

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

PRODUÇÃO DE METANO ATRAVÉS DE DEJETOS CAPRINOS E A GERAÇÃO DE ENERGIA

AUTORES:

Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame¹, Pedro Vinícius Cavalcanti Barbosa², Sérgio Perez da Silva³, Ana Cristina Moraes da Silva⁴, Michelle Sinara Gregório Dantas⁵, André Felipe de Melo Sales Santos⁶

INSTITUIÇÃO:

^{1, 2, 6}UFRPE, ³UPE, ⁴UFBA, ⁵IFRN

PRODUÇÃO DE METANO ATRAVÉS DE DEJETOS CAPRINOS – POLUIÇÃO OU GERAÇÃO DE ENERGIA

Resumo

Em uma população crescente, a demanda por proteína animal tem se intensificado, especialmente no último século. Nesse sentido, o Brasil é destaque mundial, tendo em vista as exportações do setor, contribuindo em grande parte para o PIB nacional. Neste processo produtivo, os resíduos gerados apresentam grande potencial poluidor, especialmente quando destinados de forma incorreta. Porém, quando aproveitados em processos como a biodigestão (digestão anaeróbia), podem se reverter em vantagens econômicas devido ao biofertilizante produzido e, especialmente, à geração de energia a partir do metano produzido. Muitos trabalhos têm sido publicados acerca do aproveitamento energético de dejetos de suínos, bovinos e de aves, entretanto há pouca literatura acerca do aproveitamento de dejetos caprinos. Este trabalho objetivou avaliar o potencial de geração de energia elétrica a partir de dejetos caprinos, tendo em vista a Região Nordeste, como principal produtora. Foram utilizados dados secundários do tamanho dos rebanhos nacionais e literatura técnica para o cálculo dos potenciais. O cálculo do potencial teórico considerou fatores relativos aos processos anaeróbios e perdas do processo. Observou-se que o potencial de energia teórico obtido a partir do rebanho nacional de caprinos é de 1,04 TWh/ano, suficiente para atender de cerca de 534.979 residências por um ano. Considerando que 95,5% desse rebanho se concentra na região Nordeste, sendo a Bahia e Pernambuco os maiores produtores, esse potencial energético poderia ser mais facilmente aproveitado.

Palavras-chave: Biomassa, biodigestão, potencial de geração de metano

Abstract

In a growing population, the demand for animal protein has been intensified, especially in the last century. In this sense, Brazil stands out worldwide, as the sector's exports contribute largely to the national GDP. In this production process, the waste generated has great polluting potential, especially when disposed of incorrectly way. However, when used in processes such as biodigestion (anaerobic digestion), they can result in economic advantages due to the biofertilizer produced and, especially, the generation of energy from the methane produced. Many works have been published about energy production from pig, cattle and poultry manure, however there is little literature on the use of goat manure. This work aimed to evaluate the potential for generating electrical energy from goat waste, considering the Northeast Region as the main producer. Secondary data on the size of national herds and technical literature were used. The calculation of the theoretical potential considered factors related to anaerobic processes and process losses. It was observed that the theoretical energy potential obtained from the national goat herd is 1,04 TWh/year, enough to serve around 534.979 homes for one year. Considering that 95.5% of this herd is concentrated in the Northeast region, being Bahia and Pernambuco the largest producers, this energy potential could be more easily utilized.

Keywords: Biomass, biodigestion, methane generation potential

Introdução

Com o crescimento do setor agropecuário e o aumento da produção de carnes, leites, ovos, lã, peles e couros, houve também uma elevação na quantidade de dejetos animais. Esses dejetos podem causar problemas ambientais como odores desagradáveis e contaminação da água, solo e ar se não gerenciados corretamente, afetando negativamente a sociedade.

Considerando a produção de carne, no acumulado do ano de 2023 foram produzidas 9,9 milhões de toneladas de carne bovina, 5,3 milhões de toneladas de carne suína, 13,1 de toneladas de carne de aves, 844 mil toneladas de carne de caprino e foram captados 24,52 bilhões de litros de laticínios segundo dados do IBGE (2024).

O total de rebanho caprino no Brasil era de 12.366.233 cabeças em 2021 (IBGE, 2023), do qual 95,5% está concentrado na região Nordeste do Brasil, caracterizada por condições edafoclimáticas favoráveis. A Bahia é o maior produtor, seguida de Pernambuco, Piauí e Ceará (IBGE, 2023). Nesse contexto, Pernambuco se apresenta como o estado com maior crescimento no setor, possuindo também a maior concentração de caprinos por km² sendo, em 2018, 24 cabeças/km² (IBGE, 2019). Os caprinos assumem assim uma importância social significativa, sendo muitas vezes a única fonte de renda, essencial para a sobrevivência de muitos nordestinos (ARAUJO, 2023).

A destinação dos resíduos da pecuária de maneira adequada, permite benefícios sociais, ambientais e econômicos. Dessa forma, a biodigestão anaeróbia se apresenta promissora, devido não apenas à produção do biofertilizante, que pode ser usado na agricultura, mas principalmente como uma fonte de energia rentável e renovável (BATISTA et al., 2021). O aproveitamento do potencial calorífico do gás metano (CH₄), presente na decomposição anaeróbia dos dejetos, pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico de biogás (SANTOS; NARDI JÚNIOR, 2013).

Os índices de aproveitamento dos dejetos ainda são baixos no Brasil (Lima; Bonilla; Camara, 2020). De acordo com dados da ABRELPE e Abiogás (2019), o Brasil possui potencial para produção de cerca de 4 milhões de Nm³/ano de biometano, o que levaria a uma possível geração de 14,40 TWh/ano de energia elétrica, o suficiente para abastecer 49.164.757 residências.

No processo de digestão anaeróbia, o biogás gerado é uma mistura de gases, na qual o metano é o principal componente, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Composição típica do biogás

Componente	Teor em volume (%)
Metano CH ₄	50 a 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 a 0,5
Amônio (NH ₃)	0,1 a ,05
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0,1
Água (H ₂ O)	Variável

Fonte: Adaptado de Kunz (2017)

O percentual de metano produzido a partir de dejetos de animais pode variar em função do tipo de animal, De acordo com Colatto e Langer (2011), dejetos de bovinos, equinos e aves produzem em média 60% de metano, enquanto a média para suínos é de 66%. Para caprinos e ovinos, Amorim, Lucas e Resende (2004) apresentam uma variação de 55 a 65%, com valores típicos de 60% de metano.

Orrico, Lucas Jr e Orrico Jr (2007) em estudo de biodigestão com dejetos de caprinos, constataram que a produção de metano é influenciada pela idade animal, bem como pelo tipo de dieta oferecida.

O biogás é um gás leve, de difícil liquefação (Iannicelli, 2008 – apud Zank et al., 2020). De acordo com Zank et al. (2020), a densidade do biogás é função da sua composição e, segundo os autores, para uma composição de 60% de metano e 40% de CO₂, a densidade é de 1,2039 kg/m³.

O biogás foi caracterizado por La Farge (1995), quanto ao seu poder calorífico inferior, com relação direta com o percentual de metano presente, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2: Poder calorífico do biogás a partir da concentração de metano presente.

CH ₄ %	PCI (kWh/m ³)
50	4,3
60	5,1
70	6,0
80	6,9
90	7,8
100	8,6

Fonte: Adaptado de La Farge (1995)

Kunz et al. (2014) fazem uma análise comparativa entre o biogás e outros combustíveis (tabela 3) e, para a geração de eletricidade, tem-se que 1m³ de biogás equivale a 1,428 kWh (tabela 3).

Tabela 3: Comparação entre 1 m³ de biogás e outros combustíveis.

Combustíveis	1 m ³ de biogás
Gasolina	0,613 L
Querosene	0,579 L
Óleo diesel	0,553 L
Gás de cozinha (GLP)	0,454 L
Lenha	1,536 kg
Álcool hidratado	0,790 L
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Kunz et al. (2014)_

Percebe-se que há muita literatura relacionada ao aproveitamento energético dos dejetos de suínos, bovinos e aves, porém a literatura sobre o aproveitamento de dejetos caprinos é ainda escassa. Este trabalho pretende avaliar o potencial teórico de geração de energia elétrica obtido a partir da valorização energética de dejetos caprinos através do uso do biogás gerado em sistemas anaeróbios.

Metodologia

Para a determinação do potencial teórico de produção de metano buscou-se métodos baseados em dados obtidos de estudos em escala real. A metodologia de cálculo utilizada foi adaptada por Santos e Nardi Jr (2013), e está descrita na equação 1. Esta metodologia não considera fatores como a biodegradabilidade dos resíduos relacionada à estrutura química (percentagem de compostos ligno-celulósico ou recalcitrantes) e aspectos relacionados a toxicidade inerente aos próprios resíduos, variações ambientais de processo e operação. Portanto, o resultado pode ser assumido como um máximo teórico possível, ou valor máximo referencial para estimativas e posteriores correções que tornem os resultados mais próximos do potencial real.

$$VCH_4 = N.T.Et.Pb.[CH_4].VE^{-1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

VCH_4 = volume de metano (m^3)

N = número de animais

T = tempo (dias)

Et = Total de dejetos [kg de dejetos . (dia . unidade geradora)⁻¹]

Pb = produção de biogás [kg biogás . (kg dejetos)⁻¹]

[CH₄] = concentração de metano no biogás (%)

VE⁻¹ = volume específico do metano [kg CH₄ . (m³ CH₄)⁻¹], igual a 0,670 kg /m³ CH₄

Para a determinação do potencial de energia elétrica que pode ser convertido a partir do metano, em função do seu poder calorífico inferior (PCI) na faixa de 60%, utilizou a tabela 2 (La Farge, 1995). Foi também considerado um fator de correção de 0,25 (25%), de acordo com Kunz e Oliveira (2006), devido ao baixo rendimento da transformação energética de biogás em energia elétrica com um conjunto de motogeradores de eletricidade. A Equação 2 mostra a expressão usada para o cálculo do Potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica corrigido.

$$Pot \text{ médio } CH_4 = \left(\frac{PCI \ 50\% + PCI \ 70\%}{2} \right) . 0,25 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

PCI 55% = poder calorífico inferior do biogás com volume de metano a 50% (kWh)

PCI 70%: poder calorífico inferior do biogás com volume de metano a 70% (kWh)

Para a quantificação do biogás, utilizou-se o percentual médio de metano descrito por Amorim, Lucas e Resende (2004) que corresponde à 60%, aplicado na equação 3. Para a determinação do volume de biogás real foi considerado um fator de correção de 0,5 (50%) da produção de biogás, juntamente com as perdas recorrentes de biodigestão no uso de biodigestores mais simples (lagoas cobertas), conforme a Equação 4.

$$V \text{ biogás} = V \text{ CH}_4 / \text{Metano} (\%) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$V \text{ biogás real} = V \text{ biogás teórico} . fc \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

fc = fator de correção referente a eficiência média dos processos de biodigestão mais usuais na produção de biogás e perdas na produção = 0,5 (50%)

Para o cálculo do montante de energia elétrica em kWh foram utilizados os resultados obtidos nas Equações 2 e 4, aplicados na Equação 5.

$$\text{Energia (kWh)} = V \text{ biogás real} \cdot \text{Pot médio } CH_4 \quad (\text{Eq. 5})$$

Resultados e Discussão

Inicialmente foi necessário obter a produção de biogás (kg biogás/kg de dejetos). O cálculo considerou a densidade do biogás como sendo 1,2039 kg/m³ (Zank et al., 2020). De acordo com Amorim, Lucas e Resende, 2004 a produção diária de dejetos por cabeça de ovinos e caprinos é de 0,5 a 1,5 kg/cabeça.dia - média de 1 kg/cabeça.dia, com geração de metano de 15 à 25 L/dia – média de 20 L/dia. A partir desses dados, obtém-se que a produção de biogás é de 0,024 kg de biogás/kg de dejetos.

Para o cálculo do volume de metano (equação 1), utilizou-se os dados da tabela 4. O número de cabeças de caprinos foi obtido do IBGE (2023); o tempo considerado foi de 365 dias; a produção de dejetos/cabeça.dia e a concentração de metano no biogás foi obtida de Amorim, Lucas e Resende (2020) e o volume específico de metano foi obtido de Santos e Nardi Jr apud Batista et al. 2021.

Tabela 4 – Informações relacionadas à caprinos

Número de cabeças (Brasil)	Tempo (dias)	Kg dejetos/cabeça.dia	Produção biogás (kg biogás/kg dejetos)	Concentração de metano no biogás (%)	Volume específico de metano (kg/m ³)
12.366.233	365	1	0,024	60	0,670

Fonte: Amorim, Lucas e Resende (2020); Santos e Nardi Jr apud Batista et al. 2021; IBGE (2022).

Partindo dos valores apresentados na tabela 4, aplicados na equação 1, tem-se que o volume de metano produzido em um ano a partir de dejetos caprinos é de 9,7E+7 m³. Portanto, considerando que o biogás de caprinos apresenta 60% de metano, o volume de biogás é de 1,62E+8 m³, conforme a equação 3. Considerando perdas de processo de 50%, característica de uso de reatores mais simples, do tipo lagoa coberta, tem-se que o volume real de biogás é de 8,1E+7 m³ (equação 4).

A partir da equação 2, pode-se calcular o potencial médio de metano: 1,29 kWh e, juntamente com o volume de biogás real, obtém-se que o equivalente em energia elétrica é de 1,04E+8 kWh/ano (equação 5)

De acordo com a Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica (2020), o consumo nas residências brasileiras foi de 162 kWh/mês para o consumidor médio, o que corresponde a cerca de 1.944 kWh/ano. Desta forma considerando a contribuição de dejetos de caprinos de 1,04E+8 kWh/ano, seria possível prover de energia a cerca de 53.750 residências por ano.

De acordo com Ben (2020), a matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente (64,9%) de energia hidráulica e apenas 8,4% provêm da biomassa. Neste estudo, considerou-se apenas o rebanho caprino, que é relativamente pequeno, comparado ao rebanho bovino e suíno, o que potencializaria ainda mais a oferta de energia.

Contudo, há que se destacar que boa parte da pecuária de caprinos se desenvolve de forma extensiva, o que dificultaria a coleta dos resíduos. Mesmo com essas limitações, é importante ressaltar que a grande

contribuição do aproveitamento desses resíduos seria para a geração distribuída, para diversificação da matriz elétrica e para o meio ambiente, reduzindo as emissões de CO₂ e eliminando a poluição relacionada a eles. Apesar das dificuldades inerentes aos tamanhos variados dos empreendimentos e rebanhos (pequeno, médio e grande portes) e ainda considerando questões estruturais, técnicas e logísticas pode-se afirmar que os ganhos poderiam justificar os investimentos em todos os portes de empreendimentos com ganhos na geração de calor ou energia e ainda biofertilizante, agregando valor e reduzindo custos operacionais no agronegócio.

Conclusões

A metodologia utilizada permitiu calcular o potencial de energia elétrica a partir de dejetos caprinos que, considerando o rebanho nacional, geraria 1,04E+8 kWh/ano, suficiente para abastecer 53.750 residências. Considerando que 95,5% desse rebanho se concentra na Região Nordeste, essa contribuição seria mais bem aproveitada, principalmente na Bahia e Pernambuco – os maiores produtores. A produção de energia através de rejeitos animais é uma contribuição significativa aos ciclos produtivos agroindustriais em todas as escalas, contribuindo também para a diversificação da matriz energética e elétrica nacional.

Referências Bibliográficas

ARAUJO, A.M.S. Fontes lipídicas na gestão estratégica de redução de custos com alimentação de cabras leiteiras. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

AMORIM, A.C.; LUCAS JR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal. V.24, n.1, 2004.

BATISTA, F. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; MARQUES, V. C. A.; SANTOS, A. F. M. S. Estimativa da produção de biogás para geração de energia elétrica através de dejetos de animais da pecuária no Brasil. Anais do congresso internacional da agroindústria - CIAGRO, 10-11 jun. 2021.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2020. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. Empresa de pesquisa energética. Ano XIII, Número 148, Janeiro de 2020. Disponível em: Acesso em: 26/07/2024.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2020. BEN: Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: . Acesso em: 26/07/2024.

COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. Unoesc & Ciencia – ACET. v.2, n.2, p.119-128, 2011 2011.

IANNICELI, L. A. Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira. Taubaté: DEM/UNITAL, Dissertação mestrado. 2008. In: ZANK, J.C.C.; BRANDT, L.S.; BEZERRA, R.C.;

PEREIRA, E.N. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. *Exacta*, v.18, n.3, p. 502-516, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rebanho de caprinos (bodes e cabras). Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/caprinos/br>. Acesso em 30/julho/2024.

IBGE. Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho, segundo o Brasil, as grandes regiões e as unidades da federação. 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>>. Acesso em: Acesso em 30/julho/2024.

KUNZ, A. Embrapa - Curso: Energias renováveis processos de biodigestão. 2017. Concórdia: Embrapa. Disponível em: . Acesso em: 20/07/2024.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Embrapa - Gestão Ambiental na Agropecuária. 2014. V. 2, Cap. 6, p. 236-281.

KUNZ A., OLIVEIRA P. A. V. de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola*. Nº 3, p28-35, 2006.

LA FARGE, B. de. Le biogaz: procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1995. In: BATISTA, F. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; MARQUES, V. C. A.; SANTOS, A. F. M. S. Estimativa da produção de biogás para geração de energia elétrica através de dejetos de animais da pecuária no Brasil. *Anais do congresso internacional da agroindústria - CIAGRO*, 10-11 jun. 2021.

LIMA, J. D. O.; BONILLA, O. H.; CÂMARA, C. P. Tratamento anaeróbio de dejetos orgânicos para remoção de poluentes e patógenos provindos de suinocultura na Universidade Estadual do Ceará. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 3, p. 1202-1211, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv3n3-039> Acesso em: 25/08/2021.

SANTOS, E. L. B. D.; NARDI JUNIOR, G. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v.4, n.2, agosto, 2013.

ORRICO, A.C.A.; LUCAS JR, J.; ORRICO JR, M.A.P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.27, n.3, p.639-647, set./dez.2007.

ZANK, J.C.C.; BRANDT, L.S.; BEZERRA, R.C.; PEREIRA, E.N. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. *Exacta*, v.18, n.3, p. 502-516, 2020.