

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Antonio Silvano Silva dos Santos

**BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS ANIMAIS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE: REVISÃO
INTEGRATIVA DE LITERATURA**

Taubaté - SP

2023

Antonio Silvano Silva dos Santos

**BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS ANIMAIS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE: REVISÃO
INTEGRATIVA DE LITERATURA**

**Dissertação apresentada para
obtenção do Título de Mestre pelo
Curso de Ciências Ambientais do
Departamento de Ciências Agrárias
da Universidade de Taubaté.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Roberto
Furlan**

Taubaté - SP

2023

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU**

S237b Santos, Antonio Silvano Silva dos
Biodigestor para o tratamento de dejetos animais para a
produção de biogás e biofertilizante: revisão integrativa de
literatura / Antonio Silvano Silva dos Santos. -- 2023.
58 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté,
Departamento de Ciências Agrárias, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan.
Departamento de Ciências Agrárias.

1. Impactos Ambientais. 2. Projetos Agroindustriais. 3. Área
Rural. 4. Processo Anaeróbico. I. Universidade de Taubaté.
Departamento de Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências
Ambientais. II. Título.

CDD 665.776

Antonio Silvano Silva dos Santos

**BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS ANIMAIS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE: REVISÃO
INTEGRATIVA DE LITERATURA**

**Dissertação apresentada para
qualificação no Mestrado em
Ciências Ambientais - Programa
de Pós-graduação em Ciências
Ambientais da Universidade de
Taubaté.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Roberto
Furlan**

DATA: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof^a. Dra. Elisa Mitsuko Aoyama

Universidade Federal do Espírito Santo

Assinatura _____

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, e em especial ao meu orientador prof. Dr. Marcos Roberto Furlan pela dedicação, paciência e apoio, que contribuíram de forma positiva para a conclusão deste trabalho.

Também, aos meus professores, pelos ensinamentos e conhecimentos adquiridos. Aos meus familiares, minha esposa, Celma soares Lima dos Santos, meus pais, Antonio Ferreira dos Santos e Domingas Silva dos Santos (1950 - 2023), pelos incentivos e acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois, durante os meus estudos tive algumas dificuldades e ele sempre achou uma forma de me ajudar e por atender sempre as minhas orações.

Agradeço aos meus professores, Dr. Marcos Roberto Furlan, professor Dr. Paulo Fortes Neto, Marcelo Targa e a todo corpo docente da Universidade de Taubaté, pela dedicação, pelos ensinamentos de forma clara e objetiva e que se mostraram competentes contribuindo significativamente para a realização do meu curso de pós-graduação *stricto sensu*.

Agradeço ainda, à minha família, em especial minha esposa, Celma Soares Lima dos Santos, à minhas filhas, Maria Isabele Soares dos Santos e Maria Isadora Soares dos Santos, e em especial meus pais, Antonio Ferreira dos Santos e Domingas Silva dos Santos (1950 - 2023), pelo incentivo e apoio. Sou grato, por fazerem parte da minha vida.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz e os seus planos serão bem-sucedidos”.

Provérbios 16:3

RESUMO

Esse estudo verificou a possibilidade de implantação do biodigestor para o tratamento de dejetos animais de forma ambientalmente correta, para a produção do biogás e biofertilizante e com isso, evitar impactos ambientais causados pelo despejo indevido dos insumos de animais além da capacidade em gerar renda. No entanto, apesar dos incentivos nos últimos anos para minimizar os problemas ambientais, o Brasil ainda se encontra distante dessa realidade. Neste cenário, a aplicação de novas tecnologias é de grande relevância para o desenvolvimento do País, principalmente nas áreas rurais onde existe número bem significativo da população. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a possibilidade de implantar um biodigestor em área rural, onde o ramo produtivo da agropecuária interfere no crescimento populacional e nas mudanças de hábitos de vida da sociedade. Diante disso, a metodologia utilizada trata-se de uma pesquisa bibliográfica, em artigos, dissertações, revistas científicas, e apostilas, e se caracteriza como de natureza exploratória e descritiva, a partir de levantamento bibliográfico e documental. Na pesquisa foi encontrado modelos de biodigestores mais utilizados no Brasil, processo de biodigestão, bem como a quantidade de biodigestores instalados no Brasil conforme disponibilizados pelo biogasmapp, ferramenta desenvolvida pela CIBiogás. Foram feitos a análise de artigos para que se tenha uma base da importância do biodigestor, além, de um estudo experimental na Comunidade Nova conquista I, no município de Parauapebas, Pará/BR, a fim de avaliar o potencial energético local por meio de cálculos matemáticos. Os aspectos socioambientais, aspectos econômicos, os métodos de impactos ambientais e a matriz de interação, são importantes como viabilização em projetos industriais e agroindustriais de pequeno, médio e grande porte. Portanto, o processo anaeróbico, por meio da matéria orgânica de dejetos da suinocultura apresenta grandes potencialidades para a produção de biogás e biofertilizante, além, de fonte energéticas trazendo benefícios não só para as pessoas como ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos Ambientais. Projetos Agroindustriais. Área Rural. Processo Anaeróbico.

ABSTRACT

This study verified the possibility of implanting the biodigester for the treatment of animal waste in an environmentally correct way, to produce biogas and biofertilizer and with that, to avoid environmental impacts caused by the improper disposal of animal inputs beyond the capacity to generate income. However, despite the incentives in recent years to minimize environmental problems, Brazil is still far from this reality. In this scenario, the application of new technologies is of great importance for the country's development, especially in rural areas where there is a very significant number of people. Thus, the present work aimed to analyze the possibility of implementing a biodigester in a rural area, where the productive branch of agriculture interferes with population growth and changes in society's lifestyle. In view of this, the methodology used is a bibliographical research, in articles, dissertations, scientific journals, and handouts, and is characterized as exploratory and descriptive in nature, based on a bibliographical and documentary survey. The research found models of the most used biodigestors in Brazil, the biodigestion process, as well as the number of biodigestors installed in Brazil as provided by biogasmapp, a tool developed by CIBiogás. Articles were analyzed in order to have a base of the importance of the biodigester, in addition to an experimental study in Comunidade Nova conquista I, in the municipality of Parauapebas, Pará/BR, in order to evaluate the local energy potential through calculations mathematicians. The socio-environmental aspects, economic aspects, the methods of environmental impacts and the interaction matrix are important to enable small, medium, and large industrial and agro-industrial projects. Therefore, the anaerobic process, through organic matter from pig farming waste, has great potential to produce biogas and biofertilizer, as well as an energy source bringing benefits not only to people but also to the environment.

KEY WORDS: Environmental impacts. Agroindustrial Projects. Rural area. Anaerobic Process.

LISTA DE SIGLAS

AIA - Avaliação de Impactos Ambientais

ANEEL - Agência Nacional de Energia,

ANP - Agência Nacional de Petróleo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP - Conferência das Partes

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEES - Emissão de Gases de Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional

Mote - Megatonelada de Óleo Equival

PPMV - partes por milhão em volume

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil)

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TWh - Terawatt-Hora

VBP - Valor Bruto da Produção Agropecuária

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE, CONCEITOS AMBIENTAIS E CONCEITO DE POLUIÇÃO AMBIENTAL	4
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAL	5
3.3 MATRIZ DE INTERAÇÃO	6
3.4 SUINOCULTURA COMO SUPRIMENTO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	8
3.5 ORIGEM DO BIODIGESTOR	10
3.5.1 <i>Biodigestor</i>	11
3.5.2 <i>Modelos de Biodigestores</i>	12
3.5.3 <i>Modelo indiano</i>	12
3.5.4 <i>Modelo chinês</i>	14
3.5.5 <i>Modelo canadense</i>	16
3.5.6 <i>Processo de Funcionamento do Biodigestor</i>	17
3.6 BIOGÁS	19
3.7 BIOFERTILIZANTE.....	20
3.7.1 <i>Fatores que afetam a digestão</i>	21
3.8 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DA UTILIZAÇÃO DE UM BIODIGESTOR	22
3.9 ASPECTOS ECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO DO BIODIGESTOR	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 ETAPAS E PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR.....	27
5.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS	29
5.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS USADOS NA PESQUISA	30
5.4 PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL	37
5.5 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA COMUNIDADE NOVA CONQUISTA I.....	39
6. CONCLUSÃO.....	42
7. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional associado às mudanças nos hábitos de vida da sociedade contemporânea estimulou o consumo de energia, bem como a dependência de energias não renováveis. No Brasil, nas últimas décadas, as altas nos preços de energias destinadas ao consumo domiciliar (elétrica e gás) afetaram com maior intensidade as famílias de baixa renda, em especial as que estão inseridas no âmbito da agricultura familiar, e que frequentemente buscam por uma fonte alternativa de energia para suprir suas necessidades, como a substituição do gás de cozinha pela lenha.

No entanto, o uso da lenha como fonte de energia térmica provoca impactos socioambientais, dentre os quais a geração de gases de efeito estufa e o desmatamento. A exposição diária à fumaça gerada pela queima de lenha é um fator que decorre em doença pulmonar obstrutiva crônica (MOREIRA et al., 2013).

Novas tecnologias em energias renováveis surgiram como alternativa para redução da dependência dos combustíveis fósseis, e diminuição de custos e de prejuízos socioambientais na geração de energia. Algumas tecnologias já são realidade, como, por exemplo, as energias maremotriz, hidráulica, eólica, geotérmica e ondomotriz, o hidrogênio e os biocombustíveis. No que permeia o biogás, trata-se de um biocombustível que tem alcançado cada vez mais espaço no cenário das energias renováveis, diante de seu alto potencial energético e por se caracterizar por uma fonte limpa.

O biogás basicamente se constitui por gás metano, formado por combustível, e dióxido de carbono, sendo que uma parte não é combustível, e que se origina da decomposição de biomassa em meios anaeróbios pelas bactérias metanogênicas. Monteiro (2011) discorre que após a purificação do biogás é obtido o biometano, também conhecido como gás natural renovável, que pode ser injetado na rede de distribuição de gás natural, misturado ao gás natural convencional.

Na União Europeia, a produção de biogás tem se expandindo ao longo dos anos. Em 2011, foi produzido 10,1 Mtoe (megatonelada de óleo equivalente) em energia primária na forma de biogás, e que contribuíram para produção de 35,9 TWh (terawatt-hora) (BIOGAS BAROMETER, 2017). Nessa mesma publicação, verifica-se que em 2017, essa produção chegou a 16,6 Mtoe em energia primária na forma de biogás, e parte dela se converteu em energia elétrica, com o total 62,6 TWh.

O uso do biogás como tecnologia do processo anaeróbico tem se comprovado como uma das mais eficientes, pelo fato que o biodigestor é composto basicamente de uma câmara fechada em que a biomassa é fermentada anaerobicamente, dessa forma o biodigestor promove condições adequadas em que as bactérias metanogênicas possam atuar sobre a biomassa para produção desse combustível Coldebella (2006).

No Brasil, de acordo com o panorama apresentado pela plataforma BiogásMap, atualmente, existem 628 plantas de biogás instaladas, com 252,01 Mi produção de biogás (Nm³/ano) proveniente de atividades agropecuária BiogásMAP (2023)

Diante do exposto, foram necessários fazer uma análise dos artigos pesquisados sobre a qualidade da energia elétrica, a disponibilidade energética para propriedades rurais em áreas rurais e a viabilidade da implantação de biodigestores. O uso dessas tecnologias, são importantes para o desenvolvimento e aumento da produtividade no campo.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar uma revisão integrativa de leitura sobre biodigestor para implantação em área rural.

2.2 Específicos

- Avaliar a viabilidade do biodigestor para uma área rural no município de Parauapebas-Pará;
- Fornecer as etapas para a instalação de um biodigestor para o tratamento de dejetos animais, visando a produção de biogás e biofertilizantes; e
- Demonstrar a importância do biodigestor para o meio rural.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Conceitos de Sustentabilidade, Conceitos Ambientais e Conceito de Poluição Ambiental

O conceito de desenvolvimento sustentável partiu-se das de encontros entre líderes e estudiosos em todo o mundo, que objetivaram que com a geração de novas tecnologias possam-se contribuir para que a vida dos indivíduos no ambiente, seja mantida sem agredir o meio ambiente. Nesse sentido, o conceito refere-se ao ambiental, que é sustentabilidade ambiental, ou desenvolvimento ambiental sustentável. PEREIRA et al. (2016).

No termo desenvolvimento sustentável, o conceito mais aceito, refere-se ao desenvolvimento capaz de suprir com as necessidades da geração presente, sem comprometer a capacidade do atendimento as necessidades das próximas gerações (WWF, 2017).

Ao se referir em meio ambiente, segundo o Artigo 3º da Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº6. 938, de 31 de agosto de 1981, o conceito de meio ambiente, significa o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (BRASIL, 1981).

Quanto ao conceito de sustentabilidade ambiental, Furtado (2005, p. 184), define como: “Qualidade de processos que garantem, conservam e mantêm os limites biogeofisicoquímicos naturais necessários para a produção de bens renováveis, a extensão de vida útil dos não-renováveis e a qualidade dos serviços naturais como clima, recuperação da fertilidade do solo, biorrecuperação de áreas degradadas, bioconversão de despejos e restos depositados na superfície”.

Com o aumento populacional, surge a demanda pela produção de alimentos que atendam às necessidades das pessoas. Com base nisso, a agropecuária e a agroindústria vêm se tornando como os que mais contribuem para os impactos, sendo assim, tornam-se necessárias medidas alternativas para um desenvolvimento de um sistema de produção sustentável (SILVA et al., 2013).

Em conformidade com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (2023), o Brasil representa em 2023 um valor bruto da produção agropecuária (VBP) estimado em R\$ 1,179 trilhões, superior a 3,8% sobre os R\$ 1,135 trilhões do

ano de 2022. A expansão da VBP pode ser explicada pelo aumento da produtividade, especialmente das lavouras, pela baixa dos preços do milho, soja e trigo que têm forte relevância no cálculo do VBP.

Neste cenário, a pecuária brasileira com faturamento de R\$ 343,8 bilhões, apresenta uma retração real de 1,8% em relação a 2022. Contribuição positiva é dada pela carne suína. O aumento da produção agropecuária tem se tornado uma das principais causas da degradação ambiental. Conforme a Lei Nº6.938, de 31 de agosto de 1981, entende-se como “degradação da qualidade ambiental a alteração adversa das características do meio ambiente”.

O termo poluição ambiental provém, pela mesma Lei 6.938/81, como: “A degradação da qualidade ambiental, resultante de atividade que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Outro termo que está relacionado aos processos produtivos e suas causas negativas são os impactos ambientais. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ISO 14.001:2004 o impacto ambiental significa “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou parte, das atividades, produtos, serviços de uma organização”.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, na Resolução nº 001 de 23 de janeiro de 1986, Artigo 1, define impacto ambiental como: “Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas (...)”.

3.2 Métodos de Análise de Impactos Ambiental

Para a intervenção socioambiental, usam-se técnicas e instrumentos que têm o objetivo de: avaliar, identificar e sintetizar os impactos ambientais de determinado programa, sendo esses métodos de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) em sua maioria, resultados da evolução de outros métodos existentes, que surgiram de técnicas de planejamento e de estudos econômicos ou ecológicos.

Mariano (2017) complementa que essas técnicas, têm característica de disciplinarem os raciocínios e os procedimentos para a identificação dos agentes causadores de impactos e as respectivas modificações decorrentes de uma ação ou de um conjunto de ações.

Na literatura, são encontradas várias técnicas, cada uma com características voltadas para cada realidade do local e de execução do estudo. Oliveira e Medeiros (2007) relatam que os mais usados são: Método Espontâneo; Lista de Controle; Superposição de Mapas; Sistema Battelle-Collumbus; Modelos de simulação; Análise Multicritério; Sistemas Especiais; Modelo Fuzzy; Diagrama de Fluxo e Projeção de Cenários. Dessa forma destacam que, a avaliação dos impactos deve abranger todos os fatores ou componentes do meio ambiente, incluindo os recursos naturais, estéticos, históricos, naturais, sociais e de saúde pública.

3.3 Matriz de interação

Matriz de interação é um método de avaliação de impacto bidimensional, sendo exercentes ferramenta para se encontrar e prever os impactos de forma direta e as ações que o causaram em qualquer fase de implantação de um projeto (OLIVEIRA; MOURA, 2009).

Uma das primeiras ferramentas no formato de matrizes para avaliação de impactos ambientais data de 1971, resulta do trabalho de Leopold et al. (1971), e do serviço Geológico dos EUA. Sendo uma das mais requisitada mundialmente ela foi projetada com o intuito de avaliar os impactos associados a quase todos os tipos de implantação de projetos (BECHELLI, 2010).

De forma geral, a matriz de interação visa analisar efeitos que causam a ação de certo projeto, no meio: antrópico, físico e biológico, por meio de atributos e parâmetros que classificam os impactos.

Quadro 1. Matriz de interação dos impactos.

AÇÃO: UTILIZAÇÃO DO BIODIGESTOR		IDENTIFICAÇÃO DO IMPACTO	ATRIBUTOS DOS IMPACTOS					
			CARÁTER	ORDEM	MAGNITUDE	DURAÇÃO	ESCALA	REVERSIBILIDADE
FASE DE OPERAÇÃO	AMBIENTAL	Redução do desmatamento pelo desuso da lenha.	+	I	2	C	L	R
		Destinação apropriada para os dejetos animais.	+	D	2	C	L	R
		Diminuição da eutrofização dos corpos hídricos.	+	I	2	M	L	R
		Diminuição do lançamento de gás metano na atmosfera.	+	I	2	C	L	R
		Consumo de água excessivo.	-	D	1	C	L	R
		Não suporta toda a quantidade de todos os dejetos gerados.	-	D	2	C	L	R
	SOCIAL	Manutenção esporádica.	+	D	1	C	L	R
		Extinção do manuseio de lenha para fins de cocção.	+	I	2	C	L	R
		Diminuição da possibilidade de doenças relacionadas ao esterco e queima de biomassa.	+	I	2	C	L	R
	ECONÔMICO	Produção de gás para fornecimento de energia térmica.	+	D	2	C	L	R
		Produção de biofertilizante para adubação orgânica das culturas.	+	D	2	C	L	R
		Baixo custo de implantação.	+	D	2	C	L	R

Fonte: Gaspar (2003).

Os itens escolhidos devem atender as características ambientais da área de influência do projeto, do tipo de projeto. Dessa forma, os parâmetros de avaliação são apenas métodos e devem ser aplicados nas atividades de maior intensidade de risco do projeto, devendo ser monitorados com atenção (MOTA; AQUINO, 2002).

A metodologia usada para a matrizes de interações, iniciou-se a partir da tentativa de substituir falhas encontradas nas listagens de controle (checklist). Portanto é importante, separar todas as possíveis interações entre as ações e os fatores, para que depois seja estabelecida a magnitude e a importância de cada impacto em uma escala. A partir daí é possível determinar e avaliar se o impacto em questão é positivo ou negativo (OLIVEIRA E MOURA, 2009).

No entanto, o método é torna-se eficaz para a identificação de impactos diretos, uma vez que, em um projeto são abordados fatores: sociais, ambientais e econômico, fornecendo informações qualitativos e quantitativos, que ajudam em tomada de decisão.

3.4 Suinocultura como suprimento na produção de biogás

De acordo Oliveira (2004), a produção de suínos é considerada pelos órgãos de controle ambiental, uma das atividades de maior impacto ao meio ambiente. Na suinocultura, o aumento dos dejetos animais, podem causar um impacto negativo ao meio ambiente, quando não se faz o destino correto desta biomassa, podendo contaminar o solo, o lençol freático e a proliferando bactérias (GASPAR, 2003).

Diante disso, observa-se que a tecnologia de biodigestão anaeróbica passa a ser uma alternativa que promove a sustentabilidade em muitas propriedades rurais, por apresentar ganhos referentes ao saneamento, à produção de fertilizante e energia gerada a partir da produção de biogás que, podendo substituir o uso de combustíveis fósseis (LIMA, 2015).

A tecnologia da digestão anaeróbica tem merecido relevância nas pesquisas devido aos aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem de nutrientes (BARICHELLO e HOFFMANN, 2010).

Como proposta que pode proporcionar soluções ambientais eficientes, o biogás para geração de energia elétrica pode contribuir positivamente com meio ambiente, uma vez que a queima do gás metano (CH₄), cerca de vinte (20) vezes mais poluentes que o dióxido de carbono (CO₂), minimiza o agravamento do efeito estufa, e também, pode ser aproveitado como energia que pode ser usado em fogões, geladeiras,

lâmpioes, chuveiro, sistemas de aquecimento aviário, motores de combustão interna e geração de energia renovável.

De acordo com, Nogueira e Zurn (2005), os países, China e Índia nas décadas de 1950 a 1960, foram os pioneiros, sendo que a China tinha como objetivos a busca pelo fertilizante, para tentar atender a grande demanda na produção de alimentos, diante de sua numerosa população. Já a Índia frisava o uso do biogás nas propriedades rurais, gerando energia e iluminação nos lares. Dessa forma, os biodigestores podem ser classificados em diferentes tipos, sendo os mais utilizados no Brasil, o biodigestor Indiano e o Canadense.

No Brasil, a história dos biodigestores difundiu-se nas décadas de 1970 a 1980, devido à crise energética da época, obrigando a buscar novas alternativa de energia. Em 1990, os biodigestores foram impulsionados para agregar valor aos despejos animais, para a produção de biofertilizantes, visando boas práticas agrônômicas (KUNZ, 2006).

Para Couto, e Langer (2011), o biodigestor é uma tecnologia que atende totalmente as exigências de tratamento dos dejetos suínos, reduzindo em grande parcela os possíveis impactos ambientais sobre o solo, águas e ar da região. Observa-se então que a produção do biogás e do biofertilizante pelo sistema de biodigestão podem agregar valores econômicos ao meio rural, proporcionando mais qualidade na geração de energia renovável, como também na reciclagem de nutrientes para as plantas e no saneamento ambiental.

Com o objetivo de encontrar soluções para as alterações climáticas, e aquecimento global, em 1992 foi adotado após a Cúpula da Terra que ocorreu no Rio de Janeiro, conhecida como ECO 92, criou-se a COP (Conferência das Partes), sendo uma associação entre todos os países membros ou parte dos signatários da conferência mundial.

Os encontros anuais deram início em 1995 onde na última Convenção das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) ocorrida em 2016, reuniram de maneira representativa, chefes de estado de 190 países. (EXAME, 2015).

Santos e Oliveira, (2011) relacionam o combate das emissões de CO₂, à existente oportunidade quanto à venda de crédito de carbono, onde um crédito

corresponde a uma tonelada de CO₂, que ao evitar as emissões no meio ambiente, pode ser vendido por U\$\$5,66 a tonelada. Com a movimentação de créditos, o carbono assume cerca de U\$\$ 400 milhões por ano, e com os investimentos necessários para gerar tais créditos, a movimentação aproxima-se de U\$\$ 1,6 bilhão anual.

Portanto, entende-se que a venda de crédito de carbono torna-se uma agregação de valor para as propriedades rurais. Dessa forma, Pereira (2005), afirma que os créditos de carbono são certificados emitidos para um agente que reduziu a sua emissão de gases do efeito estufa (GEE).

3.5 Origem do Biodigestor

Uma substância inflamável de composição química desconhecida foi identificada em regiões pantanosas em meados de 1600. Com a evolução dos estudos descobriu-se que o odor estava relacionado à decomposição da matéria orgânica a descoberta desse gás foi atribuída a Shirley em 1667 (CLASSEN, 1999). No entanto, em 1776 o pesquisador italiano Alessandro Volta descobriu o metano incorporado no que era chamado de “gás dos pântanos”, que surgia da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados.

A primeira instalação de biodigestor para produção de gás combustível foi em Bombaim, Índia, em 1857, para abastecer um hospital de hansenianos, enquanto isso, pesquisadores na Alemanha e na França buscavam estabelecer bases teóricas e experimentais para a digestão anaeróbia. Em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para cidade de Exeter, Inglaterra, onde o gás obtido era utilizado na iluminação da cidade (NOGUEIRA, 1986).

Em 1900, o primeiro biodigestor em batelada foi posto em funcionamento regular também em Bombaim. Os povos mais atingidos pela segunda grande guerra desenvolveram técnicas para obter biogás através de dejetos e resto de culturas. Gaspar (2003) apontam que os estudos para desenvolvimento de biodigestores foram muito difundidos na Índia, que em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, desenvolveu a primeira usina de biogás.

Para dar continuidade nas pesquisas, a Índia formou o *Gobar Gas Institute*, em 1950, comandado por Ram Bux Singh, onde os estudos resultaram na difusão dos

biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e conservar o efeito fertilizante do produto, esse trabalho pioneiro permitiu a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestor no interior do país (COUTO, 2011). A China também adotou a tecnologia a partir de 1958, instalando 7,2 milhões de biodigestores até o ano de 1972 na região do Rio Amarelo.

O interesse da China pela utilização do biogás se tornou questão vital quando o país de tamanho continental e com excesso de população. Um ataque nuclear era temido no auge da guerra fria, buscava-se então uma alternativa para descentralização energética do país, pois um ataque a grandes matrizes energéticas, como uma hidrelétrica, deixaria os grandes centros sem energia, inviabilizando as atividades econômicas, entretanto, nos pequenos centros os biodigestores seriam fontes energéticas ideais (BARREIRA, 1993).

3.5.1 Biodigestor

O biodigestor é o equipamento constituído por uma câmara fechada onde é depositado material orgânico em solução aquosa. Após o material orgânico sofrer a biodegradação pelo processo de digestão anaeróbia ocorre à liberação de biogás e a produção de biofertilizante (DEGANUTTI et al., 2002).

Existem vários tipos de biodigestores, que em geral são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da matéria orgânica (biomassa), e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás.

Em relação ao abastecimento do material orgânico, o biodigestor pode ser classificado como contínuo abastecimento diário, com descarga proporcional à entrada de matéria orgânica, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de matéria orgânica, retendo-a até a complexa biodigestão.

Então, retirasse os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais.

A implantação de biodigestores para beneficiamento de biogás nas propriedades rurais aproveitando os dejetos de bovinos e suína é uma forma de

minimizar os impactos ambientais e trazer benefícios para as pessoas que vivem no local, tais como; utilizar o biogás em fogão doméstico, lampião, geladeira e combustível para funcionamento de motores de combustão interna, chocadeira, secadores de grãos e ainda promoverá a devolução de produtos vegetais ao solo através de biofertilizante (BARREIRA, 2011).

As condições locais e fatores como a disponibilidade de biomassa, experiência e conhecimento do construtor são cruciais para a escolha do modelo que mais se adéque a situação (OLIVEIRA; JUNIOR, 2013).

3.5.2 Modelos de Biodigestores

Os tipos de biodigestores podem diferir entre si quanto ao fornecimento de gás, podendo ser classificados em contínuos e descontínuos. O biodigestor do tipo descontínuo fornece biogás durante certo período até que se interrompa a sua produção para a descarga do material fermentado, então uma nova carga de material orgânico é feita para que seja digerido (OLIVEIRA, 2009).

Esse tipo de abastecimento é mais indicado quando há utilização de matérias orgânicas de decomposição lenta e com longo período de produção, como quando há palha ou forragem misturada a dejetos animais (GASPAR, 2003). Os biodigestores contínuos são ideais para uso constante do biogás, pois quando operados corretamente fornecem gás de forma permanente.

Enquadram-se nessa categoria os modelos chinês, indiano e o canadense (OLIVEIRA, 2009). Villela e Silveira (2005) destacam que esses modelos são interessantes para o uso de diferentes resíduos orgânicos animais e vegetais, no entanto, requerem abastecimentos periódicos, geralmente diários.

3.5.3 Modelo indiano

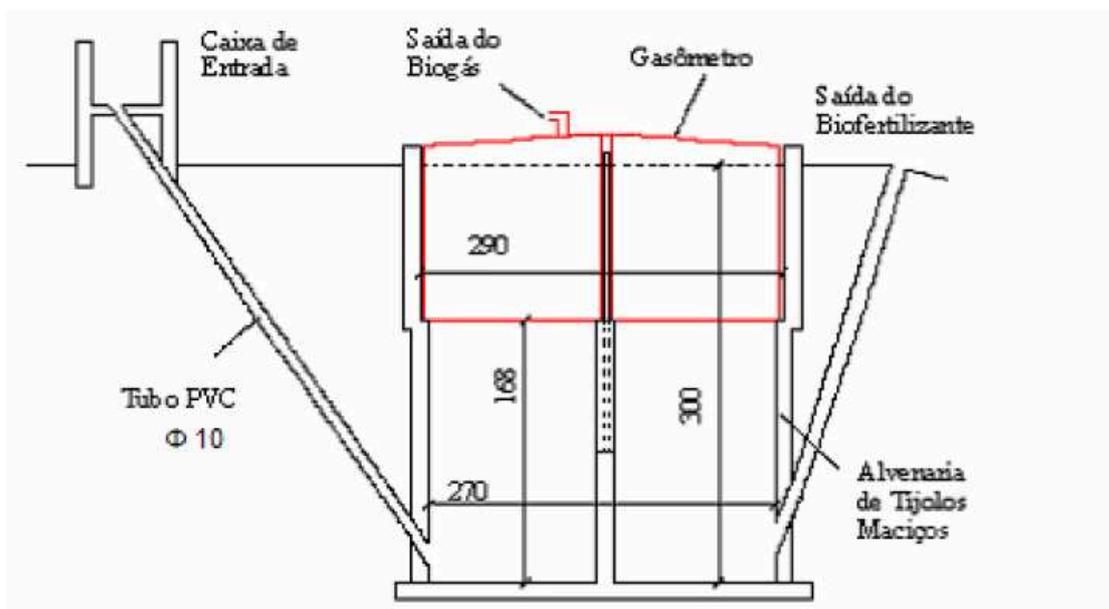
Este modelo é construído geralmente abaixo do nível do solo, e é caracterizado por uma campânula móvel acoplada em sua parte superior, sendo ela responsável pelo armazenamento do biogás (gasômetro). O gasômetro pode ser construído em chapas de ferro ou zinco como também de fibra de vidro ou polietileno e está afundado

sobre a biomassa ou em um selo d'água externo, que proporcionam o movimento vertical de acordo com o consumo de gás, que abaixa a campânula ao ser consumido e levanta ao ser produzido.

O selo proporciona uma pressão constante e a redução das perdas de biogás durante o processo anaeróbio. Para que se alcance uma maior pressão, pesos podem ser colocados acima da campânula. (OLIVEIRA, 2009). O tanque digestor é construído em alvenaria e possui uma parede divisória interna que contribui para circulação do material orgânico na câmara de fermentação.

Este modelo deve ser abastecido continuamente com dejetos animais (suínos ou bovinos) com concentração de sólidos totais não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo e evitar o entupimento dos canos de entrada e saída (DEGANUTTI et al., 2002). Como as representações abaixo de um biodigestor modelo indiano:

Figura 1. Corte frontal de um biodigestor modelo indiano



Fonte: ESPERANCINI et al. (2007).

Figura 2. Visão 3d de um biodigestor modelo indiano.



Fonte: Deganutti et al. (2002).

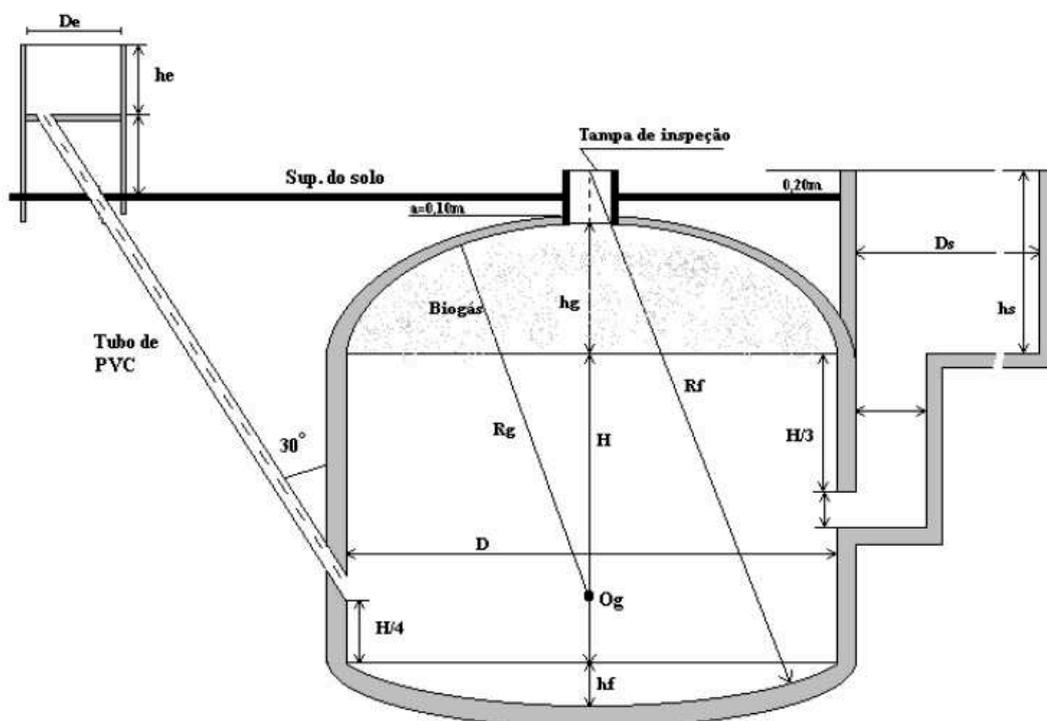
3.5.4 Modelo chinês

Este modelo é formado por uma câmara cilíndrica feita em alvenaria, onde acontece a fermentação. O teto tem formato abobadado, impermeável e serve para armazenar o gás, deste modo, não apresenta partes móveis, e por isso é feito abaixo do nível do solo. Por dispensar o gasômetro móvel este modelo apresenta custo menor em relação ao modelo indiano, entretanto, alguns cuidados devem ser tomados na sua construção, prevenindo a estrutura de futuras trincas por onde o biogás possa escapar (OLIVEIRA, 2009).

Seu funcionamento tem base no princípio de prensa hidráulica, onde o aumento de pressão no interior da câmara de fermentação resulta no deslocamento do efluente para caixa de saída, e em sentido contrário quando há descompressão. O acúmulo de material na caixa de saída produz gás que é lançado para atmosfera, o que inviabiliza a construção deste tipo de biodigestor em instalações de grande porte.

Assim, como no modelo indiano, a concentração de sólidos totais para ideal funcionamento deve ser de 8%, para evitar entupimentos na tubulação e facilitar a circulação do material (OLIVEIRA; JUNIOR, 2013). As Figuras 3 e 4, apresentam, respectivamente, as ilustrações do corte e a visão em 3D do biodigestor tipo chinês

Figura 3. Corte frontal de um biodigestor modelo chinês.



Fonte: Deganutti et al. (2002).

As cotas na Figura 3, são definidas como:

D: diâmetro do corpo do cilindro;

H: altura do corpo do cilindro;

Hg: altura da calota do fundo;

Of: centro da calota esférica do fundo;

Og: centro da calota esférica do gasômetro;

he: altura da caixa de entrada;

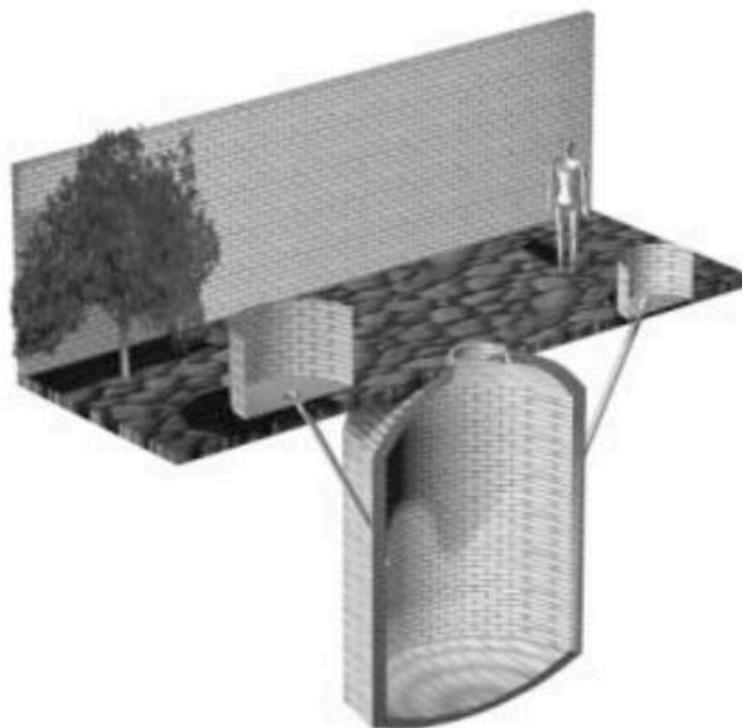
De: diâmetro da caixa de entrada;

hs: altura da caixa de saída;

Ds: diâmetro da caixa de saída;

A: afundamento do gasômetro.

Figura 4. Visão 3d de um biodigestor tipo chinês.



Fonte: Oliveira Junior (2013).

3.5.5 Modelo canadense

Este modelo é bastante difundido no Brasil, onde também leva o nome de modelo da marinha, podendo ser utilizado em pequenas e grandes propriedades. Possui menor custo e sua instalação é mais simples do que os outros formatos aqui citados (OLIVEIRA; JUNIOR, 2013). Sua estrutura consiste em um tanque retangular feito em alvenaria e impermeabilizado com manta de PVC, onde os dejetos serão armazenados e processados pelas bactérias anaeróbias.

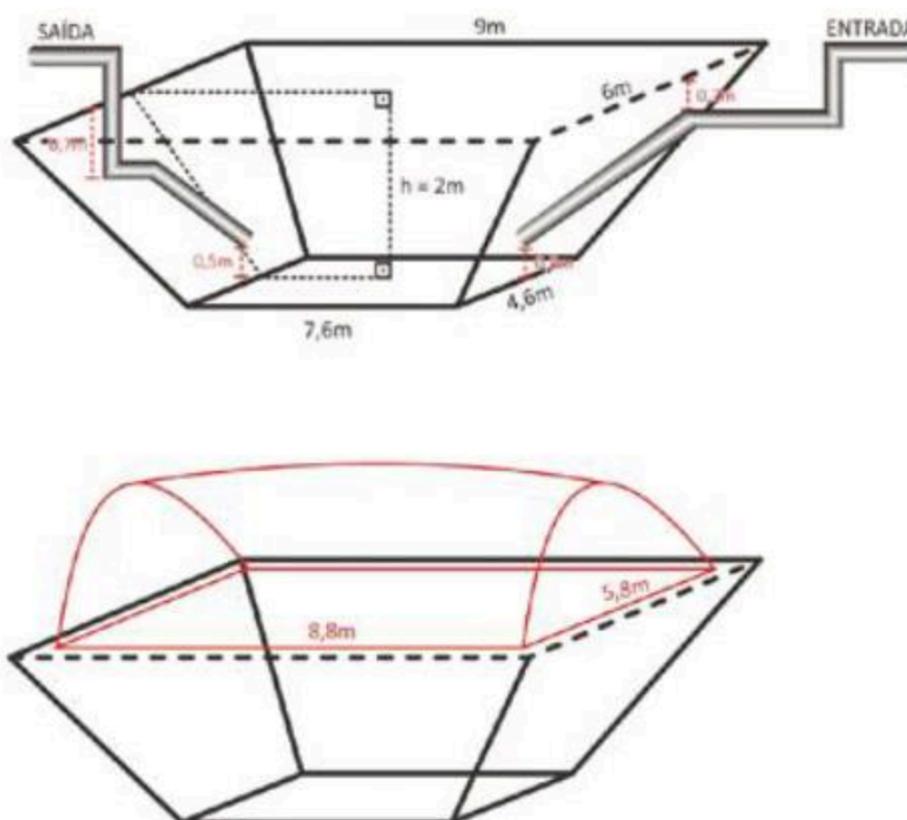
O tanque conta com duas tubulações que servirão para executar a carga e a descarga dos resíduos que serão trabalhados, sendo coberto por outra manta de PVC que armazenará o biogás.

É recomendada a construção do tanque abaixo do nível do solo para evitar às mudanças bruscas de temperatura, assim, além de aproveitar o calor da terra para otimizar o processo, a manta exposta ao sol garante uma temperatura ideal para o funcionamento do biodigestor e conseqüentemente uma maior produção de biogás com otimização na concentração de metano.

A construção deste equipamento necessita de uma quantidade razoavelmente maior de espaço físico, pois tem uma profundidade menor, sendo necessária uma grande área superficial para armazenar um grande volume de resíduo orgânico. É o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais de pequeno, médio e grande porte, pois é capaz de comportar grandes quantidades de vários tipos de dejetos passíveis de fermentação anaeróbia, sendo assim um grande produtor de biogás e estabilizador de matéria orgânica para utilização de biofertilizante.

O aperfeiçoamento dos materiais da manta impermeável possibilitara uma viabilidade ainda maior, tendo em vista à característica da resistência a corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfúrico da mistura gasosa (OLIVEIRA, 2009). É possível observar na Figura 5 a estrutura de um biodigestor do tipo canadense.

Figura 5. Biodigestor canadense.



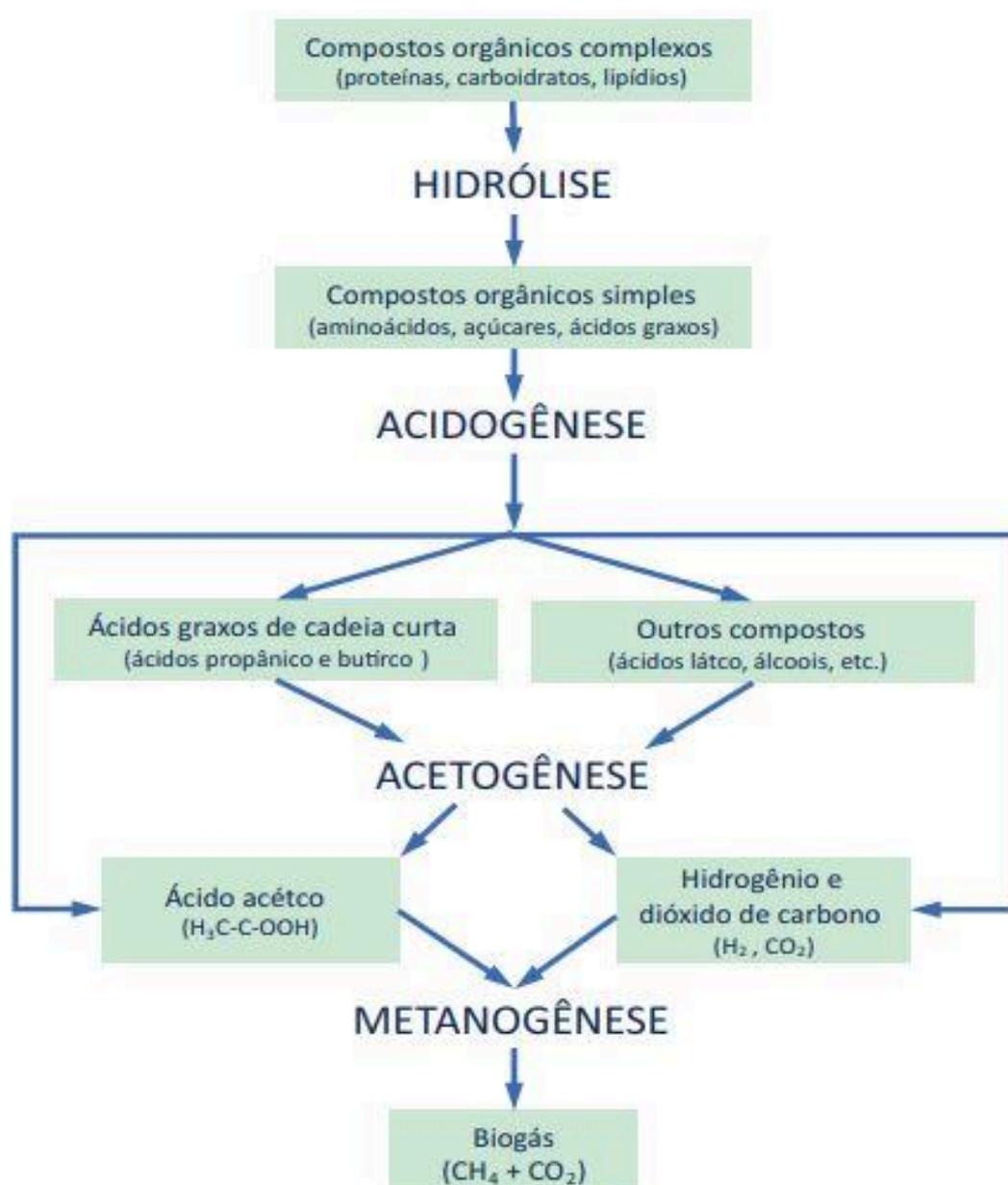
Fonte: Agropecuária Catarinense (2017).

3.5.6 Processo de Funcionamento do Biodigestor

A digestão anaeróbia (Figura 6) é o processo que ocorre na ausência de oxigênio molecular, em que os micro-organismos degradam o material orgânico e produzem biogás, composto em sua maior proporção por metano e dióxido de carbono e o biofertilizante (LEITE et al., 2009).

São muitos os modelos possíveis de biodigestores, mas o processo biogênico de degradação da matéria orgânica é o mesmo. Siqueira (2008) simplifica a biodigestão anaeróbia em 4 fases.

Figura 6. Fluxograma simplificado do processo de produção anaeróbica.



Fonte: Adaptado de GIZ (2010).

O processo de digestão anaeróbica, a Hidrólise é a primeira fase do processo de degradação, onde as bactérias passam a liberar as enzimas e através de reações bioquímicas, juntos aos compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios, em compostos dissolvidos como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos, de modo a serem processados pelas células (GARCILASSO et al., 2018).

Em seguida a próxima etapa conhecida por acidogênese, as bactérias fazem o processo de fermentação em que os compostos intermediários formados a partir da hidrólise sejam transformados em ácidos graxos voláteis (ácidos acético, propiônico e butírico) e outros compostos como ácido láctico e álcoois (GARCILASSO et al., 2018).

A terceira fase, acetogênese, é as bactérias por meio da oxidação dos produtos geram substratos apropriados para os microrganismos metanogênicos, precursores do biogás. Nesta fase, os microrganismos realizam a degradação dos ácidos graxos e álcoois dando origem ao ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono (GARCILASSO et al., 2018).

Na quarta e última etapa, conhecida como metanogênica as bactérias que atuam nesta fase são estritamente anaeróbias e possuem a capacidade de converter os compostos orgânicos formados na fase anterior (ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono) em metano, principal constituinte do biogás (GARCILASSO et al., 2018).

Uma quinta fase pode acontecer dependendo da composição química do material orgânico tratado. As fases de biodigestão são as seguintes: Hidrólise: as bactérias liberam nas meio anaeróbias enzimas extracelulares, que promovem a hidrólise dos materiais particulados complexos em materiais dissolvidos mais simples que são solúveis no meio, podendo atravessar as paredes celulares dos microrganismos fermentativos (OLIVEIRA; JUNIOR, 2013).

3.6 Biogás

O processo de geração de biogás tem grande importância e bons resultados com sua utilização, analisando que por meio desses eles se complementam, a partir dos devidos cuidados em sua produção, de modo que devem estar alinhados para não comprometer seu uso.

A composição do biogás se diversifica conforme a matéria decomposta, destarte sua composição apresenta aproximadamente 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases, sendo o metano, o principal componente do biogás, não tem odor, sabor ou cor, contudo outros gases presentes detêm um ligeiro cheiro de ovo podre ou alho sendo uma característica corrosiva como os sulfetos, de modo que denota o principal componente a ser retirado no processo de filtragem Oliveira Junior (2013).

A quantidade de metano é fundamental para garantir a qualidade do biogás, e se classifica como o responsável pela propriedade combustível do gás, o que demonstra que quanto maior for à quantidade de metano, mais potente será sua capacidade calorífica. biogás possui um potencial calorífico de 5 a 7 mil kcal por metro cúbico, e ao ser purificado alcança até a 12 mil kcal por metro cúbico (Gaspar, 2003).

O biogás pode ser adquirido em resíduos agrícolas, ou nos excrementos de animais e de seres humanos, e frequentemente tem sido usado em especial na Europa, para substituir o gás natural que cada vez mais tem se tornado de difícil obtenção (Souza et. al., 2005).

Na atualidade a Índia possui mais de 10.000 biodigestores em funcionamento, nessas estruturas, em que as bactérias fermentam a matéria orgânica em condições estritamente anaeróbias, sem a presença de oxigênio, e processam a geração do gás. O biogás por ser altamente inflamável, e oferece condições para uso em fogão doméstico, lampião, sendo combustível para motores de combustão interna, secadores de grãos chocadeiras, geladeiras, como aquecedor, para gerar energia elétrica, para balanço calorífico, entre outros (Corgozinho, 2010).

3.7 Biofertilizante

Os líquidos e sólidos da matéria orgânica que sobram no processo de digestão tem capacidade para diversas aplicações, tal como adubo orgânico para tanques de piscicultura, fonte de nutriente em culturas hidropônicas, e geralmente de grande eficácia como biofertilizante com grande poder de fertilização. Com o uso desse

material é possível aprimorar as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, e se mostra como um potente substituto para os adubos químicos, Gaspar (2003).

Galbiatti et al. (2011) acrescentam que o uso da matéria orgânica para adubar o solo colabora com a otimização das propriedades físicas do solo, que se tornam húmus ampliando o valor microbiológico, e gera maior aproveitamento dos nutrientes do próprio solo de maneira gradativa e contínua, resultando em um maior equilíbrio nutricional para a cultura.

Com a aplicação do biofertilizante foi verificado que o solo fica mais poroso, o que viabiliza a entrada de ar até as zonas das raízes, contribuindo para a respiração dos vegetais, e estimulando a sua produtividade, (Coldebella, 2006).

Esse processo tem capacidade de aprimorar as condições para fins agrícolas, e ainda reduzir o custo, o que justifica a sua utilização em lavouras (Gusmão, 2008).

3.7.1 Fatores que afetam a digestão

As condições relacionadas ao substrato, ao digestor e sua operação, atuam diretamente no processo de digestão anaeróbia, podendo acelerar ou cessar a fermentação. Com isso, o tempo de retenção, pH, a concentração de nutrientes, presença de substâncias tóxicas e relação carbono/nitrogênio temperatura interna do biodigestor são fatores que afetam a digestão (Oliveira, 2009).

Já o pH de operação deve ficar na faixa de operação entre 6,0 e 8,0, sendo o mais ideal o pH 7,0. Dessa maneira, com o pH fora dessa faixa, os valores são reduzidos para produção de biogás, e pode ocorrer a total paralisação quando o pH alcança valores menores que 6,0 (SIQUEIRA, 2008).

Junqueira (2011) completa, que é importante que a temperatura se mantenha de modo constante na parte interna do reator, pois, as bactérias metanogênicas são mais sensíveis quanto às mudanças de temperatura. O tempo de retenção se define pelo tempo que o material permanece dentro do biodigestor e pode variar dependendo do substrato usado junto a outros fatores, que podem durar de 4 a 60 dias.

No entanto, os substratos que entram no biodigestor, devem estar livres de algumas substâncias, como os desinfetantes fortes, os combustíveis derivados do petróleo, as bactericidas, e quaisquer outras que possam ser fatal as bactérias contidas no processo biológico para a formação do biogás, Gaspar (2003).

O carbono e o nitrogênio são elementos favoráveis que contribuem para o bom desenvolvimento no processo de fermentação biológica e que a demanda da relação de carbono para uma de nitrogênio, seja de 20 a 30:1, ou seja, 20 a 30, Oliveira Junior (2013).

3.8 Aspectos Socioambientais da Utilização de um Biodigestor

A elevação no preço do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) pode contribuir para que haja menos procura por essa fonte energética, levando as atividades domésticas a procurarem outros meios, e dessa forma contribuem para o aumento do consumo da lenha, principalmente na zona rural. Esperancini (et al. 2007) afirmam que com o uso maior da lenha implica no desmatamento das matas e na emissão de CO₂.

Tendo em vista, que a exposição direta da combustão de biomassas como: lenha, carvão, esterco de animais e restos de lavouras, usadas para o aquecimento e cozimento de alimentos em fogões rústicos, são considerados fatores de riscos ambientais, podendo ocasionar algumas doenças respiratórias crônicas.

Quanto ao descarte de dejetos sem realizar um tratamento prévio em corpos hídricos, Oliveira Matos (2007) citado por Batista et al. (2014) relatam que o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na água, ocasiona a eutrofização dos corpos hídricos, e com isso a proliferação de doenças veiculadas pela água (Uma ação combinada de fatores como pH, temperatura, umidade e teor de nitrogênio sob os dejetos bovinos pode favorecer a formação de amônia (NH₃) e amônio (NH₄⁺), sendo este último solúvel em água, podendo contaminar corpos hídricos, JUNQUEIRA (2011).

Moreira (2011), citado por Oliveira Junior (2011), discorrem que o tratamento de resíduos por meio da digestão anaeróbia, produz biogás e biofertilizante, e conseqüentemente, o potencial energético e econômico, de modo que o gás produzido pode ser usufruído como fonte de energia para vários fins, possibilitando a substituição de combustíveis fósseis e minimizando os impactos.

3.9 Aspectos Econômicos da utilização do Biodigestor

O biogás torna-se muito importante, pois por meio dele obtêm-se várias formas de energia como a elétrica, térmica ou mecânica. Quando for possível utilizar ao menos uma dessas formas de energia de maneira útil, ele possivelmente proporcionará economia de recursos, com importante valor econômico associado. Santos (2000) citado por Coldebella (2006) Acrescentam que o uso do biogás gera renda e economias, o que estimula o crescente interesse por essa tecnologia.

Percebe-se que o setor rural é o que mais sofre com o aumento do custo da energia, devido uma boa parte da população ser de baixa renda, e em geral tem menos condições de arcar com essa elevação de custo.

De acordo com os dados da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) estima-se uma média de preço do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) envazado em botijões de 13 kg no Brasil passou de R\$ 42,44 em dezembro de 2013 para R\$ 69,35 em dezembro de 2018, o que representa um acréscimo de 63% no período.

Conforme a PETROBRÁS (2023), demonstra a partir de dados da ANP, baseados nos preços médios ao consumidor final nos 26 estados e no Distrito Federal, no período de coleta de 14/05/2023 a 20/05/2023. Enfatizam que após serem produzidos, os combustíveis são vendidos para os distribuidores, e, nesse momento, são adicionados os impostos do combustível.

Com isso, o imposto federal sobre o GLP é formado por CIDE, PIS/PASEP e COFINS. Além desses impostos, é adicionado ainda o imposto estadual, chamado, ICMS, que é incorporado ao valor cobrado nas refinarias seguindo a regra de substituição tributária e considerando o Preço Médio Ponderado ao Consumidor Final (PMPF) definido pelos estados.

Figura 7. Como são formados o gás de cozinha (GLP) no Brasil.



Fonte: Adaptado de Petrobrás (2023).

Observa-se na figura 7, que até chegar ao consumido, o custo torna-se um valor bem elevado em comparação a distribuição e revenda.

Esperancine et al. (2007) expõem que o biodigestor é uma tecnologia como alternativa para produção de biogás e devido a facilidade de implantação e operação passa a ser um produto de grande valor agregado além, da adoção dos biofertilizantes que podem ser usados na produção das atividades agrícolas, uma vez que envolvem poucos custos na sua utilização tendo em vista os benefícios associados à sua utilização.

Galbiatti et al. (2011) apontam que, no cultivo do feijão que recebe adubo orgânico proveniente de efluentes do biodigestor aos dejetos bovinos, apresentam maiores índices de produtividade, não havendo diferenças estatísticas entre o uso do biofertilizante em conjunto com adubação mineral e o tratamento com apenas adubação mineral por completo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa se caracteriza como de natureza exploratória e descritiva, a partir de levantamento bibliográfico e documental (GIL, 2008).

A pesquisa se deu em quatro partes, de estudos, sendo que a primeira, centralizou-se em formar a literatura, para se ter uma noção clara dos conceitos ambientais, modelos e tipos de biodigestores e de sua importância, sempre tendo o cuidado de se usar fontes confiáveis.

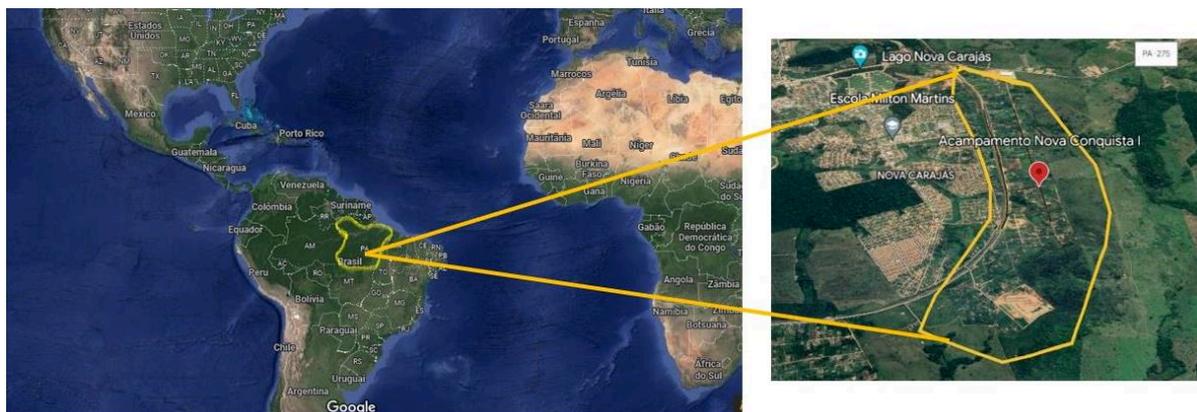
Os dados foram coletados a partir de pesquisas bibliográficas em bibliotecas online de Universidades Brasileiras, em sites como a Web Ciência, Science Direct, Scielo, Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística (IBGE), Ministério de Abastecimento Pecuário e Agricultura (MAPA), Revistas eletrônicas e Portais.

Na segunda parte, o estudo frisou-se em análise de artigos e dissertações sobre a importância dos biodigestores em área rural, em aterros sanitários, bem compreender como se forma a agregação de valor dos dejetos animais por meio da suinocultura.

Na terceira parte, buscou-se por compreender através de um panorama geral das plantas de biogás instaladas no Brasil, com a produção diária de biogás e substratos utilizados. Foram considerados somente biodigestores cadastrados pelo CIBiogásER (Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás) e pelo CIH (Centro Internacional de Hidroinformática) com apoio e investimento financeiro do PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, 2016).

A quarta e última etapa, procurou-se estudar por meio de um levantamento de dados no Acampamento Nova Conquista I no Município de Parauapebas, Pará/BR, Latitude: 06° 04' 03" S Longitude: 49° 54' 08" W Altitude: 18m, para que seja possível fazer uma comparação da produção biogás provenientes de dejetos de suínos e com isso, associar valores da quantidade de gás de cozinha e energia elétrica que poderiam ser gerados. Dessa forma, a pesquisa foi realizada em aproximadamente um terço da área, do acampamento, sendo encontrado seis produtores que cultivam a suinocultura. Outros locais não foram possíveis de serem visitados devido ao difícil acesso do local.

Figura 8. Local do Acampamento Nova Conquista, no município de Parauapebas, Pará, Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor

As análises foram feitas a partir de dados encontrados em artigos e trabalhos de dissertações e fontes confiáveis. Quanto à apresentação dos dados, foi realizada por meio da redação escrita dos resultados obtidos pela pesquisa exploratória, além de gráficos e tabelas de modo a demonstrar de maneira clara e objetiva sobre cada uma das variáveis utilizadas no presente estudo.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo geral, realizar uma revisão integrativa de leitura sobre biodigestor para implantação em área rural e objetivos específicos, avaliar a viabilidade do biodigestor para uma área rural no município de Parauapebas-Pará, fornecer as etapas para a instalação de um biodigestor para o tratamento de dejetos animais, visando a produção de biogás e biofertilizantes; e demonstrar a importância do biodigestor para o meio rural.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapas e processo de construção do biodigestor

As etapas para a construção de um biodigestor iniciam-se, com a escavação de um buraco, Figura 9 (a), com dimensionamento de 2 metros de diâmetro por 2 metros de profundidade (2 m x 2 m), para que se trabalhe pelo lado de fora da estrutura. A vala do encanamento de carga Figura 9 (a), inicia-se a 2 metros do tanque e a do encanamento de descarga começou a 3 metros do tanque.

Figura 9. Escavação do buraco (2 m x 2 m) (a), placas com formato de arco de circunferência (b), Piso e primeira fiada do tanque digestor (c), Tanque de mistura rebocado (d), Gasômetro instalado no tanque digestor (e) e Vala da encanação (f).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Na construção do tanque são usadas placas (b) com formato de arco de circunferência, feitas em concreto, com mistura de 3 partes de areia grossa, uma parte de cimento e uma de água, sendo duas delas buracos de 100 mm e 150 mm para que sejam acoplados encanamentos de carga e descarga do biodigestor.

Em seguida faz-se o piso do tanque, em concreto e nivelado deixando o espaço (c) no centro, para a instalação do cano guia do gasômetro. Depois de concluído o piso; ergue-se as fiadas com as placas de concreto obedecendo uma amarração em forma de alternar as placas e erguer as paredes do tanque de maneira segura.

A Tabela 1, apresenta as medidas a serem usadas para a construção do biodigestor, que devem ser usadas de forma cuidadosa para que ao final da construção não venha aparecer falhas.

Tabela 1. Parâmetros das medidas para a construção de um biodigestor.

Tanque	Comprimento	Largura	Profundidade
Mistura	80 cm (diâmetro)		50 cm (altura)
Descarga (Fração sólida)	150 cm	50 cm	40 cm
Descarga (Fração líquida)	50 cm	50 cm	70 cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao finalizar as etapas anteriores, faz-se o reboco e instalação dos batentes de sustentação da caixa e do cano guia no centro do tanque digestor. O tanque digestor (d), o tanque de carga sólida (e) e o de descarga líquida (f), devem ser construídos seguindo as dimensões apresentadas na Tabela 1.

O gasômetro na Figura 10, é feito com uma caixa d'água de polietileno de 1000 L, onde é instalado um registro para escape do gás (g), que passará pelo filtro e será canalizado para a residência.

Após a instalação do gasômetro é desenvolvido um filtro com o garrafão de 20 L que filtra o gás por aborbulhamento (g), em uma solução de água e cal, que deve ser trocada a cada 15 dias, seguido da escavação do buraco que acomoda o dreno, responsável por evitar o entupimento do encanamento por água condensada do gás.

Figura 70. Gasômetro instalado no tanque digestor e registro de escape e chama do biogás.



(g)



(h)

Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2017).

A valeta da encanação de biogás deve ser escavada com um nível mais baixo coincidindo com o dreno, para que toda água condensada seja drenada.

Depois de todas as etapas é necessário a adaptação de um fogão a gás comum, seja preciso aumentar o diâmetro do furo do giclê e ajustado as entradas e ar para compensar a baixa pressão do biogás até aparecer uma chama azul que queime por inteiro, com um leve barulho de maçarico e inodora.

5.2 Identificação e análise dos aspectos socioambientais

Para se fazer a avaliar os impactos socioambientais da instalação e funcionamento de um biodigestor em uma propriedade rural, utilizar-se uma matriz de interação como a apresentada no Quadro 1, que seja possível analisar a ação do biodigestor a um possível impacto gerado por ele nos três seguintes campos: ambiental, social e econômica.

Segundo Oliveira e Medeiros (2007), utilizando 6 atributos e 15 parâmetros para cada impacto. Caráter: positivo (+) quando há melhoria de um fator ambiental, negativo (-) quando algum dano é causado a um fator ambiental e indefinido (\pm) quando a alteração ambiental é incerta. Ordem: direto (D) é o impacto primário e resulta de ação direta da atividade impactante. Indireta (I) resulta de uma ação secundária em resposta à ação anterior. Magnitude: fraco (1) quando os fatores impactantes são inexpressíveis. Moderado (2) quando os impactos são medianamente elevados.

Forte (3) quando os fatores impactantes são suficientes para causar profunda descaracterização geral dos constituintes ambientais. Duração: curta (C) quando o impacto cessa imediatamente após o final da ação. Média (M) quando há necessidade de decorrer razoável período para a dissolução do impacto. Extensa (E) quando ao fim da ação geradora de impacto, este ainda permanece por um longo período. Escala: local (L) quando o impacto se restringe apenas a área de influência direta e uma porção pequena de área atingida. Regional (R) quando o impacto abrange além da superfície delimitada da aplicação do projeto. Reversibilidade: reversível (R) quando o ambiente atingido pelo impacto tem chances de voltar a sua condição inicial. Irreversível (I) quando o objeto ambiental atingido não pode alcançar as suas condições ambientais iniciais.

Desta forma, levando em consideração os impactos analisados, pode-se atestar que os impactos positivos se superam aos negativos e há a viabilidade da construção de um biodigestor em uma propriedade de pequeno porte.

5.3 Análise dos artigos usados na pesquisa

Na tabela 2, são listados os trabalhos selecionados para a presente análise, com seus respectivos títulos, nomes dos autores e ano de publicação. Na descrição dos trabalhos observam-se seus principais objetivos, resultados relacionados ao tema de investigação e as conclusões relacionadas à utilização do biogás enquanto estratégia sustentável para obtenção de energia.

Tabela 2. Títulos, autores, revista, ano da publicação e objetivos dos artigos analisados.

Parâmetros	Artigos
Título	Avaliação sustentável de biogás em unidade de produção de suínos e seu reaproveitamento energético
Autores	Marin et al. (2018)
Revista	Revista Agrogeoambiental

Objetivo(s)	Analisar, em quantidade e em qualidade, o biogás proveniente de uma unidade de produção de suínos, relatando o seu reaproveitamento energético.
Tipo de estudo	Pesquisa qualitativa e quantitativa
Título	Biogás: aproveitamento energético e gestão ambiental em aterro sanitário
Autores	Coelho et al. (2021)
Base de dados/Ano	Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais
Objetivo(s)	Avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário do Consórcio de Andradas-MG, além de analisar a redução de gases de efeito estufa em diferentes cenários hipotéticos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.
Tipo de estudo	Pesquisa quantitativa
Título	Análise do uso de biogás de suinocultura como energia térmica em uma indústria cerâmica
Autores	Pontes, Braga e Barbosa (2021)
Base de dados/Ano	Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais
Objetivo(s)	Avaliar a viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura como fonte de energia térmica na produção de cerâmica vermelha
Tipo de estudo	Pesquisa quantitativa
Título	Desenvolvimento da sustentabilidade avícola a partir do uso de biogás
Autores	Sousa et al. (2022)
Base de dados/Ano	Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA
Objetivo(s)	Analisar a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma unidade produtora de frango de corte
Tipo de estudo	Estudo de caso e pesquisa quali-quantitativa, descritiva
Título	Captação de biogás em aterro sanitário para a reutilização sustentável
Autores	Bello e Coelho (2022)

Base de dados/Ano	Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE
Objetivo(s)	Apresentar formas que podem ser utilizadas para reaproveitar os resíduos sólidos depositados nos aterros sanitários
Tipo de estudo	Pesquisa bibliográfica

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No primeiro artigo analisado, elaborado por Marin et al. (2018), teve como objetivo analisar a quantidade e a qualidade do biogás, por meio de uma unidade de produção suína, utilizado para produzir energia. Segundo os pesquisadores, foi estimado que a produção diária de biogás foi de 1.178,40m³.

Já a quantidade de energia química proveniente do biogás foi transformada em energia elétrica, através de um motor gerador, que foi usado para suprir a própria unidade de produção suína e uma residência estabelecida no local.

Além disso, foi observado a composição do biogás conforme a Figura 11, como: amônia (cerca de 175 ppmV), gás sulfídrico (610 ppmV), metano (68% do valor médio de concentração), gás carbônico (31% do valor médio de concentração), desses valores, faz-se importante realizar a purificação do biogás para que seja eliminado o gás sulfídrico, que não deve ficar acima dos 65% do valor médio de concentração.

Figura 11. Compostos encontrados na análise qualitativa de biogás obtido em unidade de produção suína para o reaproveitamento energético

Composição do biogás	Concentração
Amônia	175 ppmV (em 60% das amostragens)
gás sulfídrico	610 ppmV (em 90% das amostragens)
metano	68% (concentração média)
gás carbônico	31% (concentração média)

Fonte: Marin et al. (2018).

Marin et al. (2018) afirmam que através da energia gerada através do biogás consegue manter a unidade de produção suína e uma residência. Os autores, visam que os biodigestores são uma estratégia sustentável, por não haver a necessidade da

utilização energia de concessionária elétrica, mesmo assim, basta fazer o aproveitamento da biomassa dos dejetos suínos.

Vieira e Polli (2020) citam que o biogás é “importante opção” como alternativa ao sistema elétrico tradicional, e que a biomassa de resíduos animais pode ser tratada e utilizada principalmente em áreas rurais como meio sustentável.

No artigo de Coelho et al. (2021) o objetivo foi avaliar o aproveitamento econômico e energético do biogás produzido através de determinado aterro sanitário de Minas Gerais. Segundo os autores, o uso do metano derivado do biogás, por meio de aterro sanitário, tem a capacidade em gerar uma potência energética de 300kW, além disso, uma economia de aproximadamente R\$ 865.588,00 por ano dos cofres públicos.

Com isso, existem meios de garantir a sustentabilidade energética obtendo lucros financeiros a partir de um investimento inicial. Studart-Filho (2020) garante que os investimentos iniciais para o tratamento do biogás são compensados há longo prazo.

Na pesquisa feita por Pontes, Braga e Barbosa (2021) tiveram o objetivo de verificar a viabilidade econômica com o uso do biogás advinda da suinocultura como fonte de energia térmica para realizar a produção de cerâmica. Que formou quatro rotas como recomendação para interligar centros de produção suína e a central de captação do biogás por meio de dutos.

Das quatro Rotas, a Rota I foi a mais vantajosa por facilidade em fatores de licenciamento e autorizações para sua construção, sendo que a Rota I em relação com as outras, apresenta melhor plano de investimento/lucro, pois, aponta maiores índices e garante um retorno mais rápido ao produtor rural.

Quadro 2. Comparação dos resultados da análise de viabilidade econômica para cada rota.

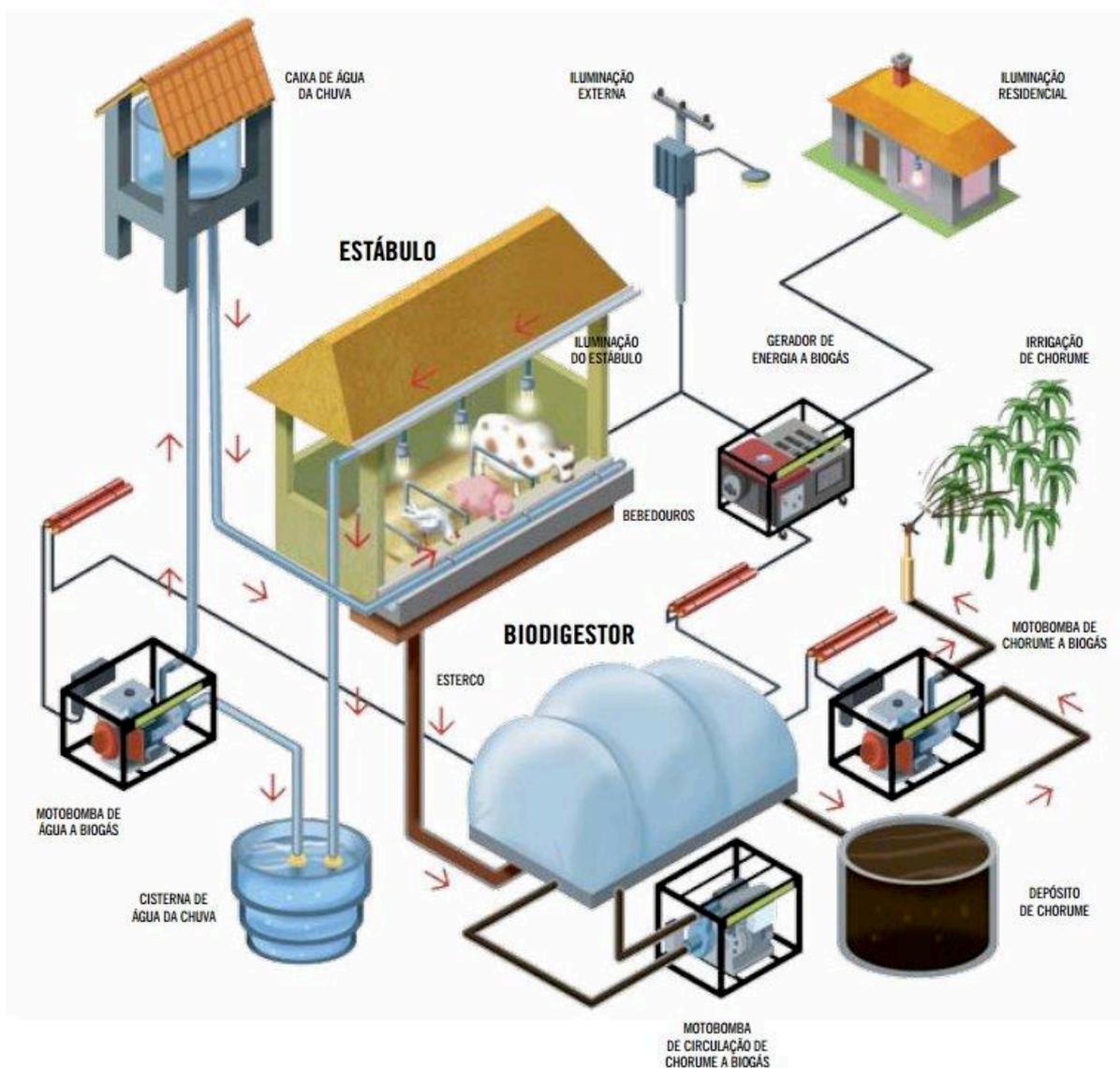
	Rota I	Rota II	Rota II		Rota IV	
			III-A	III-B	IV-A	IV-B
Invest. inicial (R\$)	14.097.136,41	15.146.510,80	231.822.514,74		117.502.385,52	
Lucro anual (R\$)	2.615.955,00	1.439.821,63	4.775.687,45	13.079.775,00	4.775.687,45	13.079.775,00

Fonte: Pontes, Braga e Barbosa (2021).

Os autores propõem que, como o investimento inicial tem um custo bem alto, é preciso um planejamento e buscar parcerias com o governo e empresas que tem interesse para investir em projetos de captação de biogás, sendo assim, é possível que aja mais incentivo e uma possibilidade de maior sucesso no setor de produção.

No trabalho de Souza et al. (2022) buscaram analisar a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma unidade produtora de frango de corte. recomendaram a construção de um biodigestor para que seja possível o aproveitamento do biogás derivado dos substratos de frangos de corte. Apontaram o investimento inicial de R\$800.934,33 e uma receita estimada em R\$ 179.472,57 anual para elaboração do biodigestor e afirmam que o início dos lucros surgiu em um retorno de menos de cinco anos.

Figura 12. Composição do projeto a ser implantado envolvendo um biodigestor.



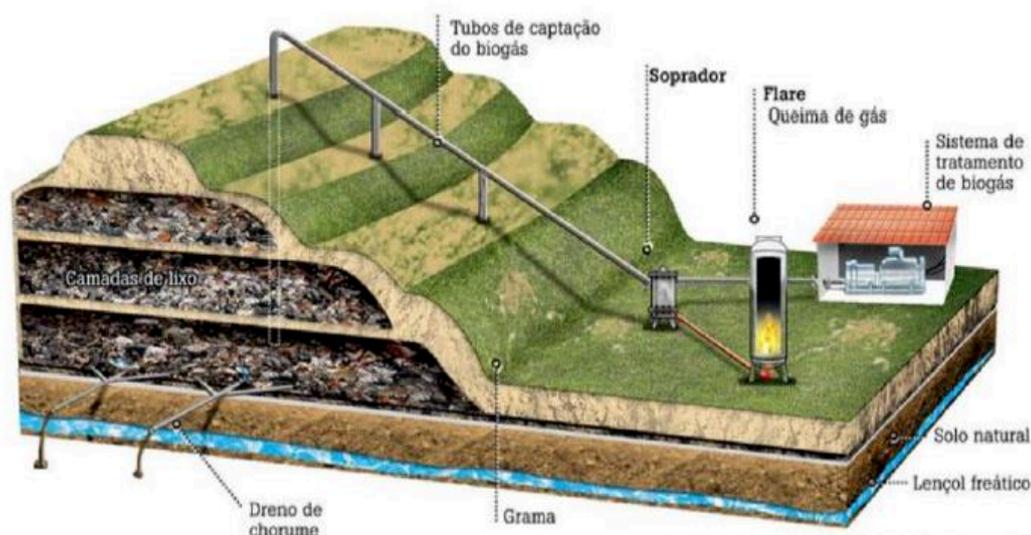
Fonte: Wordpress (2011).

Souza et al. (2022) defendem que o biodigestor em localidades aviário se mostra como um projeto economicamente viável e que traz benefícios ao meio ambiente, além da energia do biogás para manter a produção economiza a energia elétrica de fontes externas.

No artigo elaborado por Bello e Coelho (2022), objetivou as possíveis formas de se reaproveitar os resíduos sólidos depositados nos aterros sanitários urbanos. Diante disso, os autores destacam que o modelo de projeto no uso de biogás é eficiente para a geração de energia, mas requer um sistema de segregação de resíduos, que são encontrados em aterros sanitários.

Os aterros segundo os autores recebem em média 2 milhões de kg de lixo ao ano, de forma que é viável realizar a geração de energia em atender as demandas de produção do aterro.

Figura 13. Modelo de projeto para a conversão de biogás em energia elétrica.



Fonte: Bello e Coelho (2022).

Bello e Coelho (2022), analisam que a matéria orgânica é quase inesgotável e garante a geração de energia limpa. Observa-se nesse cenário que esse modelo contribui com o meio ambiente fazendo o bom uso dos resíduos dos lixões.

Conforme Rabelo (2019) o uso de biogás como fonte de energia renovável tem potencial de estimular o desenvolvimento social, econômico e ambiental no local onde esse procedimento é executado.

Já Duarte et al. (2022) salientam que a utilização de biogás é uma oportunidade para diminuir o consumo de gás produzido através de combustíveis fósseis, processo que contribui com o nivelamento “energético global e reduzindo significativamente as emissões dos gases de efeito estufa”, sendo uma das opções mais sustentáveis para produzir energia.

Dessa forma, a produção de biogás bem como o tratamento desse recurso, passa a ser menos ofensivo ao meio ambiente do que os combustíveis fósseis.

5.4 Panorama do Biogás no Brasil

A Figura 14, apresenta o panorama geral de plantas de biogás instaladas no território brasileiro, segundo as informações retiradas do BIOGASMAP (2021), que mostra que nas regiões norte e nordeste são as menos favorecidas com essas plantas.

Figura 14. Panorama de plantas de biogás no território brasileiro.



Fonte: Adaptação do autor de BIOGASMAP (2023).

Pela Figura 14, nota-se que a maior concentração de plantas está nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, observando - se também uma vagância significativa nas outras regiões, principalmente na região Norte, demonstrando – se que nesta região ainda falta incentivos e investimentos para essa a prática.

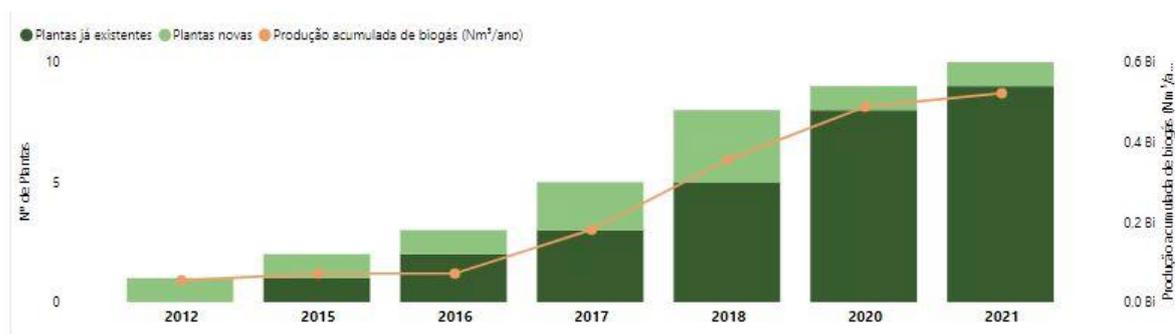
Tabela 3. Panorama do biogás 2021.

Número de plantas	Produção de biogás (Nm ³ /ano)	Região
628	252,01 Mi	Brasil
140	77,65 Mi	Centro-Oeste
3	895,37 Mil	Nordeste
4	556,29 Mil	Norte
279	92,56 Mi	Sudeste
202	80,35 Mi	Sul

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Observa-se na Tabela 3, que as regiões Nordeste e Norte, apresentam os menores números de plantas de biogás por substrato agropecuário ao se comparar com as outras regiões. Esse cenário, demonstra que no Brasil, existe uma grande desigualdade das tecnologias voltadas para a produção do biogás, visto ainda a necessidade de incentivo e investimento no setor energético sustentável, uma vez que a falta do manuseio correto dos dejetos proveniente da agropecuária pode resultar em problemas ambientais.

Gráfico 1. Evolução anual do Nº de plantas em operação e produção de biogás no período de 2012 até 2021.



Fonte: Adaptado de BIOGASMAP.

O gráfico 1 demonstra a evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Brasil nos períodos de 2012 a 2021, de acordo com esses dados, observa-se, um crescimento na produção de biogás por substrato em que o principal uso é o biometano.

De acordo com Oliver et al. (2008), consideram-se que a produção diária de dejetos para caprinos, bovinos e suínos seja, respectivamente, de 0,5; 15 e 4 kg de dejetos por animal. A diluição corresponde à relação esterco: água de 1:4, 1:1 e 1:1,3 para caprinos, bovinos e suínos, respectivamente. O tempo de retenção considerado foi de 45 dias para caprinos e 35 dias para bovinos e suínos.

Segundo Fonseca et al. (2009), para o dimensionamento adequado da capacidade do biodigestor, é possível utilizar um método prático de cálculo, desde que se tenha a carga diária de matéria orgânica colocada no digestor e o tempo de retenção:

$$VB = VC \times TRH$$

em que,

VB = Volume do biodigestor (m³);

VC = Volume de carga diária (matéria orgânica + água) (m³/dia),

TRH = tempo de retenção hidráulica (dias).

O panorama de plantas de biogás no território brasileiro apresentado na Figura 14 e Tabela 3, ficam claro que na região norte apesar de ter grande potencial agropecuário, ainda há pouca importância ao tratamento adequado dos dejetos animais, tendo em vista, que os benefícios são diversos.

5.5 Capacidade de produção de biogás da Comunidade Nova Conquista I

Na região norte, a área rural é povoada na grande maioria por agricultores, inclusive aqueles que fazem parte da agricultura familiar, como é o caso do Município de Parauapebas no Estado do Pará/BR, onde tem o acampamento Nova Conquista I, representados FETRAF - Federação dos Trabalhadores e Trabalhadoras na Agricultura Familiar, localizado na rodovia PA-275 e ao lado do Bairro, Nova Carajás, como apresentado na figura.

A área rural, mostrada na figura, é habitada por 320 agricultores que fazem parte da agricultura familiar, que sobrevivem basicamente do que plantão e do que

criam. No local, foi feito um levantamento com o presidente da associação do Acampamento Nova Conquista I, no qual, foi realizado uma pesquisa domiciliar, a fim de saber quantos animais suínos havia nesta área, no entanto, encontrou-se seis produtores com o total de 195 animais em estágios de vida variado.

Observou-se que no local, os dejetos desses animais são descartados a céu aberto, podendo ocasionar várias consequências negativas, como poluição da água, contaminação do solo, emissões de gases de efeito estufa, riscos à saúde humana, comprometimento ao bem-estar e impacto na qualidade do ar, causando desconforto para as comunidades próximas.

A Figura 15 a apresenta a produção média de dejetos de suínos por dia, o potencial de geração de biogás, o equivalente do biogás em gás de cozinha (GLP) e o equivalente em energia elétrica (kWh).

Figura 15. Índices de produção de biogás, GLP e kWh * Fezes + urina.

n	Animal	Dejeto (kg/dia)	Biogás (m ³ /dia/animal)	GLP (kg/dia)	Energia (kWh/dia)
1	Suínos – terminação ¹	7*	0,08	0,03	0,08
2	Suínos – matrizes ¹	16*	0,19	0,08	0,19

Fonte: Adaptação do autor de BGS Equipamentos (2023).

Observa-se que pela produção média de dejetos suínos em quilogramas por dia, pode-se relacionar e fazer uma comparação com a produção da quantidade de animais com a energia em kWh/dia.

No caso da comunidade do Acampamento da Nova Conquista I, com o cultivo da suinocultura de 195 animais, fez-se necessário definir a quantidade de unidades em terminação e matrizes, sendo a quantidade de 63 suínos em terminação e 132 matrizes, é possível produzir respectivamente, 5,04 m³ e 25,08 m³ de biogás, totalizando, 30,12 (m³/dia/animal) ou gerar 30,12 kWh de energia elétrica por dia, conforme os cálculos:

Biogás – $63 \times 0,08 = 5,04 \text{ m}^3$ (terminação)

Biogás – $132 \times 0,19 = 25,08 \text{ m}^3$ (matrizes)

GLP – $63 \times 0,03 + 132 \times 0,08 = 1,89 \text{ kg} + 10,56 \text{ kg} = 12,45 \text{ kg}$

Eletricidade – $63 \times 0,08 = 5,04 \text{ kWh}$ (terminação)

Eletricidade – $132 \times 0,19 = 25,08 \text{ kWh}$ (matrizes)

Fazendo-se a relação em um mês de 30 dias, isto significa aproximadamente 29 botijões de 13 kg de GLP ou 903,6 kWh de energia elétrica.

Já para Santos (2009) a relação comparativa do volume de biogás com o gás de cozinha e energia elétrica é um pouco diferente, pois, apresenta 0,43 kWh a cada 1 m^3 de biogás.

Tabela 4. Equivalência energética de biogás, gás de cozinha, gasolina, lenha, álcool e eletricidade.

Volume de biogás (m^3)	Gás de cozinha (m^3)	Gasolina (L)	Lenha (kg)	Álcool (L)	Eletricidade (kWh)
1	1,5	0,52 a 0,6	2,7	0,9	1,43

Fonte: elaborado pelo autor com base em Santos (2009).

Na Tabela 4, conforme Santos (2009), um metro cúbico (1m^3) de biogás equivale energeticamente a $1,5 \text{ m}^3$ de gás de cozinha; 0,52 a 0,6 litros de gasolina; 2,7 kg de lenha; 0,9 litros de álcool; 1,43 kWh de eletricidade. Observa – se, ainda que a quantidade de biogás é mais vantajosa que o gás de cozinha, lenha e eletricidade.

6. CONCLUSÃO

O sistema de implantação do biodigestor em área rural, mostrou-se eficiente de acordo com as análises, pois, os parâmetros de avaliação de impactos ambientais, visam uma contribuição positiva ao se usar o biodigestor e por consequência é uma forma de minimizar ou até mesmo acabar com graves problemas que os dejetos de animais provenientes da agropecuários podem causar ao meio ambiente.

Quanto ao biofertilizante produzido em frações líquidas ou sólida podem ser usados como excelentes adubos para nutrição. Considerando que a utilização do biofertilizante obteve uma resposta mais rápida que os fertilizantes de solo e atuou na redução dos insetos.

Diante das análises do panorama de biogás no Brasil, conclui-se que a região Norte a pesar de poucas plantas de biogás por substrato instalada, apresenta grande potencial energético, principalmente na área rural como o caso do Acampamento nova conquista, no município de Parauapebas, Pará/BR. Portanto, cabe ainda, contribuição para ampliar a reflexão sobre a viabilidade de instalação e adoção de um biodigestor na área rural.

Conclui-se que a implantação de um biodigestor na área rural pode trazer benefícios econômicos, como a geração de energia renováveis e a diversificação de renda, além de trazer benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e o tratamento adequado de resíduos orgânicos. Esses aspectos positivos contribuem para a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável da área rural.

7. REFERÊNCIAS

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. BIG: Banco de Informação 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cf>> (Acesso em: 15.03.2023).

BARREIRA, Paulo. **Biodigestores - Energia, Fertilidade e Saneamento Para Zona Rural** – São Paulo – Ícone, 1993.

BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R. **O uso de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso da Região Noroeste do Rio Grande do Sul, 2010**. 139f. Dissertação (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

BECELLI, C. B. **Utilização de matriz de impactos como ferramenta de análise em estudos de impacto de vizinhança: edifício residencial em Porto Rico** – PR. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre. 2010.

BELLO, Paola Fernanda da Silva; COELHO, Sabrina Lages. **Captação de biogás em aterro sanitário para reutilização sustentável**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 6, p. 1342-1354, 2022.

BGS Equipamentos - **Saiba como fazer o cálculo da produção de biogás**. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-de-biogas/>. (acesso em: 15.03.2023).

BIOGAS Barometer 2017. **EurObserv'ER, 2017**. Disponível em: <https://www.eurobserv-er.org/biogas-barometer-2017/>. Acesso em: 27/08/2018.

BIOGASMAP. **Panorama do biogás 2023**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODc2NTlhOGltOTc2Ny00ZDc1LWI5MTMtYjYwZTRlYjFiOWQ3liwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>. Acesso em: 13 mai 2023.

BIOGASMAP. **Panorama do biogás 2021**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODc2NTlhOGltOTc2Ny00ZDc1LWI5MTMtYjYwZTRlYjFiOWQ3liwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>>. (acesso em: 13.05.2023).

BRASIL. Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de setembro de 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 11 jul. 2023.

BRASIL – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades/ Probiogás. **Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia**

elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2016b. 1 ed. 145 p.

CLASSEN, P. A. M.; LIER, J.B.; STAMRS, A. J. M. **Utilization of Biomass for Supply of energy carrier.** *Applied Microbiology and biotechnolology*, v.52, p. 741- 755, 1999.

COELHO, Ulisses Raad *et al.* **Biogás: aproveitamento energético e gestão ambiental em aterro sanitário.** *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 3, pág. 540-553, 2021.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** 2006. 74 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

CORGOZINHO, N. **Biodigestores, 2010.** Disponível em: <www.ebah.com.br/biodigestores-doc-a49507.html>. Acessado em: 16/01/2019.

COUTO, R. A. de O. (IC) e MONTEIRO, W. (Orientador). **Geração de energia elétrica por meio da digestão de papel com o uso de biodigestores.** VII Jornada de Iniciação Científica – 2011. Disponível em: <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Pesquisa/pibic/2011/pdf/fis/rafael_adolfo.pdf>. (acesso em: 15.03.2023).

DEGANUTTI, R. P. et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** Departamento de Arquitetura, Artes e Representações Gráficas, UNESP: (Universidade Estadual Paulista), Bauru, 2002.

DUARTE, Victória Huch *et al.* **Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biogás.** *Revista Ambientale*, v. 14, n. 2, p. 22-34, 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos.** Florianópolis, 1995.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo.** *Engenharia Agrícola*. 2007, vol.27, n.1, p.110-118. ISSN 0100-6916. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000100004>. (acesso em: 15.03.2023).

FONSECA, F. S.T.; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas-MA: Um estudo de caso.** In: 47º CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 2009, Porto Alegre. *Anais...*, p. 1-19, jul. 2009.

FURTADO, João Salvador. **Sustentabilidade empresarial: guia de práticas econômicas, ambientais e sociais**. 2005. Disponível em: <http://www.tdtsustentabilidade.org/wpcontent/uploads/2014/09/sustentabilidade_empresarial_guia_de_praticas_economicas_ambientais_sociais_jsf.pdf>. (acesso em: 15.03.2023).

GALBIATTI, J. A. et al. **Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral**. Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 31, n. 1, p. 167-177, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/1956>>. (acesso em: 15.03.2023).

GALBIATTI, João. A. et al. **Estudo qualitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina grande, v. 14, n. 4, p. 432 – 437, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n4a13.pdf>>. (acesso em: 15.03.2023).

GARCILASSO, Vanessa. P. et al. **Tecnologias de produção e uso de biogás e biometano**. – São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/anexosnoticias/livro-tecnologias-producao-uso-biogas-biometano.pdf>>. (acesso em: 14.05.2023).

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**. Florianópolis, 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUSMÃO, D. Eng^o Agr. et. al. **Universidade do Estado da Bahia UNESP**, 2008. Disponível em: <http://www.nepppa.uneb.br/>. (acesso em: 15.03.2023).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Paraná**. 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pr>>. (acesso em: 15.03.2023).

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maxim* JACQ., CV TANZÂNIA**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2011.

KUNZ, A. **Experiência da Embrapa com biodigestão anaeróbia de dejetos de suíno**. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS E USO DE BIOGÁS. *Anais...* Concórdia: EMBRAPA SUÍNOS E AVES, p. 7 -11. 2006.

LEITE, V. D; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD. S.; Silva, S. A. **Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campina Grande, v.

13, n. 2, p. 190-196. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n2/v13n02a13.pdf>> (acesso em: 15.03.2023).

LIMA, M. F. **Produção de biogás a partir de lodo de esgoto em condições mesofílicas e termofílicas**. Dissertação de Mestrado. Recife, PE: UFPE, 2015. 116p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção - lavouras e pecuária – Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-em-2023-e-estimado-em-r-1-179-trilhao#:~:text=As%20estimativas%20do%20Valor%20Bruto,foi%20de%20R%24%201%2C135%20trilh%C3%A3o.>>>. (acesso em: 05.07.2023).

MARIANO, J. B.; **Proposta de Metodologia de Avaliação Integrada de Riscos e Impactos Ambientais para Estudos de Avaliação Ambiental Estratégica do Setor de Petróleo e Gás Natural em Áreas Offshore**. 2007, 592 f. Tese de doutorado – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

MARIN, Diego Bedin *et al.* **Avaliação sustentável de biogás em unidade de produção de suínos e seu reaproveitamento energético**. Revista Agrogeoambiental, v. 10, n. 4. 2018.

MONTEIRO, S. D. S. C. **Produção de Biometano: Análise de Mercado e Estudo da Separação por PSA**. Tese de mestrado – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2011.

MOREIRA, M. A. C. et al. **Doença pulmonar obstrutiva crônica em mulheres expostas à fumaça de fogão à lenha**. Revista da associação médica brasileira, Goiânia, v. 59, n. 6, p. 607-613. 2013. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ramb.2013.09.001>. (acesso em: 15.03.2023).

MOTA, S.; AQUINO, M. D. **Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais**. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Engenharia sanitaria e ambiental. Vitória-ES. Anais... Vitória – ES. 2002.

NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

NOGUEIRA, C. E. C.; ZÜRN, H. H. **Modelo de dimensionamento otimizado para sistemas energéticos renováveis em ambientes rurais**. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 25, n. 2, p. 341-348, maio/ago. 2005.

OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Instituto Winrock – Brasil, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>. Acesso em: 11 jun. 2023.

OLIVEIRA JUNIOR, F. A. **Ensino não formal da diminuição da carga poluidora de dejetos animais a partir da produção de biogás e biofertilizante em pequenas propriedades rurais**. 2013. 72 f. Dissertação (Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, F. F. G.; MEDEIROS, W. D. A. **Bases teórico-conceituais de métodos para avaliação de impactos ambientais em eia/rima**. Mercator – Revista de Geografia da UFC, v. 6, n. 11, p. 79-92, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273620627009> (acesso em: 15.03.2023).

OLIVEIRA, F.C.; MOURA, H.J.T. de. **Uso das metodologias de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará**. PRETEXTO, v.10, n.4, p.79-98. 2009. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/3838/uso-das-metodologias-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-em-estudos-realizados-no-ceara> (acesso em: 15.03.2023).

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado do carbono**. 2009. 98 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PEREIRA M. L. **Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura**. São Paulo, SP, 2005; Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. (acesso em: 15.03.2023).

PETROBRAS. **Como os preços são formados: gás de cozinha**. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-glp>. (acesso em: 27.05.2023).

PONTES, Raquel Alves Ribeiro; BRAGA, Marco Aurélio Cândia; BARBOSA, Andréa Teresa Riccio. **Análise do uso de biogás de suinocultura como energia térmica em uma indústria cerâmica**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 1, pág. 436-452, 2021.

RABELO, Cristina Alves. **O fomento do biogás como fonte de energia renovável**. Revista Videre, v. 11, n. 22, p. 79-91, 2019.

REVISTA EXAME – Ciência, Mundo. **5 Perguntas para entender a COP 21- a reunião do século 2015**. Disponível em:<<http://exame.abril.com.br/ciencia/5-perguntas-para-entender-a-cop21-a-reuniao-do-seculo/>>. (acesso em: 15.03.2023).

SANTOS, A. F. da S. **Estudo de viabilidade da aplicação do Biogás no ambiente urbano**. 2009. 16 f. Monografia (MBA em Administração e Organização) – Universidade de São Paulo, FEA-USP, Ribeirão Preto, SP.

SILVA, C. O.; CEZAR, V. R. S.; SANTOS, M. B.; SANTOS, A. S. **Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovino caprino,**

manipueira e biofertilizante. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.4, n.1, p.88-103, 2013.

SIQUEIRA, L. M. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado.** 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SOUZA, Sulma Vanessa *et al.* **Desenvolvimento da sustentabilidade avícola a partir do uso de biodigestores.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 15, n. 1, p. 1-20, 2022.

SOUZA, C. F. et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: considerações sobre a partida.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 530-539. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/eagri/v25n2/26516.pdf> (acesso em: 15.03.2023).

STUDAR-FILHO. Rogério Soliani. **Viabilidade econômica do uso de biogás de aterro sanitário para abastecimento de veículos pesados.** 2020. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal. 2020.

VIEIRA, Henrique Gois; POLLI, Henrique. **O biogás como fonte alternativa de energia.** Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 388-400, 2020.

WWF – BRASIL. World Wide Fund for Nature **O que é desenvolvimento sustentável?** 2017. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/>. (acesso em: 15.03.2023).