
Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani
Trabalho de Graduação

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA”
FACULDADE NILO DE STÉFANI DE JABOTICABAL - SP (Fatec-JB)
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS**

**BIOGÁS PRODUZIDO DA SUÍNOCULTURA E A GERAÇÃO DE
BIOELETRICIDADE**

LUIZ PHELIPE TROVÓ CAMARGO

**PROFA ORIENTADORA: DRA. LARISSA ALBUINO SILVA
PROFACOORIENTADORA: DRA CAMILA CARLA GUIMARÃES**

JABOTICABAL, S.P.

2021

LUIZ PHELIPE TROVÓ CAMARGO**BIOGÁS PRODUZIDO DA SUÍNOCULTURA E A GERAÇÃO DE
BIOELETRICIDADE**

Trabalho de graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em **Biocombustíveis**

Orientadora: Profa. **Dra. Larissa Albuino Silva**

Coorientadora Profa. **Dra. Camila Carla Guimarães**

JABOTICABAL, S.P.

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Camargo, Luiz Phelipe Trovó

Biogás produzido da suinocultura e a geração de bioeletricidade / Luiz Phelipe Trovó Camargo — Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, 2021.

18p.

Orientador: Larissa Albuino Silva

Coorientador: Camila Carla Guimarães

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani - Jaboticabal, Ano de conclusão do curso.

1. Biogás. 2. Bioeletricidade. 3 Suinocultura. I. Silva, Larissa A. II. Biogás produzido da suinocultura e a geração de bioeletricidade .

LUIZ PHELIPE TROVÓ CAMARGO

**BIOGÁS PRODUZIDO DA SUÍNOCULTURA E A GERAÇÃO DE
BIOELETRICIDADE**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em **Biocombustíveis**

Orientadora: Profa. **Dra. Larissa Albuino Silva**

Co-orientadora Profa. **Dra. Camila Carla Guimarães**

Data da apresentação e aprovação: 17/11/2021.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA

Dra. Larissa Albuino Silva

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Dra. Rose Maria Duda

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Dr. Valciney Gomes de Barros

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Local: Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Jaboticabal – SP – Brasil

BIOGÁS PRODUZIDO DA SUÍNOCULTURA E A GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE

Luiz Phelipe Trovó Camargo (aluno)^I
 Larissa Albuino Silva (orientadora)^{II}
 Camila Carla Guimarães (co-orientadora)^{III}

RESUMO

O biogás é uma mistura de gases composto em sua grande maioria de metano e dióxido de carbono e é produzido a partir da decomposição da matéria orgânica pela ação de microrganismos. O metano, originado do biogás é considerado um biocombustível, que pode ser empregado na geração de energia térmica e elétrica. A produção do biogás, acontece pelo processo denominado digestão anaeróbia, através da atuação de microrganismos utilizando-se como substratos dejetos animais, resíduos sólidos urbanos, subprodutos da indústria sucroenergética, entre outros tipos de matérias orgânicas. O principal objetivo do uso do biogás é o aproveitamento dos resíduos e convertê-los em energia. Para produzir biogás usa-se os biodigestores, que são digestores biológicos que possibilitam um ambiente anaeróbico onde ocorre a decomposição dos resíduos. O setor de suinocultura produz grandes quantidades de resíduos e os biodigestores estão se tornando cada vez mais uma opção econômica, que pode reduzir custos e melhorar a gestão ambiental destes resíduos. Este trabalho tem como objetivo investigar a utilização do biogás produzido a partir de resíduos da suinocultura para a produção de bioeleticidade, como uma oportunidade de agregar valor e melhorar a gestão de resíduos do setor.

Palavras-chave: Subprodutos. Economia. Biofertilizantes.

ABSTRACT

Biogas is a mixture of gases composed mostly of methane and carbon dioxide and is produced from the decomposition of organic matter by the action of microorganisms. Methane, originating from biogas, is considered a biofuel, which can be used in the generation of thermal and electrical energy. The production of biogas takes place through the process called anaerobic digestion, through the action of microorganisms using animal waste, urban solid waste, by-products from the sugar-energy industry, among other types of organic matter, as substrates. The main objective of using biogas is the use of waste and converting it into energy. To produce biogas, biodigesters are used, which are biological digesters that provide an anaerobic environment where waste decomposition occurs. The swine industry produces large amounts of waste and biodigesters are increasingly becoming an economical option that can reduce costs and improve the environmental management of this waste. This work aims to investigate the use of biogas produced from swine waste for the production of bioelectricity, as an opportunity to add value and improve waste management in the sector.

Keywords: By-products. Economy. Biofertilizers

^I Currículo sucinto, vinculação corporativa e endereço de contato (e-mail). Ex.: Estudante do curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) – São Paulo – Brasil. E-mail:

^{II} Currículo sucinto, vinculação corporativa e endereço de contato (e-mail). Ex.: Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) – São Paulo – Brasil. E-mail:

^{III} Currículo sucinto, vinculação corporativa e endereço de contato (e-mail). Ex.: Profa. Dra. da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) – São Paulo – Brasil. E-mail:

Data de submissão:

Data de aprovação: inserir a data de aprovação na banca examinadora

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é considerada uma atividade de grande destaque no mundo. Segundo Guaraldo (2021), em 2020 o Brasil alcançou a terceira posição mundial na produção, com 41 milhões de cabeças, ou seja, 4,4% do total de animais criados no mundo (IBGE, 2017a). O Brasil, portanto, é um dos maiores produtores dessa atividade e a região sul do país é a que mais se destaca, desempenhando um papel socioeconômico muito importante.

Segundo o estudo sobre o impacto da Covid-19 nas cadeias produtivas de frangos de corte, ovos e suínos, realizado pela Embrapa, em abril de 2020, os volumes de carne suína embarcados foram 34% maiores do que o primeiro trimestre de 2019 (GRANTER, 2020), o que demonstra o potencial brasileiro de produção de suínos.

Sendo assim, a suinocultura é considerada uma atividade de suma importância para a economia, e a sua produção gera dejetos (resíduos) que devem ser corretamente gerenciados do ponto de vista ambiental, social e econômico.

Os dejetos de suínos podem ser tratados por meio da digestão anaeróbia, e o processo que reduz a carga orgânica e produz um gás, denominado biogás. Oliveira (2004) esclarece que quando se produz e consome energia oriunda da suinocultura, há a diminuição do gasto final da produção.

O biogás é um biocombustível tendo como origem a matéria orgânica, que pode ser decomposta produzindo gases, sendo o metano a sua maior parte, se o processo for executado de forma correta. O metano é um gás combustível utilizado para a geração de energia veicular, térmica e elétrica.

Nas décadas de 70 e 80, o interesse do Brasil pelo biogás aumentou, principalmente entre os suinocultores. O plano oficial tem estimulado a implantação de diversos biodigestores, que têm como foco principal a produção de energia e a produção de biofertilizantes, assim como a redução dos impactos desses resíduos no meio ambiente (BRASIL, 2012).

A energia é cada vez mais evidenciada pela interferência nos custos finais de produção, fator que merece melhor atuação no caso de suínos e aves, pois as oscilações de preços reduzirão a competitividade do setor. É importante destacar que a crise energética, o aquecimento global e os altos preços do petróleo determinaram a busca por fontes alternativas de energia no meio rural (OLIVEIRA, 2004).

Em virtude da necessidade de se abrandar o conflito entre a segurança energética e sustentabilidade econômica, social e ambiental, destaca-se que o sucesso para o desenvolvimento crescente de energias renováveis, a geração de bioeletricidade a partir de biogás, dependerá diretamente de políticas globais e regionais de produção e comercialização em mercados domésticos e internacionais (DA SILVA SANTOS, 2019).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal investigar a utilização dos dejetos da suinocultura para a produção de bioeletricidade. Além disso, analisar a viabilidade teórica da conversão dos dejetos de suínos em biogás.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Geração de energia no Brasil

Contrariando os crescentes apelos mundiais para emprego de fontes energéticas menos poluentes, a matriz energética mundial ainda é amplamente composta por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural (IEA, 2021).

No Brasil, este cenário é um pouco diferente: embora o consumo de energia obtido por fontes não renováveis seja maior, o país utiliza mais fontes renováveis que o resto do mundo. Somando lenha, carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras, totaliza-se 48,3% de energia consumida a partir de fontes renováveis, o que abastece quase metade da demanda do país. Se levado em consideração somente a geração de energia elétrica, o destaque é ainda maior para as renováveis: 65,2 % hidráulica, 1,7% solar, 8,8% eólica e 9,1% de biomassa (EPE, 2021).

Embora a energia hidráulica, que fornece mais da metade da energia elétrica consumida no Brasil, seja uma energia renovável, o histórico de geração de eletricidade no país mostra a necessidade de fontes alternativas. Em 2013, por exemplo, houve uma escassez de chuvas em praticamente todas as regiões do Brasil, provocando redução significativa na geração de energia elétrica proveniente das hidrelétricas e aumento da tarifa de energia em função da necessidade de produzi-la a partir da queima de carvão fóssil (OLIVEIRA et al., 2018).

A crise de 2013 voltou a se repetir nos anos seguintes (MARQUES, ROCHA, JOHNSSON, 2020; FAYER, et al., 2019) e tem sido agravada pela crescente demanda de energia, observada também neste último ano, em decorrência da mudança do estilo de vida que a sociedade brasileira se encontra, em consequência do agravamento da pandemia do Covid-19.

A pandemia do Covid-19 forçou a população a adotar medidas sanitárias para evitar a disseminação do vírus, sendo a maior delas o distanciamento social, fazendo com que grande parte das pessoas desenvolvesse suas atividades dentro do seu lar, como exemplo, home office e as aulas remotas. Neste cenário, as famílias notaram um aumento considerável em suas contas de energia, tendo como justificativa o fato de estarem utilizando mais os eletrodomésticos, meios de ventilação, computadores e carregadores nas tomadas, ou seja, recursos dependentes de energia elétrica (DIARIO POPULAR, 2021.).

Em conjunto, estes fatos chamaram a atenção da sociedade em geral, levantando discussões sobre o aumento da demanda energética, dependência das fontes que dispomos atualmente, necessidade de diversificação da matriz e possibilidade de geração de energia de forma descentralizada. Nestas discussões, o biogás surge como alternativa viável, pois pode ser empregado como fonte de energia térmica, veicular e elétrica, atendendo desde grandes empreendimentos até pequenas comunidades e proprietários rurais.

2.2 Biogás e bioeletricidade

O biogás é o nome dado a um conjunto de gases, composto majoritariamente por metano (50 a 75%) e dióxido de carbono (25 a 40%), entre outros gases traços. Sua produção é possível por meio da digestão anaeróbica da matéria orgânica em condições específicas como de temperatura, pH e nutrientes disponíveis, por exemplo (GRANDO, 2017).

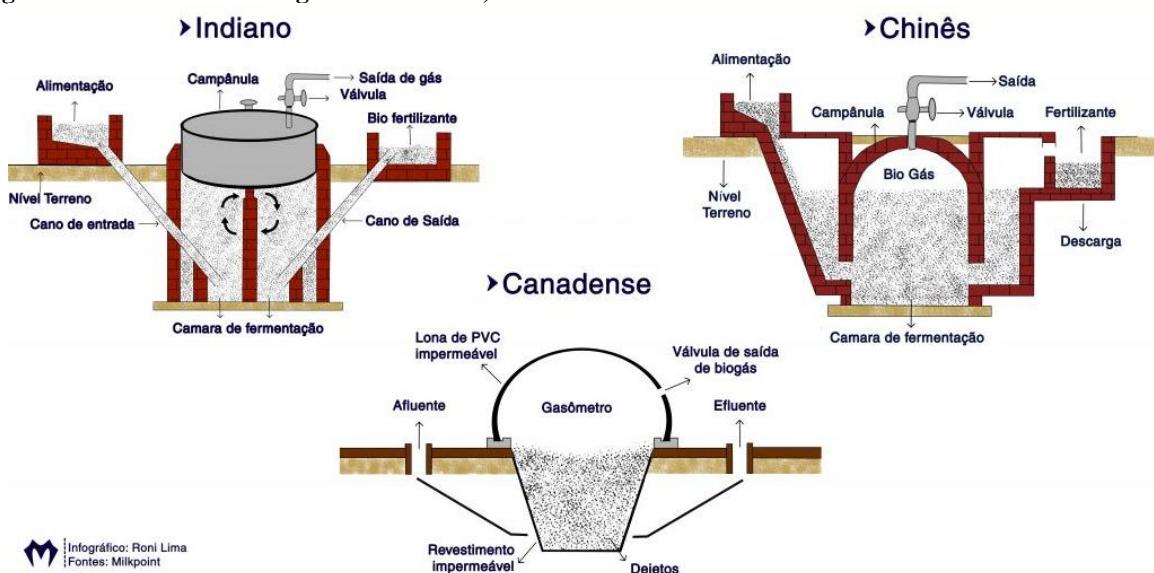
A digestão anaeróbica ocorre em um sistema de tratamento anaeróbico, nos quais os resíduos orgânicos (dejetos de aves, bovinos e suínos, vinhaça, restos de alimentos, etc.) busca-se evitar a adição de água , de forma a favorecer a ação de grupos específicos de

microrganismos que se alimentam destes materiais, transformando-os em biogás e biofertilizante (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

O processo da digestão anaeróbia (DA) ocorre em quatro etapas: moléculas orgânicas complexas são fragmentadas em partículas menores durante a hidrólise, antes de serem incorporados pelas bactérias para conversão em ácidos orgânicos de cadeia curta, entre outros compostos, como álcoois, óxidos de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio e dióxido de carbono, na etapa da acidogênese. Os ácidos orgânicos são então convertidos em ácido acético, com a concomitante produção de hidrogênio e dióxido de carbono na acetogênese e estes são utilizados como substratos imediatos da produção de metano durante a metanogênese. Outra via de conversão, indesejada, mas bastante presente na degradação da matéria orgânica, consiste na produção de gás sulfídrico pela presença de substratos que favorecem a multiplicação das bactérias sulforedutoras. O gás sulfídrico é um gás prejudicial para a saúde humana e com alto poder corrosivo (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

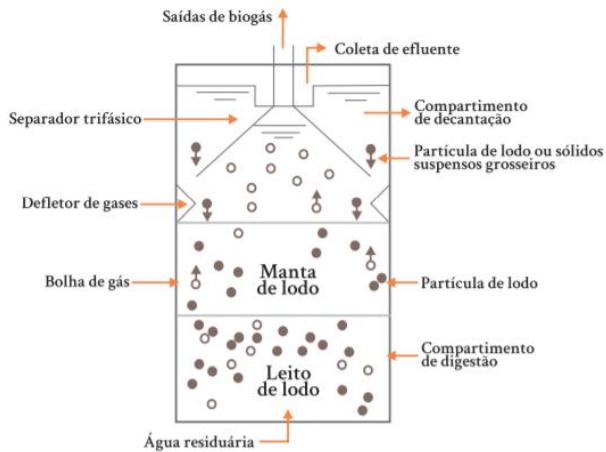
Os modelos de biodigestores empregados na produção do biogás evoluíram ao longo dos anos e são escolhidos e construídos dependendo do volume do substrato a ser empregado e a tecnologia disponível a ser utilizada. Nas áreas rurais, os mais encontrados são os de modelo Chinês, Indiano e Canadense (Figura 1) (FRIGO et al., 2015).

Figura 1 – Modelos de biodigestores Indiano, Chinês e Canadense



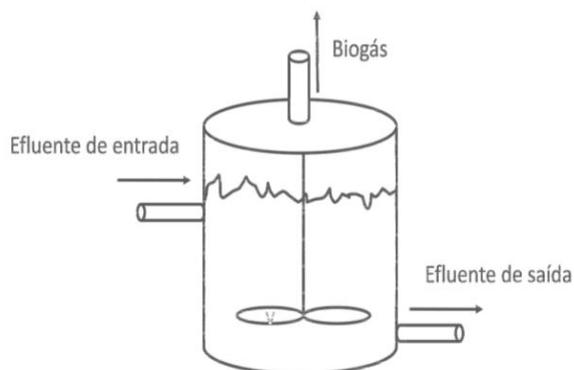
Entre os modelos mais modernos e direcionados para plantas industriais, para águas residuárias com baixos teores de sólidos, estão o UASB (do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (Figura 2) e CSTR (do inglês Continuous Stirred Tank Reactor) (Figura 3) (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

Figura 2 – Modelo de biodigestor UASB



Fonte: Kunz, Steinmetz, Amaral (2019)

Figura 3 – Modelo de biodigestor CSTR



Fonte: Balmant (2009).

Biodigestor modelo indiano: Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação; biodigestor modelo indiano :Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. (Deganutti,2002)

O Tempo de detenção hidráulica é 40 a 30 dias nos três biodigestores sendo eles o indiano, canadense e chinês. Após digestão anaeróbica dos resíduos em qualquer um dos modelos de biodigestor, a decomposição da energia química que gera o gás que pode ser transformado em energia mecânica capaz de ativar um gerador. Este, por sua vez, permite a geração de energia elétrica. O interesse na geração de bioeletricidade em áreas rurais tem crescido ao longo dos anos, visto a fragilidade do sistema elétrico nacional em atender estas regiões no interior do país e ao aumento da demanda energética das propriedades. O biogás se destaca como uma fonte alternativa de produção de energia elétrica viabilizada a partir da Resolução nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, que autorizou a geração de energia pelo consumidor a partir de fontes renováveis. Novos projetos foram então colocados em prática e os produtores passaram a se interessar cada vez mais pela produção de energia a partir dos resíduos gerados em suas próprias propriedades. Nestes termos, o estado do Paraná se destaca no Brasil, tendo o maior número de instalações de sistemas de biogás a partir de resíduos da suinocultura (REIS, 20020).

Biodigestor modelo Canadense: É um sistema horizontal, feito por uma caixa de entrada em alvenaria. Essa caixa é pouco profunda, mas muito larga. Consequentemente, o material tem maior exposição ao calor do sol. Isso aumenta a produção de biogás e reduz o risco de entupimento. (Emas Jr, 2020)

O Reator UASB é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica utilizado quando está a abaixo de 5 % de sólidos. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido. O esgoto aflui ao reator e após ser distribuído pelo seu fundo, segue uma trajetória ascendente, desde a sua parte mais baixa, até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico abaixo de 5 % de sólidos o tempo de detenção deste reator é de 2 a 4 dias

3 Produção de biogás a partir de dejetos suínos

Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), o Brasil aumentou sua produção de carnes suínas em mais de 10% no ano de 2020 em comparação com o ano anterior (2019), produzindo um total de 4,436 milhões de toneladas.

O destaque do Brasil na criação e exportação de carne não só de suínos, mas de bovinos e aves (IBGE, 2017b) tem intensificado os problemas ambientais decorrentes da criação destes animais, sendo preciso a adoção de medidas para gerenciamento adequado dos dejetos gerados nesta atividade (KUNZ, OLIVEIRA, 2006).

Entre os métodos alternativos de gerenciamento dos dejetos está a produção de biogás. O potencial de geração de biogás a partir de dejetos animais é característico para cada categoria de animal e está associado aos fatores de manejo como dieta dos animais e sistema digestivo (KUNZ, OLIVEIRA, 2006).

De acordo com a literatura, os dejetos suínos tem uma capacidade média de geração de metano de $0,29 \text{ m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{kg}_{\text{GSV}}^{-1}$ (MITO et al., 2018). O trabalho de Trevisan e Monteggia (2009) analisou a produção de biogás a partir de efluente da suinocultura utilizando digestão anaeróbia em dois estágios. Como resultado obteve-se uma eficiência de 60 e 69% na

remoção da matéria orgânica com produção de biogás com uma concentração de metano entre 65 e 70%.

Freitas e Borsato (2012) desenvolveram um estudo de caso em uma fazenda de grande porte em Uberlândia - MG demonstrando que com a correta utilização dos biodigestores foi possível obter energia renovável e o fertilizante orgânico proporcionando à fazenda benefícios sociais, ambientais e financeiros como a redução de custos com energia elétrica, adubação química, óleo diesel e GLP.

Estes trabalhos assim como outros disponíveis na literatura confirmam que o emprego de dejetos animais para produção de biogás se apresenta como uma alternativa importante para proprietários rurais que criam suínos, pois permite a obtenção de energia própria, minimizando ou excluindo necessidade de consumo externo, reduzindo ainda os impactos ambientais causados pela atividade de criação destes animais.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para analisar a viabilidade teórica do potencial energético dos dejetos de suínos em biogás foi realizado um estudo de caso, por meio de pesquisa e leitura de artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, ensaios, e informações em sites confiáveis. Utilizou-se as plataformas digitais de pesquisa e recolha de dados, Google Acadêmicos, Scielo e Repositório Universitário.

3.1 Viabilidade teórica de produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura

Neste item foi abordada a metodologia proposta pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (EGGLESTON et al., 2006) de estimativa do potencial de produção de metano e biogás. Sendo esta metodologia empregada nos trabalhos que analisam a viabilidade teórica de produção de biogás a partir de dejetos animais. Esta metodologia estima a produção teórica de metano e subdivide-se em três categorias, denominadas “Tier 1”, “Tier 2” e “Tier 3”, sendo que a escolha da categoria depende dos dados disponíveis para o cálculo.

Neste trabalho serão abordadas as equações do Tier 2, de acordo com os autores Kerkhoff et al. (2015) e Mito et al. (2018), em que é um método mais complexo que requer informações detalhadas sobre as características dos animais e as práticas de manejo de dejetos, sendo utilizado para calcular o fator de emissão específico para as condições de cada país.

Vale ressaltar que, apesar desta metodologia ter sido desenvolvida originalmente para estimar emissões de metano, algumas adaptações podem ser feitas, como por exemplo, considerar que o metano representa 60% do biogás.

Equação 1. Equação matemática para determinar o Fator de Emissão (EGGLESTON et al., 2006).

$$FEM = SV \times 365 \times \beta o \times 0,67 \times \frac{FCM}{100} \times SM$$

Onde:

FEM: fator de emissão de metano por população/categoria em $\text{KgCH}_4\text{cab}^{-1}\text{ano}^{-1}$

SV: sólidos voláteis $\text{KgSSV}\text{cab}^{-1}\text{dia}^{-1}$

βo : capacidade de produção de metano pelo dejetos em $\text{m}^3\text{CH}_4\cdot\text{KgSV}^{-1}$

0,67: conversão de m^3 metano por kg de metano

FCM: fator de conversão de acordo com o manejo em %

SM: fator do sistema de gerenciamento dos resíduos

Equação 2. Equação matemática para determinar a emissão de CH₄ (EGGLESTON et al., 2006).

$$CH_4\text{dejetos} = \sum \frac{FEMXN}{10^6}$$

Onde:

CH₄ dejetos: emissão de metano durante o manejo de dejetos em Gg_{CH4}ano⁻¹

FEM: fator de emissão de metano por população/categoria em Kg_{CH4}cab⁻¹ano⁻¹

N: número de animais da categoria em questão

Os valores que podem ser usados para metodologia do IPCC (EGGLESTON et al., 2006) para os parâmetros qualitativos são:

$$SV (\text{kg cab}^{-1}\text{dia}^{-1}) = 0,3$$

$$B_0 (\text{m}^3_{CH_4} \text{ kg}_{SV}^{-1}) = 0,29$$

$$FCM (\%) = 0,79$$

$$SM = 1$$

Para estimar a produção de biogás os trabalhos utilizam a metodologia desenvolvida pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER (2009), descrita na equação 3, elaborada com base na metodologia e nos parâmetros descritos no IPCC (KERKHOFF et al., 2015; MITO et al., 2018).

Equação 3. Cálculo da produção diária de biogás (CIBIOGÁS, 2009 apud MITO et al. 2018).

$$PBD = N \left(\frac{PM}{PP} \right) \times FDC \times SV \text{ padrão} \times \left(\frac{FCM \times Boxfb}{CH_4} \right)$$

Onde:

PDB: produção diária de biogás em m³ dia⁻¹

N: número de animais

PM: peso médio em Kg

PP: peso padrão em Kg

FDC: fração diária de confinamento (entre 0 e 1)

SV: Kg_{SSV}cab⁻¹ano⁻¹

FCM: fator de conversão de metano para a linha de base do sistema (lagoa aberta)

Bo: capacidade de produção de metano pelo dejetos em m³_{CH4}.Kg_{SV}⁻¹

f_b: fator de correção de incertezas

CH₄: porcentagem de metano no biogás em %

Em que os valores que podem ser usados para metodologia do CIBiogás-ER para os parâmetros qualitativos são:

$$SV (\text{kg cab}^{-1}\text{dia}^{-1}) = 0,3$$

$$B_0 (\text{m}^3_{CH_4} \text{ kg}_{SV}^{-1}) = 0,29$$

$$FCM (\%) = 0,78$$

$$f_b = 0,94$$

$$\% \text{ CH}_4 = 60$$

Por fim, o potencial teórico de produção de biogás (m^3/ano) pode ser convertido em potencial de geração de energia elétrica (MW/h) baseando-se na equivalência de que 1 m^3 de biogás representa energeticamente 1,43 kW/h (COLDEBELLA *et al.*, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo principal desta pesquisa foi investigar a utilização dos dejetos da suinocultura para a produção de bioeletricidade e analisar a viabilidade teórica da conversão dos dejetos de suínos em biogás o modelo de biodigestor utilizado na pesquisa trata-se de um modelo canadense. Para início da discussão, foi escolhido como modelo o município de Jaboticabal –SP e o número de suínos criados no município segundo último Censo Agro, realizado em 2017 (IBGE, 2017a).

Os dados levantados permitiram estimar o potencial teórico da produção de biogás, de energia elétrica e de gás de cozinha empregando-se um software desenvolvidos pelo CIBiogás (<https://cibiogas.org/teste1/>) que utiliza como base os cálculos indicados na metodologia deste trabalho.

O número de suínos em Jaboticabal, no ano de 2017, foi de 1.433 cabeças. Considerando uma população formada por 25% de animais na fase de terminação, 25% como sendo matriz fêmea, 25% matriz macho e 25% de leitão creche, seria possível produzir, a partir de seus dejetos, aproximadamente 103.119 Nm^3 de biogás por ano, o que corresponderia a 759 botijões de gás de cozinha de 13 Kg ou a produção de 2974 kWh de bioeletricidade por ano, o suficiente para manter o consumo de energia elétrica de uma casa popular por um ano (Figura 4). A quantidade de energia elétrica gerada é significativa, pois poderia ajudar a demanda dos criadores destes animais.

É importante ressaltar que além das categorias dos suínos (creche, matriz, terminação) o sistema de criação, tipo de alimentação, manejo dos animais na granja, a tecnologia empregada na digestão e fatores climáticos interferem na produção de biogás a partir dos dejetos dos animais e que, portanto, os valores apresentados são uma estimativa e não substitui uma análise de viabilidade técnico-econômica no local.

Figura 4 – Estimativa teórica de produção de biogás, energia elétrica e gás de cozinha a partir dos dejetos animais produzidos por suínos criados no município de Jaboticabal – SP em 2017



Fonte: CIBiogás (2021).

Outros estudos na literatura comprovam a viabilidade do uso do biogás pelos criadores de suínos. Strassburg, Oliveira e Rocha Junior (2016) avaliaram o potencial teórico de produção de biogás a partir da quantidade de suínos criados na região do Oeste do Paraná.

Com uma população de suínos de 2.085.267 cabeças, a capacidade de geração biogás a partir dos dejetos destes animais é de 4.233.092 m³. A quantidade de biogás equivalente em produtos do cotidiano das pessoas no Oeste do Paraná é de 2.370.532 litros de gasolina, 3.809.783 litros de álcool e 6.053.322 kwh. Estes valores são ainda mais significativos quando leva-se em consideração que o biogás é produzido a partir de resíduos que seriam descartados ocasionando prejuízos ao meio ambiente.

Passaglia, Santos e Guidini (2019) analisaram a viabilidade econômica na geração de energia elétrica através do biogás obtido pelos dejetos dos suínos criados em uma propriedade no Rio Grande do Sul. A viabilidade financeira foi calculada utilizando-se três indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback e os resultados apontaram viabilidade favoráveis ao investimento nos três indicadores utilizados, possibilitando a produção de 100% da energia elétrica consumida na propriedade, além de dar uma destinação mais adequada aos resíduos gerados pelas atividades de criação dos animais.

Outro estudo analisou a viabilidade do pagamento pelos dejetos suínos de pequenos produtores de uma região, por meio da implantação de uma central de energia a partir do biogás. Considerando aspectos econômicos baseados nos três indicadores citados acima (TIR, Payback e VPL) em três diferentes cenários (com grupo moto gerador de 120 kVA; com grupo moto gerador de 330 kVA; com grupo moto gerador de 420 kVA) em biodigestor modelo canadense, com capacidade volumétrica de 2500 m³, os autores concluíram que o pagamento pelos dejetos dos suínos desta região pode gerar renda extra para o produtor rural apresentando uma viabilidade econômica significativa para os produtores (MACHADO et al., 2020).

No estudo realizado por Souza et al. (2004) apud Cervi (2010) numa propriedade rural de suínos, estimaram o consumo em 39 kWh e constaram que seriam necessárias 258 matrizes de suínos com capacidade de gerar, cada uma, 0,775 m³ de biogás por dia, para instalação de um grupo gerador com potência de 40 kW. É necessário ressaltar que entre um dos fatores determinantes para a produção de metano e biogás é o manejo dos dejetos, pois influencia na qualidade e quantidade dos efluentes, sendo que o aumento no volume de efluentes resultantes da diluição destes (sem alteração no número de animais) não significa índices maiores de geração de biogás, pois, encontra-se vinculada ao teor de SV do efluente (KERKHOFF et al., 2015; MITO et al., 2018).

Em conjunto estes trabalhos mostram que há benefícios significativos para que agentes da atividade suína se envolvam com a produção de biogás. Os ganhos vão além da possibilidade de geração da própria energia: estes estariam atuando diretamente para preservação do meio ambiente através do gerenciamento correto dos resíduos gerados em suas próprias propriedades. Assim, torna-se importante estímulos do governo para produção de energia elétrica renovável de forma descentralizada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desses estudos, pode-se observar que a utilização do biogás produzido pela suinocultura para a geração da bioeletricidade, é, portanto, um meio mais ecologicamente correto, pois os dejetos descartados podem ser aproveitados de maneira que causem uma redução no impacto do meio ambiente e gerem renda/economia para os produtores.

Os estudos de projetos de implementação de biodigestores e sistemas de conversão de biogás em energia elétrica através dos dejetos animais, além de ser uma excelente vantagem socioeconômica, também é uma maneira inteligente de se fazer a gestão de resíduos altamente poluidores e agregar valor ao sistema com a geração de produtos, tecnologias e empregos. Sendo assim, o levantamento bibliográfico realizado proporcionou mais uma fonte de

conhecimento e informação para o setor de suinocultura para a produção de biogás no território brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2021**. São Paulo:ABPA. Disponível em http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Annual_2021_web.pdf. Acesso em 10 nov.de 2021.
- BALMANT, Wellington. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biogestão anaeróbica**. 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, 2009.
- BRASIL. MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA. PROINFA: **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia**. 2002. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/proinfa>. Acesso em 09 de out. de 2021.
- CERVI, Ricardo G.; ESPERANCINI, Maura ST; BUENO, Osmar de C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 831-844, 2010.
- CIBIOGÁS-ER - Centro Internacional De Energias Renováveis. **Plataforma De Informações Para Energias Renováveis**. Manual de equações e metodologias do Simulador, 2009.
- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S.N.M.; FERRI, P.; KOLLING, E.M.; Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe Gepec**, v. 12, n. 2, p. 44-55, 2008.
- DA SILVA SANTOS, Paula; CRUZ, Bruna Laís Ojeda; SILVA, Frederico Fonseca. New Institutional Economy: an analysis of the sugarcane industry, highlighting the institutional factors regarding the production and commercialization of bioelectricity. **Ciência e Natura**, v. 41, p. 2, 2019.
- DEGANUTTI, Roberto, PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido, ROSSI, Marco et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Proceedings online... Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200200100031&lng=en&nrm=abn>. Acess on: 23 Nov. 2021.
- DIÁRIO POPULAR. **Estudo Analisa Aumento do Consumo Residencial de Energia Durante a Pandemia**, Pelotas: Diário Popular, abr. 2021. Disponível em <https://www.diariopopular.com.br/geral/estudo-analisa-aumento-do-consumo-residencial-de-energia-durante-a-pandemia-159850/>. Acess em 09 de set. 2021.
- EGGLESTON, H. S. et al. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. 2006. Disponível em <https://www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em 10 de out. de 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2021 - BEN 2021 ano base 2020, Rio de Janeiro, 2020.

Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topicos-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf.

Acesso em: 10 nov. 2021.

FAYER, Geane Cristina et al. Crise hídrica: Evolução dos decretos estaduais sobre escassez hídrica em Minas Gerais. **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do SUL**, n. 1999, p. 1-10, 2017.

FREITAS, Gabriela Souza de; BORSATO, Jaluza Maria Lima Silva. **Um estudo sobre a utilização de biogás como fonte renovável de energia em uma fazenda de criação de suínos em Minas Gerais**. Encontro Nacional de Geografia Agrária, v. 21, 2012.

FRIGO, Késia Damaris de Azevedo et al. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015

GRANDO, Rafaela Lora. **Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás**. 2017. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, 2017.

GRANTER. **Mercado de Suínos: Confira o Panorama Brasileiro e Desafios**, 2020. Disponível em: <<https://granter.com.br/mercado-de-suinos-confira-o-panorama-brasileiro-e-desafios/>>. Acesso em: 05/2021

GUARALDO, Maria Clara. Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo. Brasília:Embrapa, 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acesso em 12 de nov. de 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agro 2017a**. Disponível em https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html?local_idade=35&tema=75677. Acesso em 10 nov. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agro 2017b**. Disponível em https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em 10 nov. 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity/heat supply and consumption, OECD and selected countries**, 2021. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-products>. Acesso em 10 nov. 2021.

KERKHOFF, Sabrina et al. Potencial teórico de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa residual da suinocultura da região oeste do Paraná. In: **10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**. 2015. p. 1-10.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola, v. 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019, 209 p.

MACHADO, Luana Pilar et al. Análise da Viabilidade do Pagamento aos Pequenos Produtores pelos Dejetos Suínos para Geração de Energia-Biogás. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.** 2020.

MARQUES, Rafael Vargas; ROCHA, Marcelo Borges; JOHNSSON, Rosa Maria Formiga. Crise hídrica de 2014-2015 no sudeste do brasil: análise nas revistas Scientific American Brasil e Veja. **Revista Ciências & Ideias ISSN: 2176-1477**, v. 11, n. 1, p. 49-67, 2020.

MITO, Jessica Yuki de Lima et al. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil.** Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert+-+Metodologia+para+estimar+o+potencial+de+biog%C3%A1s+e+biometano+a+partir+de+plant%C3%A9is+su%C3%ADnos+e+bovinos+no+Brasil.pdf>. Acesso em: 09 de nov. de 2021.

OLIVEIRA, Haroldo G. et al. Energia, Sociedade e Meio Ambiente no Desenvolvimento de Um Biodigestor: a Interdisciplinaridade e a Tecnologia Arduino para Atividades Investigativas. **Química Nova Escola**, São Paulo-SP, v. 40, n. 3, p. 144-152, 2018.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.

PASSAGLIA, Rúbia Carla; SANTOS, Carlos Alerto Frantz; GUIDINI, Willian Paulo. Análise de investimento para geração de energia elétrica através do biogás em uma propriedade de suínos. **Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente**, v. 21, p. 1-11, 2019.

REIS, Liegi. **Biogás e energia elétrica: como produzir eletricidade com resíduos orgânicos?** 2020. Disponível em <https://cibiogas.org/blog-post/biogas-e-energia-eletrica-como-produzir-eletricidade-com-residuos-organicos/>. Acesso em 10 nov. 2021.

RODRIGUES, Jéssica. **Energias renováveis se tornam opção para moradores do Cone Sul.** 2019. Disponível em <http://www.morcegada.unir.br/?p=995>. Acesso em 10 nov 2021.

SILVA, Ana Claudia Guedes; TREVISON, Gabriel de Menezes. Processo de produção e aproveitamento energético do biogás: uma revisão dos sistemas e tecnologias existentes no mercado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 197-210, 2019.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, p. 5, 2004.

STRASSBURG, Udo; DE OLIVEIRA, Nilton Marques; DA ROCHA JUNIOR, Weimar Freire. O potencial de geração de biogás proveniente da criação de suínos no oeste do Paraná: Um estudo exploratório. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 4, p. 803-818, 2016.

Tipos de biodigestor: entenda o funcionamento e qual é o melhor para você. EMAS JR. CONSULTORIA, 2020. Disponível em: <<https://emasjr.com.br/blog/2020/03/16/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>>. Acesso em: 31/11/2021

TREVISAN, V.; MONTEGGIA, L. O. Produção de biogás a partir de efluente da suinocultura utilizando digestão anaeróbia em dois estágios. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais. 2009. p. 264-268.

APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE

TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, [nome completo do(a) aluno(a)], RG [], CPF [], aluno(a) regularmente matriculado(a) no **Curso Superior de Tecnologia em [Nome do Curso]**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado **[inserir o título]** é **ORIGINAL**.

Declaro que recebi orientação sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tenho conhecimento sobre as Normas do Trabalho de Graduação da Fatec-JB e que fui orientado sobre a questão do plágio.

Portanto, estou ciente das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas de meu Trabalho de Graduação, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, [inserir dia, mês e ano].

[Assinatura do(a) aluno(a)]

[Nome completo do(a) aluno(a)]