ReGeo ISSN: 2177-3246

QUALIDADE DO BIOGÁS PRODUZIDO EM BIODIGESTOR MODELO SERTANEJO PARA FINS DE COMBUSTÃO DOMÉSTICA

QUALITY OF BIOGAS PRODUCED IN A SERTANEJO-MODEL BIODIGESTER FOR DOMESTIC COMBUSTION PURPOSES

CALIDAD DEL BIOGÁS PRODUCIDO EN UN BIODIGESTOR MODELO SERTANEJO PARA SU USO EN COMBUSTIÓN DOMÉSTICA

https://doi.org/10.56238/revgeov17n8-069

Data de submissão: 27/06/2026 **Data de publicação:** 11/08/2026

Luiz Alberto Pinto Gondim
Email: eng.lgondim@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/1902606141189213

Marcus Metri Correa
E-mail: marcus.metri@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/3722390324317011

Aldo Torres Sales
Email: aldo@zootecnista.com.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/9563136339839657

RESUMO

O uso do biogás oriundo de dejetos animais surge como uma alternativa sustentável para a substituição do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em cozinhas residenciais rurais. No entanto, flutuações na composição química do gás podem comprometer a eficiência da queima e a integridade dos equipamentos domésticos. Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade do biogás gerado a partir de diferentes tipologias de esterco (bovino e suíno) focado no uso em fogões residenciais, utilizando um analisador portátil (GEM5000). Analisou-se o biogás produzido em 13 sistemas de pequena escala, monitorando os teores de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Os resultados indicaram uma média geral de 50,08% de CH_4, posicionando o combustível no limite crítico de inflamabilidade, o que fundamenta fenômenos práticos de instabilidade e coloração amarelada na chama devido à ação inerte do CO_2 (média de 39,40%). O esterco suíno demonstrou maior eficiência metanogênica, atingindo picos de até 56,6% de CH_4, porém manifestou um desvio crítico de 886 ppm de H_2S, indicando severo risco de corrosão galvânica para os componentes de latão dos fogões e toxicidade ambiental. Foram identificados ainda eventos de infiltração atmosférica com níveis de até 1,3% de O_2. Conclui-se que o biogás avaliado possui viabilidade técnica condicionada à instalação obrigatória de filtros de dessulfurização e à adoção de práticas de codigestão para elevar a qualidade do combustível.

Palavras-chave: Biodigestão Anaeróbia. Metano. Combustão Residencial. Corrosão.

ABSTRACT

The use of biogas derived from the anaerobic digestion of animal waste emerges as a sustainable alternative for replacing Liquefied Petroleum Gas (LPG) in rural residential kitchens. However,

fluctuations in the chemical composition of the gas can compromise burning efficiency and the integrity of domestic appliances. This study aimed to analyze the quality of biogas generated from different types of manure (cattle and swine) focused on its use in residential stoves, using a portable analyzer (GEM5000). Methodologically, a history of 13 samples collected directly from small-scale systems was evaluated, monitoring the levels of methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), oxygen (O_2), and hydrogen sulfide (H_2S). The results indicated an overall average of 50.08% CH_4, positioning the fuel at the critical limit of flammability, which explains practical phenomena of instability and yellowish color during combustion due to the inert action of CO_2 (average of 39.40%). Swine manure showed higher methanogenic efficiency, reaching peaks up to 56.6% CH_4, but exhibited a critical deviation of 886 ppm of H_2S, indicating a severe risk of galvanic corrosion for brass stove components and environmental toxicity. Atmospheric infiltration events were also identified with levels up to 1.3% O_2. It is concluded that the evaluated biogas has technical viability conditioned on the mandatory installation of desulfurization filters and the adoption of co-digestion practices to enhance fuel quality.

Keywords: Anaerobic Digestion. Methane. Residential Combustion. Corrosion.

RESUMEN

El uso del biogás procedente de residuos animales se perfila como una alternativa sostenible para sustituir el gas licuado de petróleo (GLP) en las cocinas domésticas rurales. Sin embargo, las fluctuaciones en la composición química del gas pueden comprometer la eficiencia de la combustión y la integridad de los electrodomésticos. El objetivo de este trabajo fue analizar la calidad del biogás generado a partir de diferentes tipos de estiércol (bovino y porcino), centrándose en su uso en cocinas domésticas, mediante un analizador portátil (GEM5000). Se analizó el biogás producido en 13 sistemas a pequeña escala, monitorizando los contenidos de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). Los resultados indicaron una media general del 50,08 % de CH_4, lo que sitúa al combustible en el límite crítico de inflamabilidad, lo que explica fenómenos prácticos de inestabilidad y una coloración amarillenta de la llama debido a la acción inerte del CO_2 (media del 39,40 %). El estiércol porcino demostró una mayor eficiencia metanogénica, alcanzando picos de hasta el 56,6 % de CH_4; sin embargo, presentó una desviación crítica de 886 ppm de H_2S, lo que indica un grave riesgo de corrosión galvánica para los componentes de latón de las estufas, así como toxicidad ambiental. También se identificaron casos de infiltración atmosférica con niveles de hasta un 1,3 % de O_2. Se concluye que la viabilidad técnica del biogás evaluado depende de la instalación obligatoria de filtros de desulfuración y de la adopción de prácticas de codigestión para mejorar la calidad del combustible.

Palabras clave: Digestión Anaeróbica. Metano. Combustión Doméstica. Corrosión.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis de energia e a necessidade de mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos agropecuários têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias de biogás no cenário rural global (KUNZ; STEINMETZ; SOUZA, 2019). No âmbito da agricultura familiar e de pequenas propriedades, a biodigestão anaeróbia de dejetos animais apresenta-se como uma solução de dupla finalidade: atua no saneamento ambiental por meio do tratamento de efluentes e gera dois novos produtos: biogás e biofertilizante. O primeiro, aproveitado para substituir o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em cozinhas domésticas (PECORA, 2018); o segundo, aproveitado para a fertilização das culturas alimentares, pois trata-se do material residual efluente no biodigestor, rico em nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

Para que o biogás atue de forma eficiente e segura como combustível em queimadores de fogões residenciais convencionais, a matriz gasosa deve apresentar características químicas específicas. A literatura estabelece que teores de metano (CH_4) entre 55% e 65% são ideais para garantir uma chama azul estável, com alta taxa de transferência térmica e livre de fuligem. Todavia, a operação de biodigestores de pequena escala carece de automação e controle rígido de parâmetros biológicos, resultando em um gás rico em dióxido de carbono (CO_2) e com concentrações variáveis de contaminantes nocivos, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S).A instabilidade composicional do biogás afeta diretamente a fenomenologia da combustão doméstica. Elevadas frações de CO_2 atuam como supressores térmicos, reduzindo a temperatura adiabática da chama e provocando a coloração amarelada ou alaranjada, o que indica uma queima incompleta. Além disso, a presença de H_2S em patamares elevados desencadeia processos severos de corrosão ácida em tubulações e obstruções físicas em bicos injetores de latão, além de gerar dióxido de enxofre (SO_2) após a queima, comprometendo a saúde respiratória dos usuários em ambientes confinados.Diante desse cenário, faz-se indispensável o uso de ferramentas de diagnóstico rápido em campo, para monitorar a real qualidade do combustível gerado antes de sua admissão nos pontos de consumo. A análise sistemática desses dados permite correlacionar o tipo de manejo do substrato alimentado no reator com a eficiência termodinâmica final observada nos fogões.O objetivo geral deste trabalho consistiu em analisar a qualidade físico-química do biogás gerado a partir de esterco bovino e suíno com foco na sua viabilidade técnica de aplicação em queimadores de fogões de uso doméstico, identificando os principais gargalos operacionais e propondo medidas mitigadoras para o controle de contaminantes.

2 DESENVOLVIMENTO

Para alcançar o objetivo geral proposto, o biogás produzido em 14 sistemas de biodigestão anaeróbia de pequena escala (Biodigestor Sertanejo), todos instalados em unidades familiares do Sertão pernambucano, mais especificamente no município de Afogados da Ingazeira, e alimentados com diferentes tipos de dejeto animal, foi analisado para a determinação quantitativa dos seus componentes. Para a análise utilizou-se um analisador portátil multigasoso da marca Landtec, modelo GEM5000 padrão.

O Biodigestor Sertanejo caracteriza-se como uma tecnologia social de baixo custo, adaptada às condições semiáridas, composta por uma câmara de digestão anaeróbia destinada ao tratamento de dejetos animais, associada a um sistema simples de armazenamento e condução do biogás para uso doméstico, especialmente em fogões residenciais, além de possibilitar o aproveitamento do biofertilizante gerado no processo.

O plano amostral compreendeu a coleta e a análise de um histórico de 13 amostras pontuais de biogás bruto, obtidas a partir de três arranjos distintos de substratos: esterco bovino puro (n = 10), esterco suíno puro (n = 2) e a codigestão combinada de esterco bovino e suíno (n = 1). As coletas foram realizadas diretamente nas linhas de saída de gás dos reatores, localizadas a montante dos sistemas de filtragem e queima residencial, assegurando a caracterização do gás em seu estado bruto de geração.

O analisador portátil multigasoso da marca Landtec, modelo GEM5000 padrão, opera por meio de uma bomba de aspiração interna ativa com vazão nominal de 550 ml/min, direcionando o fluxo gasoso para um bloco de sensores internos com proteção contra umidade. Os parâmetros monitorados e suas respectivas metodologias analíticas estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas e princípios operacionais do analisador GEM5000.

Gás Monitorado	**Unidade**	**Faixa de Medição**	**Método de Detecção**	**Resolução**
Metano (CH_4)	% vol	0 a 100%	Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	0,1%
Dióxido de Carbono (CO_2)	% vol	0 a 100%	Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	0,1%
Oxigênio (O_2)	% vol	0 a 25%	Célula Eletroquímica Galvanização	0,1%
Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)	ppm	0 a 5.000 ppm	Célula Eletroquímica Específica	1 ppm
Gás de Balanço (Bal)	% vol	0 a 100%	Algoritmo de Subtração Matemática	0,1%

Fonte: Adaptado de QED Environmental Systems (2020).

O parâmetro Gás de Balanço (Bal) foi determinado matematicamente pelo microprocessador do equipamento através da Equação 1, deduzindo do volume total a somatória dos gases majoritários medidos:Bal (%) = 100 - [CH4 (%) + CO2 (%) + O2 (%)] (Equação 1).

Os dados brutos armazenados na memória interna do dispositivo GEM5000 foram exportados e tabulados. Realizou-se a análise estatística descritiva dos parâmetros, contemplando o cálculo da média aritmética exata, identificação de valores máximos e mínimos e determinação de desvios discrepantes. Os resultados foram interpretados por meio de análise comparativa com os limites normativos de desempenho energético e corrosão estabelecidos pela literatura técnica vigente.

A eficiência de conversão e a qualidade do biogás gerado são severamente influenciadas pela natureza físico-química do substrato alimentado. Dejetos de suinocultura apresentam, historicamente, alta biodegradabilidade e uma relação Carbono/Nitrogênio (C/N) favorável, propiciando maior produção específica de metano (KUNZ; STEINMETZ; SOUZA, 2019). Em contrapartida, os dejetos bovinos possuem frações lignocelulósicas de difícil digestão originárias da dieta do ruminante, o que frequentemente resulta em taxas inferiores de metanogênese e maior concentração relativa de dióxido de carbono (CO_2) no volume total gasoso (PECORA, 2018).

Os dados brutos armazenados na memória interna do dispositivo GEM5000 foram exportados e tabulados. Realizou-se a análise estatística descritiva dos parâmetros, contemplando o cálculo da média aritmética exata, identificação de valores máximos e mínimos e determinação de desvios discrepantes. Os resultados foram interpretados por meio de análise comparativa com os limites normativos de desempenho energético e corrosão estabelecidos pela literatura técnica vigente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que o biogás atue como substituto viável do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em queimadores domésticos convencionais sem acarretar riscos operacionais, parâmetros estritos de composição devem ser atendidos. O GLP possui um elevado poder calorífico inferior (PCI), na ordem de 11.000 kcal/kg, enquanto o biogás purificado (com 60% de CH_4) atinge cerca de 5.500 kcal/m³ (PECORA, 2018).Teores de metano inferiores a 55% diminuem a velocidade de deflagração da chama, resultando em instabilidade física no queimador e queima incompleta, manifestada visualmente pela coloração amarelada da chama. Além disso, a presença de compostos traço, em especial o sulfeto de hidrogênio (H_2S), representa o maior gargalo técnico em pequena escala. Níveis de H_2S acima de 100 ppm reagem com a umidade residual formando ácido sulfídrico (H_2SO_4), um agente altamente corrosivo que danifica bicos injetores de latão e tubulações metálicas, além de emitir óxidos de enxofre

(SOx), nocivos à saúde humana quando liberados em ambientes fechados (KUNZ; STEINMETZ; SOUZA, 2019).

Os resultados analíticos referentes à composição centesimal do biogás gerado a partir das diferentes tipologias de esterco animal estudadas encontram-se sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química do biogás em função do substrato de alimentação.

Amostra	Tipo de Esterco	CH_4 (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	H_2S (ppm)	Bal (%)
1	Bovino	50,2	41,8	0,2	93	7,8
2	Bovino	48,8	38,9	0,9	87	11,4
3	Suíno	55,5	37,4	0,4	886	6,8
4	Bovino	50,6	39,1	0,2	77	10,1
5	Bovino	48,0	41,7	0,2	81	-
6	Bovino	48,7	40,5	0,3	79	10,5
7	Bovino	45,6	39,1	1,3	24	14,0
8	Suíno	56,6	32,5	0,2	132	10,7
9	Bovino	49,0	38,9	0,2	83	11,1
10	Bovino e Suíno	47,1	41,1	0,2	166	11,6
11	Bovino	48,8	40,7	0,2	62	10,4
12	Bovino	51,3	39,5	0,2	18	9,0
13	Bovino	50,8	40,9	0,2	22	8,1
Média	-	50,08	39,40	0,36	143,23	10,12

Fonte: Dados da Pesquisa.

A média aritmética geral calculada para o teor de metano (CH_4) fixou-se em 50,08%, posicionando o combustível obtido no limite inferior recomendado para processos de queima direta.

Ao discriminar os dados pelo tipo de substrato alimentado, observa-se uma discrepância marcante na eficiência da digestão anaeróbia. O esterco suíno apresentou os melhores desempenhos individuais do estudo, atingindo picos de 55,5% e 56,6% de CH_4 (Amostras 3 e 8, respectivamente). Este comportamento é amplamente corroborado pela literatura clássica (CHERNICHARO, 2016), que atribui uma maior produtividade específica de metano aos dejetos de suínos em função de sua maior fração de sólidos voláteis biodegradáveis e rico perfil lipídico, quando comparados ao dejeto bovino.

Por outro lado, o esterco bovino demonstrou menor taxa de conversão metanogênica, registrando o valor mínimo experimental de 45,6% de CH_4 (Amostra 7). O esterco proveniente de ruminantes apresenta elevada concentração de compostos lignocelulósicos recalcitrantes (celulose e

lignina), os quais demandam maior Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) para sofrerem hidrólise completa, limitando o rendimento termodinâmico instantâneo do reator em sistemas com menor controle de agitação e temperatura.

Um aspecto operacional crítico evidenciado pelo estudo foi a correlação inversamente proporcional entre o declínio nos teores de CH_4 e a elevação nos níveis de Oxigênio (O_2). Enquanto a maior parte do histórico de amostragem manteve um patamar seguro e estrito de O_2 (0,2%) — indicando a manutenção adequada da estanqueidade e do ambiente anaeróbio —, as amostras 2 e 7 registraram desvios significativos para 0,9% e 1,3% de O_2, respectivamente.

Na amostra 7, de forma concomitante ao pico de O_2 (1,3%), registrou-se o menor teor de metano do estudo (45,6%) e a maior concentração observada do gás de balanço (Bal = 14,0%). De acordo com Pecora (2018), este fenômeno caracteriza um evento de infiltração de ar atmosférico. Em sistemas reais de pequena escala, tais anomalias decorrem de microfissuras nas cúpulas de armazenamento ou de pressões de sucção excessivas exercidas pelas bombas internas dos analisadores portáteis. A consequente introdução de Nitrogênio (N_2) e O_2 atua diluindo a matriz gasosa útil e reduzindo temporariamente o potencial energético disponível.

As concentrações de sulfeto de hidrogênio variaram dentro de níveis basais toleráveis para o esterco bovino isolado, flutuando na faixa entre 18 e 166 ppm. Contudo, a amostra 3 (proveniente de matriz exclusivamente suína) apresentou uma desconformidade drástica ao atingir o pico de 886 ppm de H_2S.

Este incremento acentuado sinaliza a metabolização transitória de proteínas ricas em aminoácidos sulfurados (como metionina e cisteína), comuns em rações comerciais de suinocultura intensiva. Sob a perspectiva de utilização em ambiente doméstico, teores de H_2S superiores a 100 ppm impõem sérias restrições técnicas. O H_2S reage com a umidade condensada nas tubulações, gerando ácido sulfídrico (H_2SO_4), composto capaz de promover severa corrosão galvânica e obstrução em bicos injetores de latão de fogões residenciais. Adicionalmente, sua queima gera Dióxido de Enxofre (SO_2), um gás de odor pungente e nocivo à saúde respiratória quando disperso em cozinhas fechadas (KUNZ; STEINMETZ; SOUZA, 2019).

O elevado teor de Dióxido de Carbono (CO_2) remanescente — que oscilou entre 32,5% e 41,8% — atua como um severo supressor térmico. Sendo uma molécula triatômica inerte na combustão, o CO_2 absorve parte da energia liberada na reação química, reduzindo a temperatura adiabática da chama. Na prática, este perfil composicional (baixo metano associado a alto CO_2) justifica de forma inequívoca os fenômenos observados de instabilidade física na queima. Essa condição manifesta-se através de uma chama de coloração predominantemente amarela/alaranjada, menor eficiência na transferência

térmica (maior tempo de ebulição da água) e deposição indesejada de fuligem (carbono elementar não oxidado) na base dos utensílios domésticos.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados analíticos obtidos e nas discussões promovidas acerca da qualidade do biogás para fins residenciais, conclui-se que:

- O biogás avaliado apresenta uma média geral de 50,08% de metano (CH_4), posicionando-o no limite crítico inferior para a inflamabilidade estável em queimadores domésticos convencionais. Esse teor justifica os fenômenos práticos apontados pelos usuários de instabilidade e a coloração amarela da chama, decorrentes da ação inerte e supressora térmica do dióxido de carbono (CO_2) remanescente;
- O esterco suíno demonstrou maior eficiência de metanogênese (atingindo picos de até 56,6% de CH_4) em comparação ao esterco bovino puro, configurando-se como o substrato mais viável para a autonomia energética de fogões residenciais;
- Foram identificadas falhas operacionais pontuais de estanqueidade no sistema, evidenciadas por picos de oxigênio (O_2) de até 1,3% correlacionados à diluição imediata do teor de metano para 45,6%. Isso reforça a necessidade de monitoramento preventivo contra infiltrações de ar atmosférico;
- O pico drástico de 886 ppm de sulfeto de hidrogênio (H_2S) associado ao dejeto suíno representa um risco severo de corrosão galvânica para as tubulações e bicos injetores de latão, além de restrição à saúde respiratória devido à formação de dióxido de enxofre (SO_2) após a queima.

Como recomendações técnicas para viabilizar e otimizar o uso seguro desse biogás em cozinhas domésticas, propõe-se:

1. Instalação obrigatória de um filtro de dessulfurização (com base em limalha de ferro ou carvão ativado) na linha de gás, visando purificar o H_2S para níveis seguros (abaixo de 100 ppm);

2. Implementação de um sistema de codigestão anaeróbia, misturando o esterco bovino a resíduos de fácil degradação (como restos de alimentos vegetais) para elevar a eficiência microbiológica e a média de metano acima de 55%;

3. Adoção de purgadores de condensado eficientes para a remoção da umidade excessiva da linha, garantindo uma chama azul e limpa.

REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. v. 5. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luís Radis; SOUZA, Deisi Cristina de. Fundamentos da digestão anaeróbia e purificação do biogás. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 184 p.

PECORA, Vanessa. Sistemas de cogeração e purificação de biogás para aplicação em pequena e média escala. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 142 p.

QED ENVIRONMENTAL SYSTEMS. GEM5000 Gas Analyzer: operating manual. Dexter, MI: QED Environmental Systems, [2020]. Disponível em: https://www.manualslib.com/manual/1371253/Landtec-Gem5000.html. Acesso em: 20 jul. 2026.