UFRRJ pela bolsa de Iniciação Científica e à ETE Palatinato, pertencente ao Águas do Imperados do Grupo Águas do Brasil pela disponibilização do lodo de esgoto.

**REFERÊNCIAS:** American Public Health Association - APHA. **Standard methods for the examination water and wastewater**. 21st ed. Washington: APHA, v. 1083, 2005.

ANDRADE, Monaliza Mirella de Moraes et al. Biogas production from co-digestion of different proportions of food waste and fresh bovine manure. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v.12, p.2697–2704, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00833-8>

ANDRIAMANOHIARISOAMANANA, Fetra J. et al. Farm-scale thermophilic co-digestion of dairy manure with a biodiesel byproduct in cold regions. **Energy Conversion and Management**, v.128, p.273–280, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.084>

ANGOURIA-TSOROCHIDOU, Elisavet; THOMSEN, Marianne. Modelling the quality of organic fertilizers from anaerobic digestion – Comparison of two collection systems. **Journal of Cleaner Production**, v.304, p. 127081, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127081>.

ARCHANA, K. et al. A review on recent technological breakthroughs in anaerobic digestion of organic biowaste for biogas generation: Challenges towards sustainable development goals. **Fuel**, v. 358, Part B, p. 130298, 2024 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130298>.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional - BEN**. – Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben> Acesso em: 22/05/2024

GONÇALVES, Fernanda da Silva; RAMALHO, Antonio Ricardo dos Santos. Biodigestão anaeróbia da manipueira gerada na casa de farinha no município de Branquinha/AL, Brasil. **Diversitas Journal**, v.6, n.1, p.36-47, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1408>

FREITAS, Flávio Ferreira; et al. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p.146-157, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>.

GOVENDER, Inban; THOPII, George Alex; INGLES-LOTZ, Roula. Financial and economic appraisal of a biogas to electricity project. **Journal of Clear Production**, v. 214, p. 154-165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.290>

MATOS, Camila Ferreira et al. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, p. 1081-1090, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1081-1090/2017>

MATOS, Camila Ferreira et al. Avaliação do potencial de uso de biofertilizante de esterco bovino resultante do sistema de manejo orgânico e convencional da produção de leite. **Revista Virtual de Química**, v. 9, p. 1957-1969, 2017b. DOI: : 10.21577/1984-6835.20170115

RIBEIRO, Karoline Pereira. **Caracterização físico-química do lodo de estação de tratamento de esgoto para aproveitamento como biomassa energética**. 2018. 53 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

SAMORAJ, Mateusz et al. The challenges and perspectives for anaerobic digestion of animal waste and fertilizer application of the digestate. **Chemosphere**, v. 295, pe.133799, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133799>

SGANZERLA, William Gustavo et al. Techno-economic assessment of bioenergy and fertilizer production by anaerobic digestion of brewer's spent grains in a biorefinery concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126600, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126600>.