



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

DACIO JANIO DA COSTA SOUZA
LAUDECI DE ABREU COSTA

**VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR
MODELO BOMBONA PARA O APROVEITAMENTO DE DEJETOS BOVINOS EM
PROPRIEDADES RURAIS NO ENTORNO DO LAGO DE TUCURUÍ**

Tucuruí - PA
2023

DACIO JANIO DA COSTA SOUZA
LAUDECI DE ABREU COSTA

**VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR
MODELO BOMBONA PARA O APROVEITAMENTO DE DEJETOS BOVINOS EM
PROPRIEDADES RURAIS NO ENTORNO DO LAGO DE TUCURUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso a Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Tucuruí - PA
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

S719v Souza, Dacio Janio da Costa.
Viabilidade da implantação e operação de um biodigestor
modelo bombona para o aproveitamento de dejetos bovinos
em propriedades rurais no entorno do lago de Tucuruí /
Dacio Janio da Costa Souza, Laudeci de Abreu Costa . —
2023.

86 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de
Tucuruí, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental,
Tucuruí, 2023.

1. Biogás . 2. Energia renovável . 3. Retorno
financeiro . 4. Sítio São Raimundo . 5. Chácara São
José . I. Título.

CDD 333.7940981

DACIO JANIO DA COSTA SOUZA
LAUDECI DE ABREU COSTA

**VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR
MODELO BOMBONA PARA O APROVEITAMENTO DE DEJETOS BOVINOS EM
PROPRIEDADES RURAIS NO ENTORNO DO LAGO DE TUCURUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso a Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Data de aprovação: 29/06/2023

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Orientador – FAESA/NDAE/UFPA

Prof. Dr. Davi Edson Sales e Souza
Examinador Interno – FAESA/CAMTUC/UFPA

M.Sc. Renan Lopes de Aguiar
Examinador Externo – Licenciatura/Soluções ambientais

Tucuruí - PA
2023

Primeiramente Dedicamos este trabalho a Deus, nosso criador e pai eterno, aos nossos familiares dedicamos o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso, ao nosso orientador sem o qual não teríamos conseguido concluir esta difícil tarefa, aos amigos que a faculdade nos proporcionou, e por fim, dedicamos este trabalho a todos os que nos ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Eu, Dacio Janio da Costa Souza, agradeço ao meu Deus nosso Senhor e Jesus Cristo, por me proporcionarem a tão sonhada graduação.

Ao meu amigo e parceiro de TCC, Laudeci de Abreu Costa, que tenho um carinho de irmão, onde compartilhamos uma amizade a mais de 30 anos.

Agradeço aos amigos que a graduação me deu, pessoas maravilhosas e especiais na minha vida, que levarei para sempre no coração, em especial, Elielma de Sousa, Joana Alicia, Paulo Victor Correa Rosa, Levi Ranieri, Marcia de Almeida, Eliane Pinto, Carla Fabiane, fica a minha gratidão e desejo sucesso para todos.

A minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida, sem eles não seria possível a realização desse sonho, principalmente aos meus pais, Hildomar Pereira de Souza e Maria de Fatima da Costa Souza, que amo demais e que sempre foi meu alicerce.

A minha irmã, Dariane Janne da Costa Souza, que teve um papel importante nessa caminhada, jamais vou poder agradecer por tudo que eles fizeram por mim, só posso agradecer a Deus pela família que tenho.

Agradecimento especial ao nosso orientador o professor Dr. Junior Hiroyuki Hishihara, por ter desempenhado tal função com dedicação, cordialidade e amizade.

Gratidão ao senhor Raimundo Jardim e Rogério de Sá, por disponibilizarem suas propriedades para análise, coleta e suporte para elaboração da viabilidade e implantação do biodigestor, sem a ajuda deles o projeto não teria sido desenvolvido, fica minha gratidão eterna.

À instituição de ensino Universidade Federal do Pará, essencial no processo de formação profissional, pela dedicação e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

AGRADECIMENTOS

Eu, Laudeci de Abreu Costa, sou grato a Deus em primeiro lugar, que tornou a realização deste sonho possível, estando ao nosso lado, nos abençoando em todos os dias de nossas vidas, proporcionando para mim, meu amigo Dacio Janio e nossos familiares, a saúde em meio ao caos gerado pela pandemia do novo coronavírus.

Gratidão especial ao meu amigo e irmão Dacio Janio, o qual, compartilhamos diversos momentos da vida, não somente acadêmica, mas vida pessoal já que temos uma amizade de 30 anos. Obrigado pela paciência e o tempo para reuniões e discussões sobre o TCC, seja de forma presencial ou online, chegamos ao tão esperado dia.

Aos amigos Paulo Vitor, Levi Ranieri, Carla Fabiane, Alan Ribeiro, Fabricio Barroso, Ronnaro Jardim, Ronandry Jardim, Emanuele Gomes, Eduarda Souza, Andréia da hora e Lucas Benicio, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Maria do Carmo de Abreu Costa e João Correa da Costa (homenagem póstuma) e a minha irmã Laudiceia de Abreu Costa, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho, estando sempre ao meu lado em qualquer decisão ou suporte necessário para a graduação e conclusão do curso.

Agradecimento especial ao professor Dr. Junior Hiroyuki Hishihara, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação, cordialidade e amizade.

Gratidão ao senhor Raimundo Jardim e Rogério de Sá, por disponibilizarem suas propriedades para análise, coleta e suporte para elaboração da viabilidade e implantação do biodigestor.

À instituição de ensino Universidade Federal do Pará, essencial no processo de formação profissional, pela dedicação e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

“Seja forte e corajoso não se apavore nem desanime pois o senhor o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

RESUMO

No estado do Pará a pecuária se consolida como uma das principais atividades econômicas, com um rebanho de aproximadamente 26.754.388 cabeças de gado em 2023. Os sete municípios em torno do lago de Tucuruí/PA são responsáveis por aproximadamente, 2.758.700 animais. O volume de dejetos gerado por esses animais sem destinação correta e sem tratamento, ocasionam impactos ao meio ambiente. O uso de biodigestores é uma alternativa de tratamento limpo e viável na geração de energia ou combustível, a utilização de matéria orgânica como fonte de alimentação torna o biodigestor altamente sustentável. O presente trabalho foi realizado em dois municípios distintos, um na zona rural do município de Breu branco/PA, o outro na zona urbana do município de Tucuruí/PA. Com objetivo de propor soluções e melhorias aos pequenos produtores, e analisar a implantação e operação de um biodigestor modelo bombona a partir do aproveitamento de dejetos bovinos. A metodologia aplicada foi através de um estudo de caso, em seguida escolheu-se o local onde o biodigestor seria implantado nas propriedades, logo após escolheu-se o modelo de biodigestor a ser utilizado e a matéria orgânica que seria utilizada, por fim se fez uma análise operacional e financeira do sistema utilizado. O biodigestor custou R\$ 424,10, valor referente apenas aos materiais utilizados, não estão inclusos valores da mão-de-obra, por ser um equipamento simples e de fácil manuseio qualquer produtor com as devidas instruções pode montar seu próprio biodigestor. Concluiu-se que o uso de biodigestores em propriedades rurais é uma alternativa viável do ponto de vista econômico e ambiental.

Palavras-Chave: Biogás; Energia Renovável; Biofertilizante; Retorno financeiro; Sítio São Raimundo; Chácara São José.

ABSTRACT

In the state of Pará, livestock is consolidated as one of the main economic activities, with a herd of approximately 26,754,388 heads of cattle in 2023. The seven municipalities around Lake Tucuruí/PA are responsible for approximately 2,758,700 animals. The volume of waste generated by these animals without proper disposal and treatment, causes impacts on the environment. The use of biodigesters is a clean and viable treatment alternative in the generation of energy OR fuel, the use of organic matter as a power source makes the biodigester highly sustainable. This work was carried out in two different municipalities, one in the rural area of the municipality of Breu Branco/PA, the other in the urban area of the municipality of Tucuruí/PA, with the aim of proposing solutions and improvements to small producers, and analyzing the implementation and operation of a bombona model biodigester using bovine manure. The methodology applied was through a case study, then the place where the biodigester would be implanted in the properties was chosen, soon after the biodigester model to be used and the organic matter that would be used were chosen, finally it was done an operational and financial analysis of the system used. The biodigester cost R\$ 424.10, an amount referring only to the materials used, labor costs are not included, as it is a simple and easy-to-use piece of equipment, any producer with the proper instructions can assemble his own biodigester. It was concluded that the use of biodigestors in rural properties is a viable alternative from an economic and environmental point of view.

Keywords: Biogas; Renewable energy; Biofertilizer; Financial feedback; Sítio São Raimundo; São José Farm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biodigestor Indiano.....	25
Figura 2 - Biodigestor Chinês	26
Figura 3 - Biodigestor Batelada	27
Figura 4 - Biodigestor Canadense	28
Figura 5 - Esquema de montagem do biodigestor modelo Bombona	29
Figura 6 - Sistema em batelada.....	30
Figura 7 - Sistema contínuo.....	31
Figura 8 - Sistema semi contínuo	31
Figura 9 - Emissões de CH ₄ pela fermentação entérica para diferentes espécies animais	32
Figura 10 - Fluxograma com as fases da metodologia do trabalho.....	43
Figura 11 - Sítio São Raimundo.....	44
Figura 12 - Chácara São José.....	45
Figura 13 - Vedação da tubulação central	49
Figura 14 - Flange, parte interna e externa	50
Figura 15 - Saída de dejetos.....	50
Figura 16 - Saída de biogás e gasômetro externo.....	51
Figura 17 - Vedação da tampa	51
Figura 18 - Área de coleta de material.....	52
Figura 19 - Material coletado em Kg.....	52
Figura 20 - Recipiente de preparação da mistura.....	53
Figura 21 - Preparação da mistura	54
Figura 22 - Abastecimento inicial.....	54
Figura 23 - Vazamento da tampa	55
Figura 24 - Vazamento da saída.....	55
Figura 25 - Coleta de biofertilizante	56
Figura 26 - Local de instalação e coleta de material.....	57
Figura 27 - Material coletado	57
Figura 28 - Material coletado	58
Figura 29 - Mistura preparada	58
Figura 30 - Ciclos de enchimento da camara	61
Figura 31 - Gráfico 1 - Temperatura máxima, mínima e interna do biodigestor teste 1...	

.....	72
Figura 32 - Gráfico 2 - Temperatura máxima, mínima e interna do biodigestor teste 2...	
.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - REBANHO POR MUNICÍPIO PERTENCENTE A REGIÃO DO LADO DE TUCURUI	33
TABELA 2 - PRODUÇÃO DE DEJETOS POR TIPO DE ANIMAL KG/DIA	34
TABELA 3 - POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE ANIMAIS	34
TABELA 4 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DO BIOGÁS	35
TABELA 5 - COMPARATIVO DE 1 M ³ DE BIOGÁS EM RELAÇÃO A OUTRAS FONTES DE ENERGIA...35	35
TABELA 6 - PROPORÇÃO ENTRE DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS E ÁGUA.	37
TABELA 7 - ATRIBUTOS FÍSICO QUÍMICOS DO BIOFERTILIZANTE	38
TABELA 8 - ORÇAMENTO DE MATERIAIS.....	46
TABELA 9 - TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA E TEMPERATURA INTERNA DO BIODIGESTOR TESTE 1	59
TABELA 10 - DIAS NECESSÁRIOS PARA O ENCHIMENTO DA CÂMARA	62
TABELA 11 - TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA E TEMPERATURA INTERNA DO BIODIGESTOR TESTE 2	66
TABELA 12 - DIAS NECESSÁRIOS PARA O ENCHIMENTO DA CÂMARA	68
TABELA 13 - LUCRATIVIDADE MENSAL EM KG TESTE 1	74
TABELA 14 - LUCRATIVIDADE MENSAL EM KG TESTE 2	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivo Específico	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Biodigestores	20
3.1.1 Histórico dos biodigestores	21
3.1.2 Biodigestores no Brasil.....	22
3.2 Modelos de Biodigestores	23
3.2.1 Modelo Indiano.....	24
3.2.2 Modelo Chinês	25
3.2.3 Modelo batelada.....	26
3.2.4 Modelo Canadense	27
3.2.5 Modelo bombona.....	28
3.3 Sistemas de alimentação do biodigestor	29
3.3.1 Batelada	29
3.3.2 Contínuo.....	30
3.3.3 Semi contínuo	31
3.4 Bovinocultura no Brasil	32
3.4.1 Bovinocultura no Pará	33
3.5 Biogás	33
3.5.1 Temperatura.....	36
3.6 Biofertilizante	36
3.7 Biodigestores e o meio ambiente	39

3.8 Método Payback Simples	40
4 METODOLOGIA	42
4.1 Local da Pesquisa	44
4.2 Materiais utilizados na construção e montagem do biodigestor	46
4.3 Construção do biodigestor.....	49
4.4 Abastecimento teste 1	52
4.5 Abastecimento teste 2	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
5.1 Resultado do teste 1	58
5.1.1 Análise observacional teste 1	59
5.1.2 Análise operacional teste 1	60
5.2 Resultado do teste 2	66
5.2.1 Análise observacional teste 2.....	66
5.2.2 Análise operacional teste 2	68
5.3 Análise da produção de biogás	71
5.4 Análise financeiro	73
5.5 Capacidade do biodigestor modelo bombona.....	77
5.6 Correlação entre pesquisas	78
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a busca por inovação no modo de preservar e conservar a biodiversidade obteve expansão considerável no território brasileiro, embora o país esteja abaixo de grandes potências mundiais no estímulo em reduzir a exploração de recursos naturais, como o desmatamento que eleva a extinção de espécies e potencializa as mudanças climáticas. Segundo a ONU, as trocas comerciais internacionais tiveram seis vezes mais aumento e o dobro do volume entre 1980 e 2010, sendo que os impactos ambientais atingem em sua maioria, os países em desenvolvimento (PNUMA, 2016).

Com a ampliação da agropecuária e a maximização dos meios de produção, gerou-se um aumento nos impactos ambientais, provenientes de excrementos animais, ocasionando uma maior degradação ambiental no solo e nos recursos hídricos (PNUMA, 2016).

Com toda a evolução da tecnologia presente no setor agropecuário, com a finalidade de aumentar a produção e reduzir os gastos com mão de obra humana, ainda assim não é eficaz no trato de dejetos. Fato este que dificulta a obtenção por parte de pequenos produtores rurais, devido, ao elevado custo financeiro (GTZ, 2006).

A população rural brasileira equivale a 16% (IBGE, 2023). Embora seja um número pequeno, a sua produção de resíduos é potencializada pela criação de animais de origem bovinas e suínas que tem maior predominância na zona rural, plantio de hortaliças, assim como excremento humano. Dada a relevância causada pela falta de destinação final destes resíduos, desperta a viabilidade de alternativas viáveis financeiramente e de fácil manuseio para os moradores do campo (ALVES; PAGANINI; RIBEIRO, 2013).

A biodigestão anaeróbia é o desenvolvimento da fermentação sem a presença de oxigênio de dejetos oriundos da fauna, flora e rejeitos de origem doméstica ou urbana, através de bactérias anaeróbias archeaes metanogênicas que são responsáveis pela síntese de material orgânico, transformando o mesmo em dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), componentes essenciais na formação do biogás (CHERNICHARO, 1997; CASTRO E CORTEZ, 1998; CHEN et al., 2008; MAHMOOD et al., 2008).

O processo de digestão anaeróbica tem a finalidade de reduzir os danos ambientais, pois através da biodigestão é gerado o biogás, que tem a procedência

sustentável e renovável, onde a biomassa é utilizada para gerar energia. Outro fator relevante é produção de biofertilizante, que é um forte aliado para agricultura (OLIVEIRA, 2012).

A produção de biogás gerada pelo biodigestor traz uma alternativa sustentável para a sociedade mundial, pois não agride o meio ambiente e pode diminuir a busca por petróleo que não é renovável (BARREIRA, 2011; DOTTO, 2012).

De acordo com Vaz et al., (2012) a criação de gado na região norte, teve um alto crescimento nos últimos 30 anos, com dados confirmados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2019, onde a região corresponde a 23% da produção nacional, trazendo o Pará como destaque e responsável por 9,7% do valor total, onde o Estado detém 42% de um total de 49.609.974 cabeças de bovinos.

O uso de biofertilizantes tem uma viabilidade enorme no âmbito financeiro, pois tem um custo menor comparado aos fertilizantes artificiais, assim como adubo para uso agrícola, com a sua composição rica em nutrientes e o baixo impacto ao meio ambiente (OLIVER et al., 2008).

O biodigestor é visto como um aliado no âmbito de disposição final de dejetos, que por sua vez é reutilizado, aliado ao baixo preço de construção e instalação, seguindo uma linha de sustentabilidade e retorno econômico em um curto período de tempo (GTZ, 2006).

O histórico da utilização de biodigestores no Brasil não é algo novo, devido ao elevado custo do gás de cozinha, atrai a implantação para o meio rural como solução economicamente viável, sendo o modelo indiano o mais utilizado (LAMPERT, 2021).

O presente trabalho visa propor uma solução de baixo custo para a utilização por pequenos pecuaristas, em especial aos produtores rurais dos municípios de Tucuruí e Breu Branco, que fazem parte da região do lago de Tucuruí, analisando a viabilidade financeira, em relação a construção, instalação e implantação da tecnologia, coletando dados in loco, observando a sazonalidade presente no período denominado inverno amazônico e o tempo aproximado para a geração do biogás, em conjunto com dados levantados de outras pesquisas do mesmo segmento em escala nacional e internacional. Todo o processo de viabilidade visa elevar a busca pelo uso do biodigestor, disponibilizando dados para a região estudada e a sua eficácia na geração de biogás e biofertilizantes, sendo uma alternativa para os pequenos e médios produtores rurais.

O projeto busca evidenciar o sistema de biodigestores de pequeno porte, que podem ser efetivos e funcionais em pequenas propriedades, dando ênfase nos custos e

viabilidade de instalação, além de determinar e avaliar o período de retorno financeiro com a construção do biodigestor através do método Payback simples.

O sistema de Payback simples é um método financeiro que algumas empresas utilizam para calcular o tempo necessário de retorno do valor investido no projeto (DAMONDARAN, 2004). De acordo com Gitman (2004), o Payback é um método usado para calcular o retorno financeiro de pequenos investimentos em período curto, pois é um método simples de avaliação.

1.1 Justificativa

A gestão dos resíduos baseada na revalorização energética é uma das estratégias da Lei 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), propondo a prática de hábitos de consumo sustentável, propiciando o aumento da reciclagem, reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2023).

A poluição do meio ambiente tornou-se uma das maiores preocupações do mundo contemporâneo. A agropecuária e a agroindústria são os principais setores que contribuem com estes impactos, sendo necessário medidas alternativas para um desenvolvimento de um sistema de produção sustentável (SILVA et al., 2013).

Os resíduos oriundos da produção de serviços que atendem às demandas da sociedade em geral, ocasionam impactos irreversíveis ao meio ambiente, há elevada produção de dejetos produzidos diariamente aliada ao esgotamento dos recursos naturais proporcionam um grande desafio em termos de tratamento de matéria orgânica, entretanto, os resíduos gerados proporcionam uma oportunidade para a produção de recursos derivados da produção de dejetos animais e orgânicos (Costa, 2021).

O projeto se justifica pela importância da matéria tratada, visto que o estudo realizado neste trabalho tem por finalidade proporcionar uma alternativa de manejo ao esterco bovino produzido nas propriedades rurais que não passam por nem um tratamento adequado, através da construção de um biodigestor de pequeno porte, com o objetivo de melhorar a vida do pequeno e médio produtor rural que vive em torno do lago de Tucuruí, como também da urbana, entretanto, o maior uso dos biodigestores está no meio rural. O projeto propõe melhorias ao agricultor, tais como o uso do gás metano como fonte de energia para substituir o gás GLP (gás de cozinha) e com o uso

ou revenda de biofertilizante orgânico, proporcionando uma economia na renda do produtor, além de contribuir com a sustentabilidade minimizando os impactos provenientes da falta de manejo adequado da matéria orgânica. A facilidade na elaboração, construção, manuseio e manutenção do biodigestor é um ponto positivo, procurou-se construir um protótipo de baixo custo, e de dimensões reduzidas, porém funcional, que pudesse ser instalado e construído no próprio local de instalação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a Viabilidade da Implantação e Operação de um Biodigestor Modelo Bombona para o Aproveitamento de Dejetos Bovinos em Propriedades Rurais no entorno do Lago de Tucuruí.

2.2 Objetivo Específico

- Avaliar a viabilidade do aproveitamento dos dejetos bovinos em pequenas propriedades rurais na Amazônia (realizando estimativa da produção de dejetos segundo o tipo de confinamento);
- Analisar a produção de dejetos bovinos propício ao aproveitamento para tratamento por biodigestor;
- Avaliar a produção de biogás e biofertilizante;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Biodigestores

O biodigestor é um recipiente fechado, que utiliza a falta de oxigênio, em conjunto com a temperatura elevada e o material orgânico disponível na área externa, que através da decomposição libera metano, que por sua vez produz um gás combustível, chamado biogás. Outro benefício da matéria orgânica gerada no biodigestor, seria o reaproveitamento na agricultura, do adubo orgânico usado no plantio de diversos seguimentos alimentares (BERTOLLO, 2015).

Existem três parâmetros utilizados para estabelecer as principais características de biodigestores e as propriedades microbiológicas, que influenciam diretamente a produção do biogás, sendo analisado o tempo que os microorganismos entram em contato com a matéria orgânica em estado sólido e a sua interação hidráulica de fluídos em uma temperatura estabelecida. Este processo é denominado tempo de retenção hidráulica (TRH) o qual estabelece o período necessário para que haja o processo de biodigestão (SILVA et al., 2015).

Entre os processos de geração de biogás, o uso de biodigestores torna-se um aliado no quesito de sustentabilidade para o tratamento de excrementos suínos e bovinos, devido a sua grande capacidade de armazenamento. Dentro do biodigestor ocorre o processo de fermentação do material orgânico utilizado, por meio de bactérias metanogênicas, através de um processo anaeróbio, que resulta na produção de biogás e biofertilizantes, onde o biogás pode gerar energia elétrica com o auxílio de moto-gerador ou pode ser usado na queima (como aquecedor ou gás de cozinha), já o biofertilizante terá forte aceitação na agricultura, devido á riqueza de nutrientes, podendo ser tratado e reutilizado (KONS, 2020).

Os principais elementos químicos encontrados no biogás, gerado pelo esterco animal são o dióxido de carbono (CO_2), gás amônia (NH_3), nitrogênio (N_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e o metano (CH_4). O metano é a substância com o maior volume na composição do biogás, representando em torno de 60% a 80% no composto. Este processo acaba sendo uma problemática devido ao CH_4 ser mais prejudicial que o CO_2 na ampliação do efeito estufa (SILVA, 2018).

O uso de biodigestores foi potencializado nos últimos anos, devido ao baixo preço de instalação, conservação e a elevada oferta de matéria prima para a construção e aperfeiçoamento. Outro fator predominante, foi a disponibilidade de crédito implementada pela política internacional de crédito de carbono, sendo um atrativo para quem dispõe do uso da biodigestão (LAMPERT, 2021).

O reuso de material orgânico de origem animal, gerado pelo biodigestor deve ser um aliado para os residentes do campo, devido a geração de biogás estar inserida no âmbito de energia sustentável, sendo utilizada na substituição de outras fontes de energias, minimizando os gastos com a produção (STEIL, 2001).

A composição do biogás é rica em metano gerado pelo processo de digestão anaeróbia, onde pode ser utilizado como fonte de energia alternativa e substituindo outros meios tradicionais como energias oriundas do petróleo, termelétricas, hidrelétricas. Fato este que possibilita a descentralização da geração de energia, ofertando outras matrizes energéticas (HAKAWATI et al., 2017).

O tratamento de resíduos de origem animal por meio de biodigestores deve se configurar como uma atividade economicamente apreciável para os produtores, levando em consideração a produção de biogás ser uma fonte de energia renovável e possível de ser aproveitada na própria atividade agrícola em substituição a outras fontes energéticas, reduzindo assim os custos de produção (STEIL, 2001).

Em relação aos biodigestores, o mesmo é considerado uma energia limpa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) não estima uma regulamentação fixa, facilitando a sua inserção. Conforme ocorre a biodigestão anaeróbia, a biomassa oriunda de resto de alimentos, fezes animais e outros materiais orgânicos, atribuindo ao biodigestor a eficácia no tratamento e resíduos sólidos, evitando dispersão de gases nocivos para atmosfera, fator este que potencializa o efeito estufa no caso do metano, sendo o benefício do destino final o adubo, que beneficia a agricultura do país (BARREIRA, 2011).

3.1.1 Histórico dos biodigestores

A produção de gás combustível, através de material orgânico é um processo antigo, onde o pesquisador Alexandre Volta analisou a existência do gás metano (CH₄) juntamente aos gases presentes em pântanos, oriundos da decomposição

vegetal em local recluso. Já no ano de 1806, o químico Humphrey Davy detectou a existência de um gás com abundante existência e carbono e dióxido de carbono, originado pela decomposição de fauna em locais irrigados (NOGUEIRA, 1986).

Após a segunda Guerra Mundial, alguns países como Índia, China e África do Sul adotaram o uso do biogás como fonte de geração de energia, os quais tiveram seu uso elevado em pequenas propriedades, diferente de alguns países da Europa, que buscaram alternativas de origem petrolíferas para abastecimento de veículos e na queima imparcial (GASPAR, 2003).

Com o crescimento populacional e a alta de demanda energética para os cidadãos, tornaram a China e Índia os países com maior abrangência no uso de biodigestores, haja vista que, são países em desenvolvimento que passam por situações difíceis relacionadas a fome, tornando os dois países com maior índice de desenvolvimento e inovação de biodigestores no mundo, com ampliação crescente a cada ano (BARRERA, 1993).

Existem dois fatores na utilização de biodigestores, por um lado a China visa a obtenção de biofertilizantes para o uso na agricultura, fundamental na produção de alimentos, sendo que o biogás não é a principal fonte de energia, comparada a demanda por petróleo no país. Diferente da Índia que precisa do potencial do biogás, para suprir a necessidade energética, sendo que o modelo Chinês é o mais utilizado, por ter menor custo, diferente do modelo indiano que dispõe de um maior investimento e visa a utilização máxima de matéria orgânica para a produção do biogás (GASPAR, 2003).

3.1.2 Biodigestores no Brasil

Devido à alta no preço do petróleo nos anos 70, que atingiram diversos países inclusive o Brasil, que precisou buscar fontes de energias economicamente viáveis com produção eficiente para atender a demanda populacional. Devido ao ocorrido, a tecnologia dos biodigestores foi uma alternativa para os países desenvolvidos e subdesenvolvidos, após um parecer técnico da FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) a Embrater (Empresa Brasileira de Tecnologia e Extensão Rural) implantou o primeiro biodigestor, em novembro de 1979, sendo o modelo Chinês, na Granja do Torto, na capital Brasília. Com a implantação foi possível

analisar a eficiência na geração de biogás, utilizando cimento, areia, cal e tijolo unicamente (SGARZELA, 1983).

O conceito de Biofertilizante pode ser entendido da seguinte forma:

O Biofertilizante possui compostos bioativos resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são encontradas células vivas latentes de microorganismos de metabolismo anaeróbico e fermentação (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) (MEDEIROS; LOPES, 2006).

No ano de 1979, com o segundo conflito de preços do petróleo, foram adotadas medidas por parte do governo para reduzir a dependência da matéria prima, com o destaque para o programa de investimento financeiro, voltados para a substituição de provenientes do petróleo chamado PME (Programa de Mobilização Energética), criado em 1980. No período entre 1980 e 1984, foram concedidos diversos insumos para o uso de biodigestores, como o financiamento e doações de materiais necessários para a implantação (EMBRAPA, 2009).

Devido à crise do petróleo, os biodigestores foram incluídos novamente como fontes de energia, o qual já era utilizado na década de 40, onde os padres desenvolviam a produção de biogás, nas localidades onde trabalhavam. Mesmo com os diversos recursos destinados por parte do governo, com o intuito de manter a produção de biogás efetiva para os produtores rurais que eram os mais prejudicados economicamente pela alta do combustível, mais tarde a técnica foi abandonada (EMBRAPA, 2009).

A implantação de biodigestores no Brasil iniciou-se de maneira voluntária, sem o apoio necessário para uma pesquisa aprofundada a respeito da tecnologia, com a base de informações apenas do exterior. Diante da nova técnica de geração de biocombustível, construída por especialistas sem experiência na construção de um biodigestor, não sabiam o que esperar por parte dos moradores da zona rural, em relação ao novo equipamento (EMBRAPA, 2009).

3.2 Modelos de Biodigestores

O histórico do uso de biodigestores já é bem antigo, há mais de duas décadas o mesmo promovendo a transformação de matéria orgânica em gás, biofertilizantes e geração de energia (FERREIRA e SILVA, 2009).

A escolha do biodigestor varia de acordo com a matéria orgânica que será utilizada no seu abastecimento, de forma a ser realizada uma triagem para modelo com melhor aproveitamento e rendimento no trato de sedimentos (FUKAYAMA, 2008).

3.2.1 Modelo Indiano

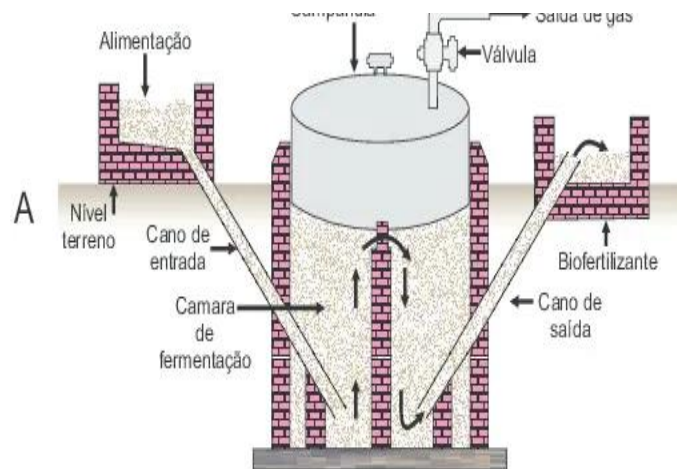
Este modelo tem como característica uma campânula, que por sua vez tem uma tampa denominada gasômetro, onde poderá ser imerso sobre a matéria orgânica em processo de fermentação ou em uma marca hídrica, na parte externa. Com uma estrutura formada por uma parede central, que tem o papel de divisão dentro do compartimento entre duas câmaras, com o objetivo de proporcionar a circulação no interior do ambiente de fermentação (TARRENTO, 2006).

Este modelo possui uma pressão contínua, fator este que torna o consumo do modelo indiano não acelerado, havendo um crescimento vertical devido a elevação do volume e a estabilidade da pressão interna (DEGANUTTI et al., 2002).

O biodigestor indiano tem características de baixo custo financeiro e fácil elaboração, entretanto, alguns fatores podem elevar o valor final do mesmo, devido ao gasômetro ser constituído por material metálico e o deslocamento para as propriedades, dificulta a logística para implantação do biodigestor (JORGE e OMENA, 2012).

Este modelo tem a vantagem de manter o biogás permanente, devido a presença da campânula, fator este que retira a necessidade dos aparelhos que necessitam de metano. Porém é ressaltado o valor da campânula de ferro, como citado acima (SGANZERLA, 1983; APUD GASPAR, 2003). Como vemos na Figura 1.

Figura 1 - Biodigestor Indiano



Fonte: Oliver et al., (2008).

3.2.2 Modelo Chinês

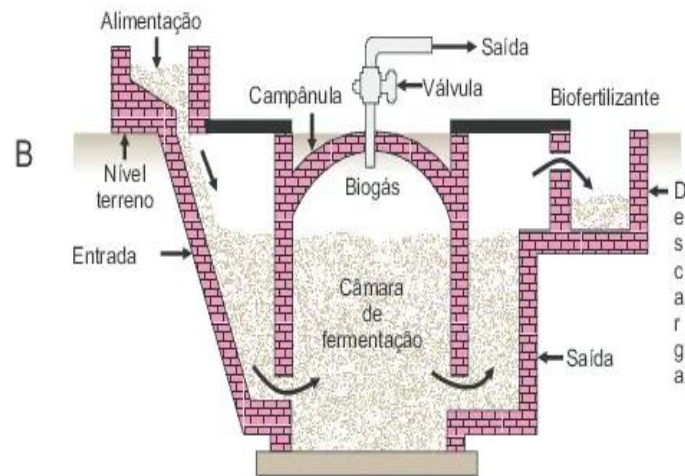
Segundo Jorge e Omena (2012), o modelo de biodigestor Chinês é construído no formato circular em alvenaria, onde na área externa ocorre o processo de fermentação. O seu modo de produção é através do aumento de pressão na área interna, encaminhando o gás para a área de escape em sentido adverso a repressão.

O modelo chinês pode oferecer ineficiência em relação a perda de biogás para o meio externo, o qual reduz a pressão interna. Devido a características presentes, o biodigestor não poderá atender uma demanda de larga escala (DEGANUTTI et al., 2002).

Para a construção do biodigestor é necessário um profissional que trabalhe de maneira eficiente e com bons materiais para fazer a obra do início, até o acabamento, pois conforme a sua conclusão, poderá apresentar problemas como problemas de vazamento, contato com corpos hídricos sem a presença de impermeabilização interna e externa (GASPAR, 2003).

Segundo Gaspar (2003), a profundidade do biodigestor varia de acordo com o seu diâmetro. Portanto, quanto maior a profundidade menor será o diâmetro, em casos de maior diâmetro, será menor a profundidade. Vale ressaltar o tipo de solo que será implantado a tecnologia, pois alguns fatores como solos rochosos e arenosos pode impossibilitar a execução do serviço (GASPAR, 2003). Como vemos na Figura 2.

Figura 2 - Biodigestor Chinês



Fonte: Oliver et al., (2008).

O modo de produção do biogás dentro do modelo chinês e indiano são semelhantes, com a distinção na sua construção.

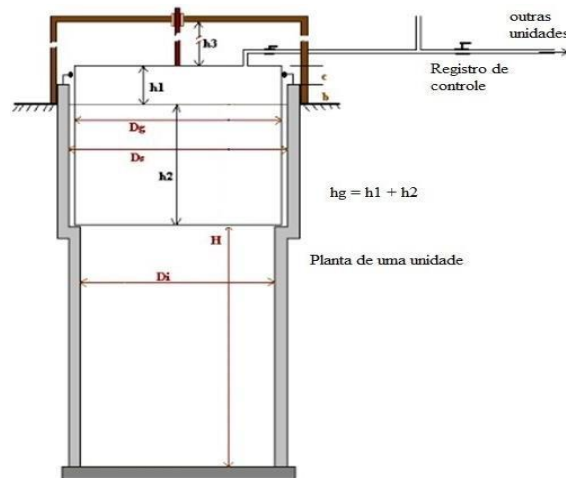
As diferenças entre os modelos indianos e chinês de Biodigestores não são expressivas. O detalhe mais significativo refere-se à cúpula do gasômetro, região onde fica armazenado o Biogás gerado pela fermentação. O Biodigestor indiano tem uma cúpula móvel, de metal; e o chinês, uma cúpula fixa de alvenaria. No modelo indiano, a cúpula vai subindo em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de Biogás. Esta cúpula funciona como um verdadeiro gasômetro, já que, pelo seu próprio peso acaba imprimindo uma certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por meio da fixação de pesos especiais na cúpula de metal. Através desse sistema simples, imprime-se maior pressão quando for necessário aumentar a velocidade de saída do gás (BARRERA, 1993, p.19).

3.2.3 Modelo batelada

Este modelo tem um fácil manuseio e construção e dependendo da demanda por biogás, pode ser utilizado um ou mais compartimentos para a fermentação de matéria orgânica. Com a alimentação feita uma vez, com um intervalo de tempo para a geração do fluido e o material final poderá ser despejado (DEGANUTTI et al., 2002).

O modelo do tipo batelada, mantém a matéria orgânica confinada até o final do processo de fermentação, sendo que o final da produção de biogás é o indicativo de que o biodigestor poderá receber uma nova alimentação, como vemos na Figura 3. O melhor rendimento, para este modelo será em ambiente onde a produção de biomassa seja contínua, como exemplo as granjas (JORGE e OMENA, 2012).

Figura 3 - Biodigestor Batelada



Fonte: Frigo et al., (2015).

Os modelos de biodigestores com maior influência e eficácia foram os chineses e indianos, assim como o modelo tipo batelada.

Os Biodigestores em batelada diferem do modelo indiano e chinês principalmente pelos seguintes aspectos: São abastecidos em uma só vez e esvaziados após um período conveniente de fermentação; apresentam produção de Biogás na forma de pico; não possuem caixa de entrada e nem de saída e não necessitam ter parede divisória. Enquanto os modelos indiano e chinês prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, como por exemplo, aquelas que recolhem o gado uma ou duas vezes ao dia para a ordenha, permitindo coleta diária de biomassa que deve ser encaminhada ao Biodigestor, o modelo em batelada, adapta-se melhor quando esta disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como acontece em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica disposta após a venda dos animais e limpeza dos galpões (ORTOLANI, BENINCASA e LUCAS JR, 1986, p.25).

3.2.4 Modelo Canadense

Segundo Haack e Karquídio (2009), o modelo canadense é o mais utilizado no Brasil. Por sua vez tem como característica principal, uma maior exposição ao sol, fator este que reduz a sua profundidade e aumenta a largura da sua cobertura com uma produção maior de biogás e evitando obstrução na saída (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

Este tipo de biodigestor foi propagado pelo Brasil, devido a possibilidade de instalação em pequenas e grandes propriedades, possibilitando a instalação em agroindústrias (OLIVER, 2008).

Segundo Cunha (2007), o modelo canadense é uma solução para grandes projetos e tem baixo custo de implantação. Como vemos na Figura 4.

Figura 4 - Biodigestor Canadense



Fonte: Oliver et al., (2008).

Devido às diferentes temperaturas no país, os modelos podem variar de acordo com a região e a melhor adequação para cada necessidade como apresentado na região sul de clima subtropical.

O biodigestor mais utilizado nas propriedades do sul do Brasil é o do tipo Canadense, o qual é constituído por uma caixa de entrada, para onde são canalizados os dejetos provenientes das unidades criadoras; uma câmara de fermentação subterrânea revestida com material impermeabilizante; campânula superior construída com lona plástica para reter o biogás produzido; uma caixa de saída, por onde passa o efluente final sendo conduzido para uma esterqueira; um registro para a saída do biogás e um queimador do biogás. Por questões de segurança o biodigestor deve estar cercado e seus arredores limpos, dessa maneira oferecendo um risco menor de ocorrer furos na lona da campânula (PEREIRA et al., 2009).

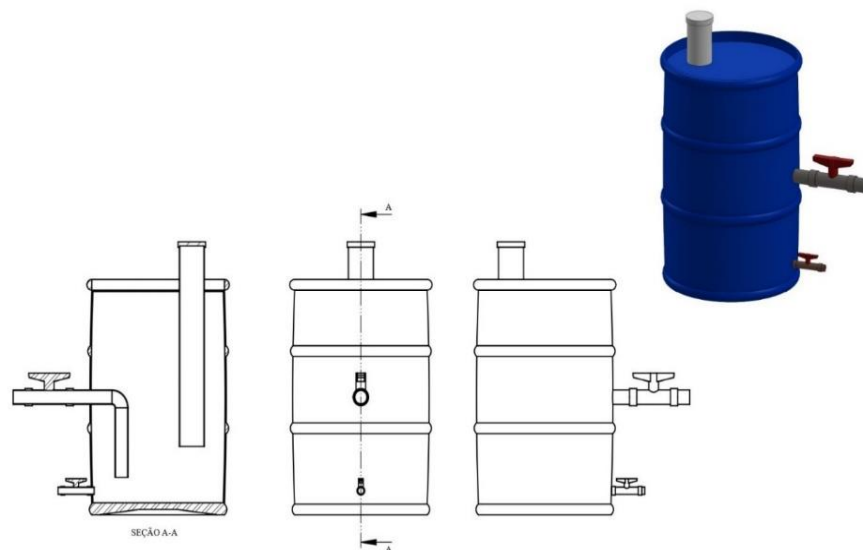
3.2.5 Modelo bombona

As Bombonas plásticas foram adaptadas para funcionar como biodigestores anaeróbicos, podendo operar no sistema tipo contínuo (alimentação sempre constante) ou batelada (alimentado apenas uma vez), a produção de biogás e biofertilizante ocorrem durante todo o processo de atividade (RORATTO, 2014).

Seu sistema é composto por uma câmara de fermentação ou biodigestão por onde é armazenada a matéria orgânica, por um gasômetro a campânula compartimento onde é armazenado o biogás (OLIVER, 2008).

No modelo Bombona a matéria orgânica é introduzida por uma tubulação central que vai até o fundo por onde é feito o abastecimento do biodigestor, o biogás produzido é extraído por uma tubulação na parte superior e o biofertilizante é removido através de dutos de saída na parte inferior ou nas laterais (DOTTO e WOLFF, 2012). Como vemos na Figura 5.

Figura 5 - Esquema de montagem do biodigestor modelo Bombona



Fonte: Autores, 2023.

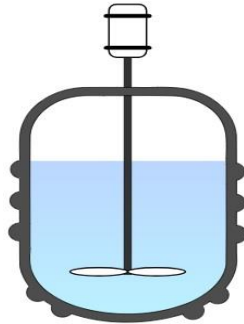
Entre os modelos de biodigestores existentes, cada um possui suas vantagens e suas desvantagens, cada biodigestor detém suas características próprias de manuseio e operação (AIRES, 2014). Os biodigestores modelos bombona foram adaptados do modelo indiano (RORATTO, 2014).

3.3 Sistemas de alimentação do biodigestor

3.3.1 Batelada

No sistema em batelada, o biodigestor é abastecido uma única vez, a matéria prima permanece no interior do biodigestor até o fim do tempo de detenção determinado, sem que haja a adição ou retirada de material até o fim do período determinado, após o fim do TRH, o biodigestor é esvaziado e enchido novamente com uma nova matéria prima, como vemos na Figura 6. É normalmente utilizado em biodigestores de pequena escala, no seu interior a temperatura e a concentração podem variar com o tempo, dependendo do período de retenção (GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS, 2010).

Figura 6 - Sistema em Batelada

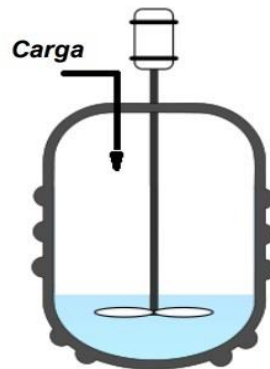


Fonte: Ranade, (2001).

3.3.2 Contínuo

No modo de operação contínuo, o biodigestor é abastecido continuamente, a alimentação vai depender do período de detenção hidráulica, que pode variar em dias, semanas ou meses, ao mesmo tempo em que se retira o volume (descarte) um novo material de mesma quantidade retirada é introduzido ao interior, mantendo constante o nível do volume no interior dos biodigestores. No sistema contínuo de operação o tempo não é uma variável do processo, exceto no momento de início de operação (GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS, 2010). Como vemos na Figura 7.

Figura 7 - Sistema Contínuo

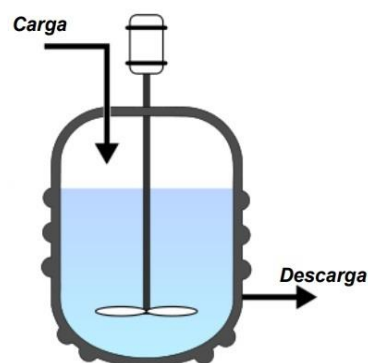


Fonte: Ranade, (2001).

3.3.3 Semi contínuo

No sistema de operação semi contínuo, o biodigestor é abastecido parcialmente com a matéria orgânica, e mais material é adicionado progressivamente até atingir o nível desejado de matéria orgânica no interior do biodigestor. Ou seja, o processo é considerado finalizado quando o volume útil do reator é alcançado (GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS, 2010). Como vemos na Figura 8.

Figura 8 - Sistema Semi Contínuo



Fonte: Ranade, (2001).

3.4 Bovinocultura no Brasil

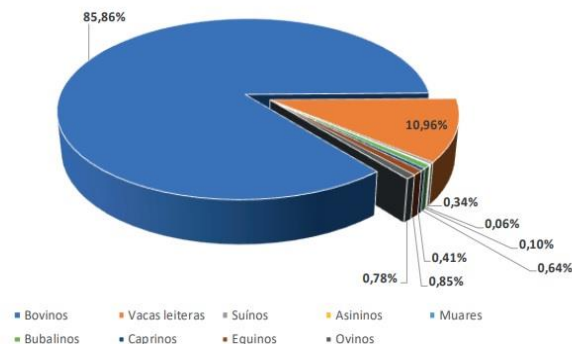
O Brasil tem o maior rebanho de bovinos em escala comercial do mundo, em contra partida o exercício dessa atividade causa danos impactantes ao meio ambiente, levando em consideração a criação de gado para fins de corte, quanto ao sistema de bovinos confinados com a finalidade de produção de leite (FACHINETTO e BRISOLA, 2018).

Para Berndt (2010) e Oliveira (2011), a pecuária brasileira é responsável por uma grande quantidade de emissão de GEE, gás metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) no decorrer de todo o sistema produtivo, sendo que o CO₂ é devido ao alto índice de desmatamento, degradação do meio ambiente e manejo inadequado das pastagens.

O gás metano (CH₄) é emitido pelos bovinos devido à fermentação entérica que ocorre no processo digestivo dos animais. Assim como o gás carbônico (CO₂) e o óxido nitroso (N₂O), é responsável pelo efeito estufa, que intensificado, gera o aquecimento global (MOMBACH,2022).

Segundo CNA (2016), no Brasil, a fermentação entérica é uma das principais fontes de emissão, contribuindo com 19,0% do total de emissões nacionais e 56,5% do total de emissões do setor, sendo grande parte (97%) proveniente de bovinos (86% dos bovinos de corte e 11% das vacas leiteiras). Como vemos na Figura 9.

Figura 9 - Emissão de CH₄ pela fermentação entérica para diferentes espécies animais



Fonte: Ministério da ciência, tecnologia, inovações e comunicações, (2020).

3.4.1 Bovinocultura no Pará

A pecuária se consolida como uma das principais atividades econômicas do Pará. Com um rebanho de aproximadamente 26.754.388 cabeças, é a principal fonte de renda em vários municípios, comprovando sua viabilidade para grandes e pequenos criadores (ADEPARÁ, 2023).

A criação de bovinos nos municípios em torno do lago de Tucuruí corresponde por aproximadamente 2.758.700 animais (ADEPARÁ, 2023). Na Tabela 1 destacam-se os municípios de Tucuruí/PA e Breu Branco/PA, onde ocorreram os testes de produção de biogás.

Tabela 1 - Rebanho por Município pertencente a região do lado de Tucuruí

Localidade	Quantidade de animais
Breu Branco	183.660
Goianésia do Pará	313.412
Itupiranga	703.887
Jacundá	184.253
Nova Ipixuna	136.566
Novo Repartimento	1.155.609
Tucuruí	81.313
total	2.758.700

Fonte: IBGE, 2021.

3.5 Biogás

Segundo Vieira et al., (2015), é possível extrair energia de qualquer ser vivo em sua forma biológica (madeira, resíduos vegetais, de origem animal, industriais e urbanos), a geração de combustível fóssil pode ser substituída por energia renovável, através de transformações químicas e físicas, ou pela influência de fatores externos. Como vemos na Tabela 2.

Tabela 2 - produção de dejetos por tipo de animal kg/dia

animal	Dejetos (kg/dia)
Suínos em terminação	7*
Suínos matrizes	16*
Bovinos de leite	45*
Bovinos semiconfinados	23
Bovino extensivo	15
bubalinos	25
Caprinos/ovinos	2,8
equinos	10
galinha	0,09
cachorros	0,33
elefante	90,6
humano	0,25

Fonte: BGS equipamentos para biogás, 2023.

Notas:

*Fezes + urina.

O biogás é visto como uma das principais alternativas de energia limpa, que gera um baixo impacto ambiental, podendo ser usado como uma fonte de energia versátil, sendo usado como alternativas na produção de energia em indústrias e residências, em pequenas propriedades é usado como fonte de energia para iluminação e cozimento (KAPOOR et al., 2019). Como vemos na Tabela 3.

Tabela 3 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos de animais

Espécie animal	M³ de Gás /kg esterco
Caprinos e ovinos	0,04 a 0,061
Bovinos de leite	0,04 a 0,049
Bovinos de corte	0,04
suínos	0,075 a 0,089
Frango de corte	0,090
poedeiras	0,1
codornas	0,049

Fonte: Winrock, (2008).

Portanto, a geração de biogás é vista como uma alternativa positiva pela sociedade mundial, a produção a partir de materiais residuais e renováveis como fonte energética, favorece a diminuição dos impactos ambientais (RAFIEE et al., 2021).

O processo de produção do biogás ocorre na ausência de oxigênio, ou seja, através da degradação da matéria orgânica por bactérias anaeróbicas, essas bactérias além de produzir o biogás extraem da matéria orgânica o material necessário para o seu próprio desenvolvimento (VIEIRA et al., 2015).

A composição do biogás consiste em sua maior parcela em metano e dióxido de carbono, em menores proporções se encontra em sua composição hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico e oxigênio, além de vapor de água (CM PLUGGE, 2017). Como exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição média do biogás

Componente	Concentração (%)
Metano (CH ₄)	50% – 75%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25% - 45
Hidrogênio (H ₂)	<1%
Nitrogênio (N ₂)	< 2%
Oxigênio (O ₂)	< 2%
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Água (H ₂ O)	2% – 7%

Fonte: Guia Prático do Biogás, (2010).

Para N Scarlat; Jf Dallemard e F Fahl (2018), a utilização do biogás como forma de combustível veicular tanto da rede privada como da pública vem crescendo na forma de biometano, tem se destacado por ser uma alternativa limpa e com grau poluidor menor comparado aos combustíveis fósseis. Na Tabela 5, destaca-se o comparativo de 1m³ de biogás com as fontes de energia mais utilizadas.

Tabela 5 - Comparativo de 1 m³ de biogás em relação a outras fontes de energia

Combustíveis	Quantidade equivalente
Gasolina	0,61 a 0,70 litros
Álcool	0,80 litros
Óleo Diesel	0,55 litros
GLP	0,4 kg
Querosene	0,57 litros
Lenha	1,6 a 3,5 kg
Energia Elétrica	1,25 a 1,43 KWh

Fonte: Fundação Ecológica Natural (FEN), (2013).

Em países emergentes como o Brasil, a produção de biogás ocorre em grande escala principalmente nas zonas rurais, como alternativa no fornecimento de gás de cozinha e iluminação. Já nos países desenvolvidos, a produção de biogás se dá em grande escala comercial, onde o biogás é vendido como bioenergia limpa e renovável (N SCARLAT; JF DALLEMAND; F FAHL, 2018).

Segundo Amaral et al., (2019), o biogás é uma fonte de energia que vem sendo muito utilizada no Brasil a mais de 40 anos, e vem crescendo com os altos incentivos ao crédito de carbono que tem como objetivo diminuir a emissão dos gases que contribuem para o efeito estufa, em especial o gás metano.

3.5.1 Temperatura

Para Lin et al., (2016), as mudanças bruscas de temperatura influenciam no processo de biodigestão interferindo negativamente na produção do biogás.

Entretanto, Soares, Miyamaru e Martins (2017), afirmam que se a produção do biogás ocorrer entre 25° e 40°C o volume na produção será maior, e na faixa de 50° e 65°C o volume aumenta significadamente.

Zhang, Loh e Zhang (2018), indicam que, para uma produção de biogás com maior eficiência das bactérias anaeróbicas, a temperatura ideal é entre 35-65°C.

Segundo Oliveira et al., (2021), as quedas bruscas de temperatura no interior do biodigestor dificultam o trabalho de degradação das bactérias, que por sua vez, são sensíveis a grandes mudanças térmicas. Existem três grupos de bactérias que trabalham no interior do biodigestor, e para que ocorra uma maior eficiência na produção de biogás a temperatura deve permanecer constante.

Entre os três grupos de bactérias distintos disposto no interior do biodigestor, a temperatura ideal média interna é de 39°C, levando em consideração que a maioria dessas bactérias são metanogênese mesofílicas (OLIVEIRA., et al, 2021).

3.6 Biofertilizante

O biofertilizante é o resultado do processo de fermentação de matéria orgânica, em sua composição encontra-se micro-organismos vivos (bactérias e fungos), rico em

potássio, zinco e fosforo, que contribuem para uma melhor absorção de nutrientes pelas plantas contribuindo no seu desenvolvimento (M BARMAN et al., 2017).

Para Oliver et al., (2008), a riqueza de nutrientes na composição do biofertilizante e a alta variação de compostos orgânicos, tornam o biofertilizante natural um substituto ao biofertilizante químico. Tendo como sua principal característica à redução do teor de carbono e aumento do teor de nitrogênio.

É obtido através da fermentação de materiais orgânicos com água, na presença ou ausência de ar (processos aeróbicos ou anaeróbicos). Sua composição é variada dependendo do material utilizado (SILVA et al., 2007). Na Tabela 6, a proporção de água em diferentes resíduos orgânicos.

Tabela 6 - Proporção entre diferentes resíduos orgânicos e água.

Resíduo orgânico	Proporção de mistura (resíduo: água)
Esterco de bovino fresco	1:1
Esterco de vaca seco na superfície	1:2
Esterco de cavalo	1:1
Esterco de ovelha	1:3
Restos de culturas verdes	1:0,5 a 1:2
Esterco de galinha	1:2
Esterco de porco	1:1
Esterco humano	1:1

Fonte: Junior et al., 2006.

Para Souza (2009), os dejetos são dispostos no meio ambiente para que possam retornar ao ciclo dos minerais sem a interferência humana, porém, isso não ocorre devido à grande quantidade de matéria orgânica (MO) produzida.

Por ser uma substância produzida por um processo de fermentação, e que utiliza bactérias e fungos como decompositores, atua, portanto, como um repelente natural contra doenças e pragas, causando menos danos ao ambiente de cultivo e também para a saúde humana (SILVA et al., 2007).

Para Maciel et al., (2019), a utilização do biofertilizante nas lavouras tem se mostrado uma prática bastante eficaz, o tratamento dos dejetos por fermentação

anaeróbica tem sido cada vez mais utilizada, por diminuir os impactos ambientais e também por trazer melhorias ao solo.

Para Da Silva et al., (2011), as plantas que passaram por tratamento com o uso de biofertilizante bovino tiveram melhorias relacionadas às trocas gasosas quando comparadas às que não receberam aplicação do insumo orgânico.

Para Mendonça et. al (2015), as características do biofertilizante oriundo da produção a partir de um biodigestor alimentado com efluente de bovinocultura estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Atributos físico químicos do biofertilizante

Atributos	Valor médio
pH	7,3
Norganico (mg L ⁻¹)	22,46
Namoniacal (mg L ⁻¹)	29,13
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,07
Nitrato (mg L ⁻¹)	42,58
N total (mg L ⁻¹)	94,23
P total (mg L ⁻¹)	31,64
K total (mg L ⁻¹)	0,2
Na (mg L ⁻¹)	0,01

Fonte: Mendonça et. al., (2015).

Segundo Tanganelli (2007), a composição média do biofertilizante composto de desaje de bovinos é de 1,5 a 1,8% de nitrogênio (N), 1,1% a 2,2% de fosforo (P) e 0,8% a 1,2% potássio (k).

Neste sentido, Macedo et al., (2017), afirma que o biofertilizante pode ser utilizado como adubo orgânico, substituindo o biofertilizante químico, que gera impactos tanto ao solo como aos seres humanos, por outro lado, estudos comprovam que o biofertilizante orgânico não gera impactos ao meio ambiente.

Para Tanganelli (2007), a cada 17L de desejos gerados por dia de biofertilizante, temos 0,31 g/L de nitrogênio, e 0,38 g/L de fósforo, e 0,21 g/L de potássio.

3.7 Biodigestores e o meio ambiente

De acordo Oliveira (2004), a produção de bovinos é considerada pelos órgãos de controle ambiental, uma das atividades de maior impacto ao meio ambiente, é vista como causadora de degradações ambientais, enquadrada como atividade de grande potencial poluidor. O alto volume de dejetos provenientes dos rebanhos de animais, principalmente a bovinocultura, impactam negativamente ao meio ambiente quando o destino final desta biomassa é inadequado, contamina o solo, lençol freático, proliferando bactérias (GASPAR, 2003).

Sem o manejo adequado dos resíduos, o equilíbrio ambiental pode ser afetado, considerando situações de disposição de dejetos na água ou no solo sem tratamento, que ao chegar em leitos de rios ocasiona eutrofização destes corpos em função do excesso de o fósforo (P) e nitrogênio (N) (Albuquerque et al., 2022; Silva, 2018).

Dentre as formas de tratamento dos resíduos, a digestão anaeróbica com a utilização de um biodigestor é uma proposta sustentável e indicada no tratamento de dejetos bovinos, devido a sua adequabilidade de tanque possibilitar a retenção de altos volumes de dejetos (Kons, 2020).

O qual gera efluentes e resíduos com alta taxa orgânica, é o aproveitamento energético do biogás gerado a partir da degradação anaeróbia. Esse processo pode ser muito bem utilizado no tratamento de dejetos animais, sendo considerado um sistema de produção mais sustentável, devido à redução do uso de energias convencionais e fertilizantes comerciais, além de fornecer um método altamente eficiente para reciclagem de recursos e fechamento do ciclo de produção (ABBASI; TAUSEEF; ABBASI, 2012).

O biogás pode ser considerado um combustível estratégico para o país, podendo se transformar em uma importante ferramenta para vencer os desafios econômicos e de infraestrutura, ao mesmo tempo em que reduz os passivos ambientais no gerenciamento de resíduos e efluentes. Além dos benefícios decorrentes do tratamento adequado dos resíduos e geração de energia renovável, o material orgânico resultante do processo de biodigestão pode ser utilizado como condicionante do solo e também como biofertilizante (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2015).

A implantação dos biodigestores, além de melhorar as condições do meio ambiente, pode ser uma fonte de renda para o produtor rural por meio da geração de gás, biofertilizante e energia elétrica (ANGONESE, 2006).

Portanto, os biodigestores são vistos como uma alternativa sustentável para o problema dos dejetos provenientes da bovinocultura tendo como ponto positivo a recuperação das pastagens degradadas o que melhora a fertilidade do solo e de plantações trazendo benefícios para o produtor e o meio ambiente.

3.8 Método Payback Simples

O método Payback simples é utilizado como uma avaliação financeira. Esse método é um cálculo que avalia quanto tempo levará para seu investimento se pagar. Esse cálculo mostra o tempo que o investidor levará para recuperar sua aplicação inicial, ou seja, o tempo que será preciso para que os rendimentos acumulados se igualem ao investimento inicial (SOUZA; CLEMENTE, 2004).

De acordo com Gitman (2010), o Payback Simples é um dos métodos mais utilizados para se calcular projetos em períodos curto de tempo. A técnica tem como função calcular o período em que o investimento inicial obterá o retorno. Caso esse período de tempo seja menor do que o estipulado, tem-se um projeto viável.

Assaf Neto (2010), afirma que esse método funciona da seguinte forma: o investimento será recuperado quando o lucro gerado pelo o projeto igualar o valor do investimento realizado, os fluxos de caixa positivo é somando com os valores de fluxos de caixa negativo até que essa soma resultar em zero. Com isso é possível projetar quanto tempo levará para ter retorno do investimento do projeto.

Segundo Damondaran (2004), projetos atraentes são aqueles em que o investimento tem um retornado rápido, esses sim são considerados os mais relevantes. O método possui procedimentos bem simples. O valor inicial investido é dividido pelo valor do fluxo de caixa mensal, conforme e mostrado a seguir na Equação (1)

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Valor do fluxo de caixa}} \quad (1)$$

Para a tomada de decisão na aplicação no Payback simples tem como fundamento na vida útil do projeto. Através dessa análise, se recomenda se aceita ou não o projeto. Se o retorno do investimento for menos que cinco anos, é viável usar o método Payback simples, caso contrário usa-se outro método (DAMONDARAN, 2004).

Gitman (2010) afirma que se o projeto espera um período mais curto para o retorno de seu investimento, este não terá tantos problemas quanto um que precise de um grande intervalo, já que o tempo é o principal fator de deficiência do método.

4 METODOLOGIA

Este trabalho trata de um estudo de caso, o qual analisou-se a viabilidade na implantação de um biodigestor anaeróbico para produção de biogás utilizando dejetos bovinos gerados nas próprias propriedades rurais. O biodigestor escolhido para a aplicação neste trabalho foi o modelo utilizando se bombona de PVC, esse material foi escolhido por ser um produto mais barato e de fácil acesso ao produtor rural.

Para o desenvolvimento deste trabalho inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico, logo após, foi feita a escolha dos locais onde o biodigestor seria implantado, após tal etapa escolheu-se o modelo de biodigestor e o tipo de matéria orgânica que seria usada (esterco de bovinos). Por fim, fez-se uma análise operacional e da produção gerada pelo biodigestor.

A revisão bibliográfica apontou os principais assuntos relacionados ao tema através de livros, artigos em periódicos e revistas. Após esta etapa escolheu-se duas propriedades rurais, uma localizada no município de Breu Branco/PA e a outra no município de Tucuruí/PA.

A próxima etapa foi a escolha do modelo de biodigestor, que para este foi escolhido o modelo utilizando-se bombona de PVC com capacidade de 200L, optou-se por ter um valor de baixo custo e também de fácil manuseio e rápida construção (RORATTO, 2014).

Com a agropecuária forte na região, e pensando na alimentação de matéria orgânica do biodigestor como algo acessível aos produtores rurais, e sendo o esterco bovino algo comum nas propriedades e de fácil acesso aos produtores. O esterco bovino foi escolhido como a biomassa que será utilizada no carregamento para o funcionamento do biodigestor.

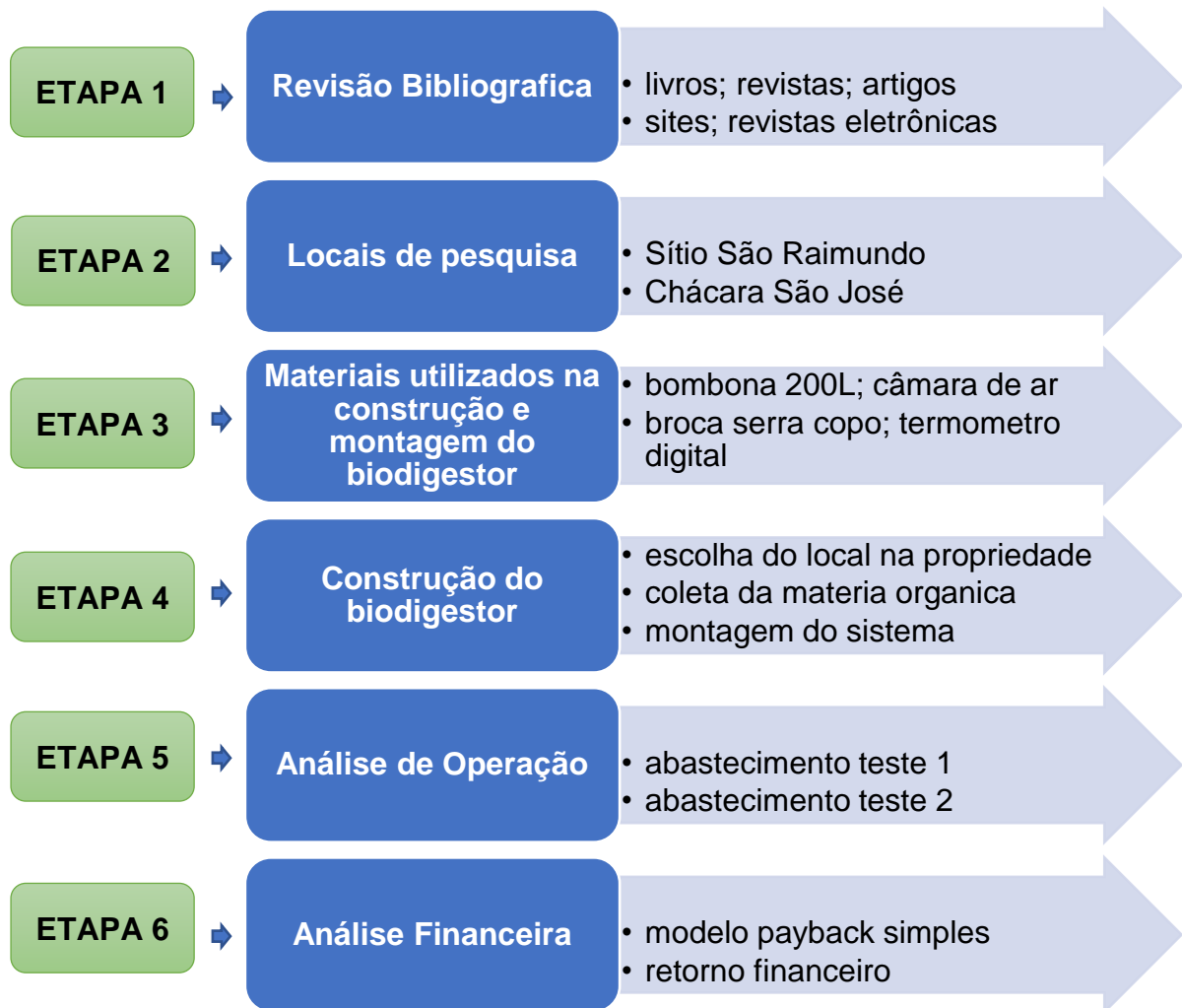
Cada teste foi realizado com o biodigestor abastecido com 75% da sua capacidade total, totalizando 150L de mistura, e 25% de espaço interno destinado para armazenamento do gás produzido, a mistura foi preparada com uma quantidade de 1:1, ou seja, foi introduzido 75kg de esterco bovino e 75 litros de água, a proporção de água utilizada para os esterco foram determinadas de acordo com o estabelecido por Lucas Junior et al., (2006).

O biodigestor foi alimentado continuamente, onde foram feitas novas recargas a cada 7 dias, para um biodigestor de 200 litros, o volume de trabalho será de 150

litros ($200 \text{ L} \times 0,75 = 150\text{L}$) e a recarga será de 21,4 litros ($150\text{L} / 7 = 21,4\text{L}$). Onde temos, 0,75 equivalente a 75% da capacidade do tanque usado, como o tempo de retenção será de 7 dias, a recarga será de aproximadamente 21,4L a cada 7 dias (OLIVEIRA, 2011). O primeiro abastecimento foi feito com o biodigestor totalmente fechado e vedado, cada teste teve a duração de 45 dias.

Para o armazenamento externo do biogás produzido, utilizou-se uma câmara de pneu de caminhão, a câmara serviu como gasômetro externo, optou-se pela câmara com a finalidade de armazenar a maior quantidade possível do biogás em sua forma bruta, e facilitar as medições do volume de biogás produzido durante o processo. Na Figura 10, as etapas do processo do projeto.

Figura 10 - Fluxograma com as fases da metodologia do trabalho



Fonte: Autores, 2023.

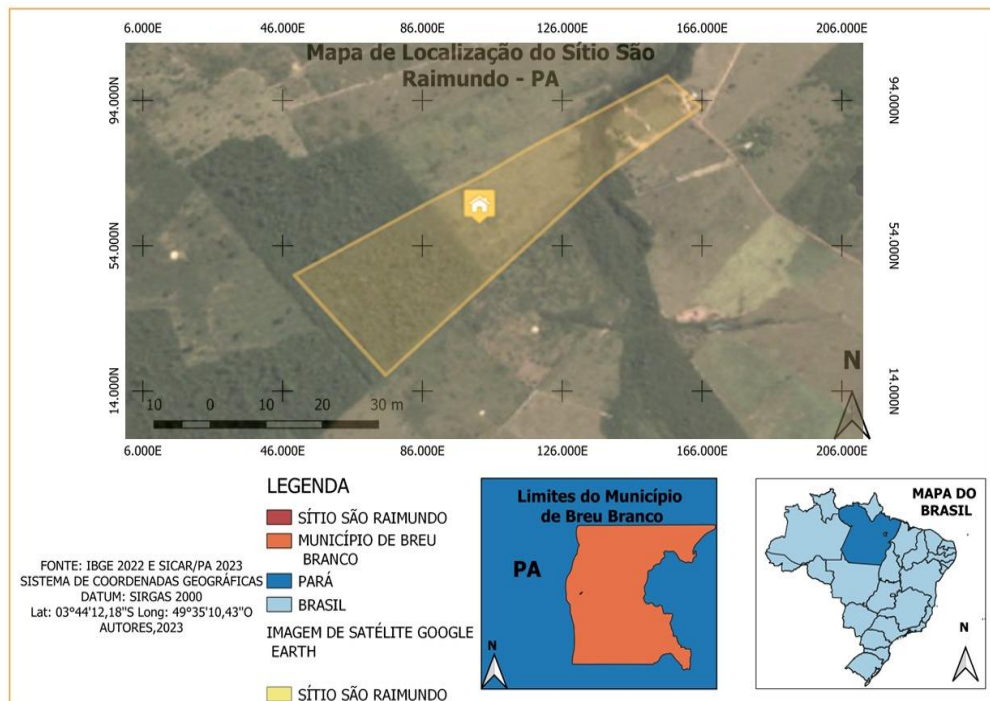
4.1 Local da Pesquisa

O local de pesquisa do referido trabalho, foi realizado em duas propriedades distintas, uma na zona rural do município de Breu Branco/PA, que faz parte da região sudeste do Estado.

O município se estende por 3.941,9 km² e contava com 66.046 habitantes aproximadamente no último censo. A densidade demográfica é de 16,8 habitantes por km². Breu branco está situado a 36 km ao sul leste de Tucuruí. Situado a 128 metros de altitude, com as seguintes coordenadas, Latitude: 4° 0' 34" Sul, Longitude: 49° 27' 41" Oeste (CIDADE BRASIL, 2023).

O biodigestor foi instalado no SÍTIO SÃO RAIMUNDO, a propriedade conta com 23 bovinos até a data da realização do trabalho. A localização geográfica da propriedade é dada pelas seguintes coordenadas, Latitude: 03°44'12,18" Sul, Longitude: 49°35'10,43" Oeste. Como vemos na Figura 11.

Figura 11 - Sítio São Raimundo



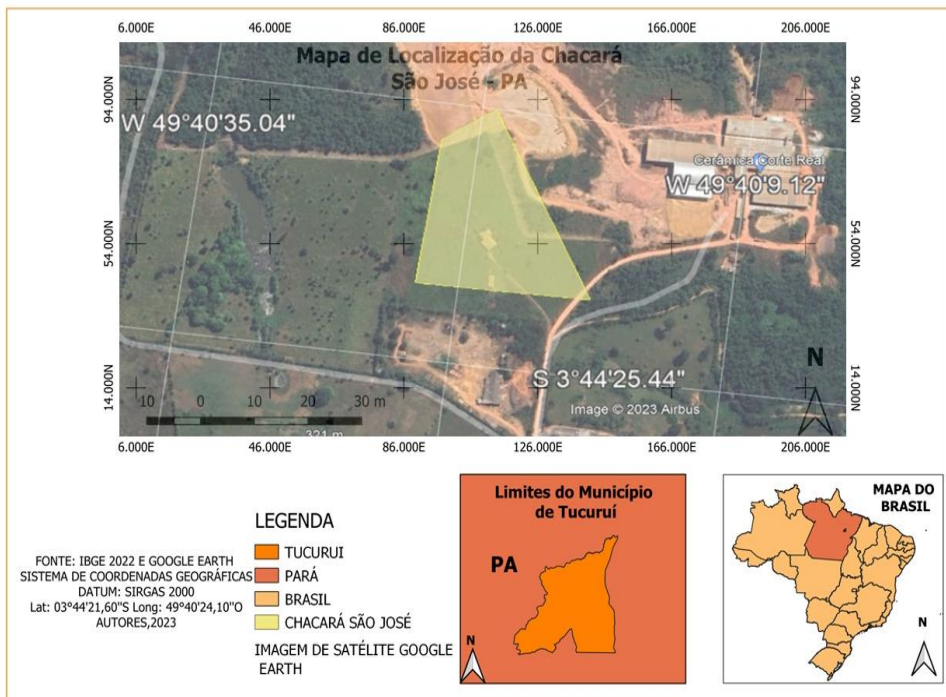
Fonte: Autores, 2023.

A segunda propriedade, está localizada na zona urbana do município de Tucuruí/PA. A localização geográfica, da cidade se caracteriza por integrar a região do lago de Tucuruí com clima tropical semiúmido e alto índice pluviométrico entre os meses de novembro a junho.

O município se estende por 2 086,2 km² e contava com aproximadamente 113 659 habitantes no último censo. A densidade demográfica é de 54,5 habitantes por km². Situado a 39 metros de altitude, Tucuruí tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 3° 46' 10" Sul, Longitude: 49° 40' 27" Oeste (CIDADE BRASIL, 2023).

O biodigestor foi instalado na CHÁCARA SÃO JOSÉ, a propriedade conta com 8 bovinos. A localização geográfica da propriedade é dada pelas seguintes coordenadas, Latitude: 03°44'21,60" Sul, Longitude: 49°40'24,10" Oeste. Como vemos na Figura 12.

Figura 12- Chácara São José



Fonte: Autores, 2023.


4.2 Materiais utilizados na construção e montagem do biodigestor










O tipo de biodigestor escolhido visa proporcionar melhorias para os produtores rurais, econômicas e ambientais, utilizando os recursos encontrados em sua própria propriedade, os testes foram realizados com esterco de bovinos, mas podem ser utilizados desejos de outros animais como os suínos, aves, caprinos e também restos de comida, frutas e vegetais.

O experimento tem como objetivo o aproveitamento dos dejetos bovinos, podendo gerar novas atividades econômicas desde a coleta até geração de gás, juntamente com o aproveitamento do produto final descartado pelo biodigestor após o período da digestão anaeróbica, o biofertilizante, que pode ser utilizado como adubo orgânico, além de diminuir a concentração de CO₂ produzido pelo gado, gera um produto final que minimiza os danos ao solo e ao ar, e também, pode ser uma fonte de renda para o produtor que pode comercializar o produto.

Para a produção e montagem do biodigestor foram gastos quatrocentos e vinte e quatro reais e dez centavos (R\$ 424,10) com material, não se teve gastos com esterco, o material utilizado foi retirado das propriedades, não estão inclusos valores de mão de obra, todo o processo de montagem foi feita pela equipe de discentes da UFPA responsável pelo desenvolvimento do trabalho. Por ser de montagem e manuseio simples, e com as devidas instruções passadas, o próprio produtor pode está montando e fazendo a manutenção e alimentação com a matéria prima. Os valores de cada item foram consultados em duas lojas de materiais de construção no município de Tucuruí, a seguir estão detalhados os valores de cada item na Tabela 8.

Tabela 8 - Orçamento de materiais

Item	Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
	Bombona de 200L	200,00	1	200,00

	Adaptador com flange de 50mm	26,00	1	26,00
	Curva soldável de 45° 50mm	13,00	2	26,00
	Veda calha 400G PU40	23,90	1	23,90
	Registro esfera soldável 50mm	22,00	1	22,00
	Cap. de 100mm	11,00	1	11,00
	Tubulação plástico branco 100mm	6,00	1,5m	9,00
	Torneira de jardim simples	4,00	1	4,00
	Registro esfera soldável de 25mm	8,50	1	8,50
	Cola para tubulação	3,50	1	3,50

	Câmara de ar de caminhão Tortuga 1100x22 131/132 maxxicargo	50,00	1	50,00
	Loctite Durepoxi 50g	5,50	1	5,50
	Mangueira de jardim	4,00m	8	32,00
	Abraçadeira de metal regulável	0,90	3	2,70
	Termômetro digital (-50° até +300°)	*	*	*
	Balança digital até 50Kg	*	*	*
	Furadeira	*	*	*
	Kit de brocas serra copo	*	*	*
Total				424,10

Fonte: Autores, 2023.

Notas:

* Materiais cedidos ou doados

4.3 Construção do biodigestor

No primeiro teste, observou-se um ponto estratégico para a instalação do biodigestor, verificou-se que o local mais apropriado era próximo a residência do produtor. Um local que recebe bastante sol em boa parte do dia e de fácil observação.

A montagem ocorreu no próprio local e com a ajuda do produtor, iniciou-se fazendo um furo central na tampa da bombona de 100mm com o auxílio de uma furadeira e broca serra copo de 100mm, o tubo de alimentação foi posicionado e vedado, na ponta introduzida dentro da bombona foram feitos três cortes para facilitar a saída do material introduzido no interior, para a vedação utilizou-se veda calha PU40 a fim de evitar vazamentos e também a entrada de oxigênio no interior do reator, a seguir na Figura 13 o esquema de montagem.

Figura 13 - Vedação da tubulação central



Fonte: Autores, 2023.

Após a instalação e vedação do tubo de alimentação, um outro furo de 50mm foi feito na lateral da bombona, na Figura 14, a montagem interna e externa do flange, utilizando a furadeira e a broca serra copo de 50mm. O orifício em questão tem o propósito de descartar a matéria velha, ou seja, sem utilidade para a produção de biogás.

Figura 14 - Flange, parte interna e externa



Fonte: Autores, 2023.

Instalou-se um flange de 50mm que foi vedado utilizando o veda calha PU40 para evitar vazamentos, em uma ponta um tubo de saída para o descarte da matéria prima velha e sem o poder de produção de biogás, para a montagem da tubulação de saída de material, na parte interna foi introduzido um tubo alongado com duas curvas de 45° de 50mm para evitar eventuais entupimentos, a parte interna do tubo é introduzido até a matéria prima para que ocorra o descarte. Na parte inferior da bombona é instalado uma saída de 25mm feita com furadeira e a broca serra copo de 25mm para facilitar no esvaziamento, limpeza, transporte e manutenção do biodigestor, como vemos na Figura 15.

Figura 15 - Saída de dejetos



Fonte: Autores, 2023.

Para a saída do biogás armazenado no gasômetro interno do biodigestor utilizando a furadeira e broca serra copo de 20mm, foi feito um furo na tampa e introduzida uma torneira simples de jardim, no bico da torneira foi introduzida uma mangueira onde o biogás produzido é transportado para a câmara de ar. Como vemos na Figura 16.

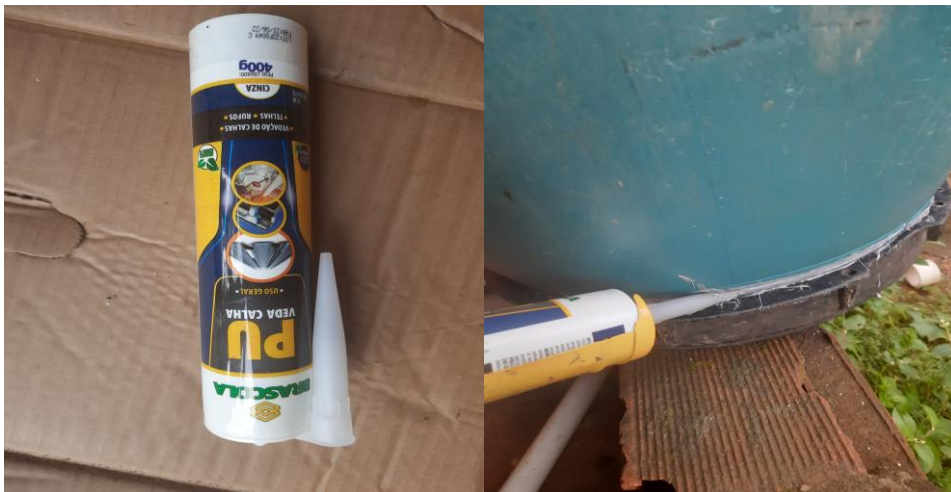
Figura 16 - Saída de biogás e gasômetro externo



Fonte: Autores, 2023.

Antes do posicionamento e abastecimento do biodigestor, todos os pontos de possíveis vazamentos foram checados e reforçados, foi feita a utilização do veda calha PU40, a tampa foi o principal local de vedação para evitar possíveis fugas de gás ou entrada de oxigênio no interior do reator, como vemos na Figura 17.

Figura 17 – Vedação da tampa



Fonte: Autores, 2023.

4.4 Abastecimento teste 1

O biodigestor foi construído no início de dezembro de 2022, logo após a sua construção foi posicionado no local escolhido, logo em seguida deu-se início a coleta do esterco na propriedade. Toda a matéria prima utilizada foi recolhida no raio de 50m do curral, local de alimentação e área de descanso dos animais, material proveniente de uma noite. Conforme vemos na Figura 18. A primeira alimentação ocorreu no dia 11 de dezembro 2022.

Figura 18 - Área de coleta de material



Fonte: Autores, 2023.

Com o auxílio de uma Balança digital de mão, com capacidade máxima de pesar até 50kg, foi possível saber a quantidade de material coletado em kg, onde foram coletados cerca de 104,66 kg de esterco fresco. Como vemos na Figura 19.

Figura 19 - Material coletado em Kg



Fonte: Autores, 2023.

Material proveniente apenas do curral, área de alimentação e da área de descanso dos animais, tendo em vista que os animais vivem em regime extensivo, ou seja, sem confinamento.

Na carga inicial utilizou-se 75 kg de esterco fresco, o restante foi armazenado para o reabastecimento do biodigestor, material proveniente dos dejetos diários de 23 animais, o esterco foi disposto em um recipiente para que a mistura fosse preparada. Como vemos na Figura 20.

Figura 20 - Recipiente de preparação da mistura



Fonte: Autores, 2023.

A preparação da mistura, foi baseada na pesquisa de Lucas Junior et al., (2006), levando em consideração os dados da pesquisa, deveria ser adicionado uma quantidade de água na proporção de 1:1, porém como o esterco estava muito fresco e úmido foi necessário 70L de água para formar uma massa homogênea e bem líquida, a seguir na Figura 21, vemos a preparação da mistura.

Figura 21 - Preparação da mistura



Fonte: Autores, 2023.

Após a mistura preparada foi feita alimentação do biodigestor, com o auxílio de um balde e uma telha de barro como funil, toda a mistura líquida foi introduzida aos poucos dentro do biodigestor. Como vemos na Figura 22.

Figura 22 - Abastecimento inicial



Fonte: Autores, 2023.

No momento do abastecimento, notou-se o vazamento do gás oxigênio retido no interior do biodigestor por uma pequena rachadura na tampa, como vemos na Figura 23, foram abertas as saídas de gás e de descarte para que o ar retido no

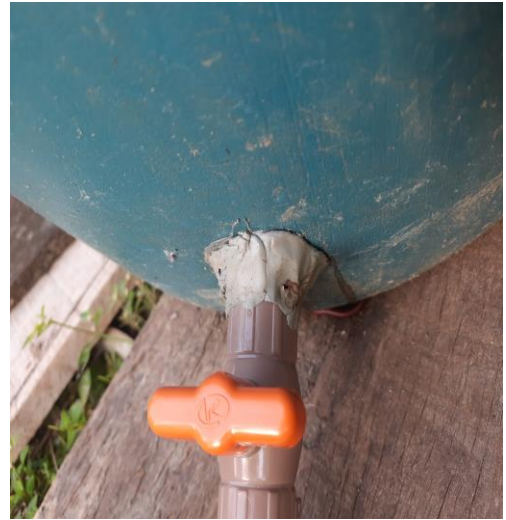
interior pudesse sair e facilitar o concerto. A saída destinada ao esgotamento do biodigestor também apresentou um pequeno vazamento que logo foi concertado, conforme vemos na Figura 24.

Figura 23 - Vazamento da tampa



Fonte: Autores, 2023.

Figura 24 - Vazamento da saída



Fonte: Autores, 2023.

A quantidade de biofertilizante retirado é a mesma quantidade de matéria orgânica nova introduzida na recarga, o material novo introduzido é depositado no fundo do biodigestor empurrando a matéria orgânica velha para cima, a mesma quantidade de material deverá ser descartada do biodigestor. A quantidade de material novo introduzido será de 10% da capacidade máxima do biodigestor, ou seja, será introduzido aproximadamente 20L de matéria orgânica nova e 20L retirados em forma de biofertilizante, é um processo linear. Conforme vemos na Figura 25.

Figura 25 - Coleta de biofertilizante



Fonte: Autores, 2023.

Após os 45 dias do processo inicial o biodigestor foi esgotado, toda a matéria orgânica foi retirada e o biofertilizante foi reutilizado nas plantações, para essa pesquisa utilizou-se das recomendações da BGS equipamentos para biogás (2023), onde o biofertilizante deve ser utilizado sem a diluição em água.

4.5 Abastecimento teste 2

Com o fim do teste 1, o biodigestor foi seco e preparado para ser transportado para a propriedade seguinte, como no primeiro teste, o local de instalação na propriedade foi próximo a residência do agricultor.

O período de análise do segundo teste foi determinado para os meses de março e abril de 2023, onde ocorrem os maiores períodos de chuva nos municípios de Tucuruí e Breu branco, esse período foi determinado para saber como seria a produção de biogás no período chuvoso e de temperaturas mais baixas, a seguir na Figura 26, o local de instalação do biodigestor no município de Tucuruí.

Figura 26 - Local de instalação e coleta de material



Fonte: Autores, 2023.

O biodigestor entrou em atividade no dia 16 de março de 2023, após o primeiro abastecimento, e foi finalizado em 30 de abril de 2023, após o fim do período de 45 dias de teste.

A coleta do material foi feita seguindo os padrões do primeiro teste, foram coletados o esterco proveniente de 8 animais adultos que vivem em regime extensivo, o material recolhido foi retirado do curral, área de alimentação e descanso dos animais em um raio de 50m. Foram coletados 67kg de material orgânico fresco nessas áreas. Conforme vemos na Figura 27.

Figura 27 - Material coletado



Fonte: Autores, 2023.

Próximo passo foi a preparação da mistura para a primeira alimentação. Não foi possível colher material necessária para alimentar o biodigestor com a sua

capacidade máxima de carga, como o ocorrido no teste 1, portanto, utilizou-se apenas o material recolhido de 8 bovinos no período de uma noite. Com as fortes chuvas o material acaba sendo diluído e exposto no solo, o que dificultou a coleta.

A mistura foi feita de acordo com o estabelecido por Lucas Junior et al., (2006). Onde utilizou-se 67kg de esterco fresco recolhido no raio de 50m do curral, área de alimentação e descanso dos animais, utilizou-se 59L de água na proporção de 1:1, totalizando uma mistura de 126L, não foram utilizados 67L de água pelo fato do esterco recolhido está muito aquoso. Como vemos na Figura 28 e Figura 29.

Figura 28 - Material coletado



Fonte: Autores, 2023.

Figura 29 - Mistura preparada



Fonte: Autores, 2023.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados neste experimento sobre a viabilidade da implantação e operação de um biodigestor modelo bombona para o aproveitamento de dejetos bovinos em duas propriedades rurais nos municípios Breu Branco e Tucuruí, ambas no Estado do Pará, estão apresentadas a seguir.

5.1 Resultado do teste 1

5.1.1 Análise observacional teste 1

Após a montagem e alimentação do biodigestor, foi iniciada a fase de observação e acompanhamento diário.

Com a ajuda de um termômetro digital foram feitas coletas de dados diários sobre a temperatura interna do biodigestor, juntamente com a temperatura máxima e mínima durante todo o período de teste para analisar as possíveis alterações nas mudanças de temperatura e se influência no processo de produção do biogás.

A coleta dos dados de temperatura interna do biodigestor e de temperatura ambiente externa, iniciou-se no dia 12 de dezembro de 2022, no segundo dia após o início de funcionamento e foi finalizado no dia 25 de janeiro de 2023.

Todos os dados foram coletados no período de 1 hora de tempo, no intervalo de 17:00 horas às 17:59 da tarde. Na Tabela 9, temos os dados de temperatura máxima e mínima que foram retirados da base de dados do INMET (2023), e os dados de temperatura interna do biodigestor.

Tabela 9 - Temperatura máxima e mínima e temperatura interna do biodigestor teste 1

Data	Hora	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura do biodigestor (°C)
12/12/2022	17:08	31,7	29,8	32,4
13/12/2022	17:12	31,8	29,8	34,4
14/12/2022	17:06	32,6	31,1	36,7
15/12/2022	17:17	32,3	30,2	35,9
16/12/2022	17:14	32	29,5	35,2
17/12/2022	17:21	31,8	29	34,9
18/12/2022	17:05	31,2	29,2	34,2
19/12/2022	17:09	31,7	30,6	36,4
20/12/2022	17:03	30,8	29,6	35,6
21/12/2022	17:16	29,8	26,8	33,7
22/12/2022	17:08	29,8	27,8	33,9
23/12/2022	17:04	29,3	28	32,7
24/12/2022	17:19	30,7	29,4	32,6
25/12/2022	17:07	31,1	28,4	32,2
26/12/2022	17:29	30,2	29,5	32,4
27/12/2022	17:18	25,5	24,2	31,8
28/12/2022	17:31	27,3	25,9	31,6

29/12/2022	17:14	28,4	25,5	31,7
30/12/2022	17:23	28,7	27	31,4
31/12/2022	17:36	31,1	30	34,6
01/01/2023	17:09	29,8	26,8	33,7
02/01/2023	17:17	27	25,5	31,9
03/01/2023	17:02	31,1	29,2	33,4
04/01/2023	17:08	29	23,5	32,6
05/01/2023	17:23	29,7	26,6	32,5
06/01/2023	17:17	31,3	29,6	34,9
07/01/2023	17:06	30,1	28,4	34,6
08/01/2023	17:32	29,1	28,2	33,4
09/01/2023	17:15	29,6	28,6	33,2
10/01/2023	17:22	30,8	28,8	33,6
11/01/2023	17:37	31,3	29,9	34,8
12/01/2023	17:18	30,4	28,4	33,7
13/01/2023	17:04	31,8	30,1	36,9
14/01/2023	17:11	29,4	28,5	34,6
15/01/2023	17:29	29,7	28,6	34,8
16/01/2023	17:05	30,4	28	34,3
17/01/2023	17:41	30,7	28,6	34,7
18/01/2023	17:26	28,3	26,2	33,4
19/01/2023	17:32	28,5	26,4	33,2
20/01/2023	17:17	31,2	28,4	33,8
21/01/2023	17:19	31	28	33,6
22/01/2023	17:08	30,8	29	32,9
23/01/2023	17:06	30,4	27,5	32,1
24/01/2023	17:12	30,4	27,3	32,4
25/01/2023	17:22	27,3	25,6	31,1
Valores da média de temperatura		30,1	28,1	33,6

Fonte: INMET.

5.1.2 Análise operacional teste 1

Após a coleta de dados diários da temperatura, o segundo passo foi a observação da produção bruta de biogás.

Durante todo o período de atividade do biodigestor, observou-se se seriam necessário mudanças ou adaptações e se não haveriam possíveis vazamentos durante o período de funcionamento. Até o final do primeiro teste não se obteve nem um problema em relação ao funcionamento do biodigestor.

Notou-se que a produção do biogás teve início no 16º dia após o abastecimento inicial, para evitar perdas de gás durante o processo, um balão simples de aniversário foi adaptado na saída de gás do biodigestor (torneira de jardim), para saber o período de início de produção de gás, os testes foram feitos diariamente e no mesmo horário de coleta de dados da temperatura interna, e no 16º dia teve início a produção de gás, com isso conectou-se a câmara externa para o armazenamento.

Notou-se que a câmara externa de armazenamento começava a ser inflada, o processo de enchimento seguiu até a câmara atingir o diâmetro de 74cm, medida que foi utilizada como padrão, pois a câmara com essa medida de diâmetro modificou levemente a forma da tampa do biodigestor dilatando a mesma, para evitar eventuais problemas de rompimentos futuros em algum ponto do biodigestor, essa medida foi adotada como medida máxima de enchimento da câmara. Como vemos na Figura 30 a seguir.

Figura 30 – Ciclos de enchimento da câmara



Fonte: Autores, 2023.

Na Tabela 10, estão os resultados de cada ciclo de tempo em dias que levou para a câmara de ar encher.

Tabela 10 - Dias necessários para o enchimento da câmara

Tempo (dias)	Diâmetro da circunferência da câmara (cm)
8	74,6
6	74,2
7	74,2
8	69,3

Fonte: Autores, 2023.

Para medir o volume bruto aproximado de biogás produzido utilizou-se a equação do volume de um cilindro, tendo em vista que a câmara de ar tem dimensão cilíndrica, o comprimento da circunferência da câmara seria equivalente a altura do cilindro, portanto, utilizou-se a equação do volume do cilindro para se aproximar ao máximo ao valor produzido, assim, temos. Equação (2)

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (2)$$

Onde:

V: é o volume bruto de biogás produzido

R: é o raio da circunferência inflada da câmara de ar

H: é a medida total do comprimento da câmara de ar inflada

Para mensurar o volume total de gás produzido no final do teste, foram somados os resultados de cada ciclo de enchimento total da câmara. A câmara foi cheia por completo três vezes, e uma vez não atingiu o diâmetro máximo determinado.

Após 8 dias do início do enchimento a câmara foi cheia por completo, não houve mudanças no comprimento da câmara, que permaneceu 2,91m ou 291cm durante todo o processo, sua circunferência no primeiro enchimento é de 74,6cm ou 0,746m, para saber qual o raio da circunferência, usou-se a equação da circunferência, onde temos, Equação (3)

$$C = 2 \times \pi \times r \quad (3)$$

Para encontrar o raio da circunferência, temos:

$$C = 2 \times \pi \times r$$

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Utilizando a equação para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

$$r = \frac{74,6}{2\pi}$$

$$r = 11,87\text{cm ou } 0,1187\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_1 = 3,14 \times 0,1187^2\text{m} \times 2,91\text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_1 = 0,1288\text{m}^3$$

O volume obtido no primeiro enchimento da câmara de ar foi de $0,1288\text{m}^3$.

Após a primeira medição do volume, foi feita a secagem da câmara manualmente e um novo processo de enchimento se iniciou. Com 6 dias a câmara de ar foi inflada totalmente, totalizando uma circunferência de 74,2cm ou 0,742m, utilizando a equação da circunferência para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Onde:

$$r = \frac{74,2}{2\pi}$$

$$r = 11,80\text{cm ou } 0,1180\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,1180^2 \text{m} \times 2,91 \text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_2 = 0,1272 \text{m}^3$$

O volume obtido no segundo enchimento da câmara de ar foi de $0,1272 \text{m}^3$.

A câmara foi inflada por completo uma terceira vez, com 7 dias a câmara de ar foi inflada totalmente, totalizando uma circunferência de 74,2cm ou 0,742m, a mesma medida atingida na medição anterior, utilizando a equação da circunferência para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Onde:

$$r = \frac{74,2}{2\pi}$$

$$r = 11,80 \text{cm ou } 0,1180 \text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_3 = 3,14 \times 0,1180^2 \text{m} \times 2,91 \text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_3 = 0,1272 \text{m}^3$$

O volume obtido no terceiro enchimento da câmara de ar foi de $0,1272 \text{m}^3$.

A câmara novamente foi esvaziada e preparada para o enchimento, ao fim dos 45 dias a câmara não foi inflada por completo, ou seja, não atingiu a medida de circunferência adotada como padrão, atingindo a circunferência de 69,3cm ou 0,693m, utilizando a equação da circunferência para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

$$r = \frac{69,3}{2\pi}$$

$$r = 11,02\text{cm ou } 0,1102\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_4 = 3,14 \times 0,1102^2\text{m} \times 2,91\text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_4 = 0,1110\text{m}^3$$

O volume obtido no terceiro enchimento da câmara de ar foi de $0,1110\text{m}^3$.

Ao final do processo de 45 dias, o biodigestor foi totalmente esvaziado, os valores adquiridos foram somados para se obter o volume aproximado total durante o ciclo, com isso temos:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

Onde:

$$V_T = 0,1288 + 0,1272 + 0,1272 + 0,1110$$

O volume bruto total produzido de biogás foi de:

$$V_T = 0,4942\text{m}^3 \text{ ou } 494,2 \text{ L}$$

Portanto, em 45 dias de operação o biodigestor produziu $0,4942\text{m}^3$ de biogás.

Observou-se que a produção do biogás se manteve constante após o início da produção, produzindo gás até o último dia de teste, isso deve-se ao abastecimento contínuo de biomassa e ao clima quente da região.

Regiões com temperaturas mais elevadas como é o caso de Tucuruí/PA e breu branco/PA, podem influenciar positivamente na produção de biogás.

5.2 Resultado do teste 2

5.2.1 Análise observacional teste 2

A coleta dos dados de temperatura interna do biodigestor e de temperatura ambiente externa, iniciou-se no dia 17 de março de 2023, no segundo dia após o início de funcionamento e foi finalizado no dia 30 de abril de 2023.

Como ocorrido no teste 1, todos os dados foram coletados no período de 1 hora de tempo, no intervalo de 17:00 horas às 17:59 da tarde, os dados de temperatura máxima e mínima foram retirados da base de dados do INMET, os dados do teste 2 estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Temperatura máxima e mínima e temperatura interna do biodigestor teste 2

Data	Hora	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura do biodigestor (°C)
17/03/2023	17:12	27,9	25,8	29,3
18/03/2023	17:06	30,2	28,5	31,2
19/03/2023	17:11	30,6	28,6	29,9
20/03/2023	17:18	29,2	27,9	29,8
21/03/2023	17:07	27,9	26,7	29,4
22/03/2023	17:03	29,9	28,4	31,4
23/03/2022	17:19	26,2	24,2	29,3
24/03/2022	17:25	25,6	25	28,2
25/03/2022	17:32	31,6	26	31,6
26/03/2022	17:11	31,1	29,2	34,3
27/03/2022	17:18	27,5	26,7	31,8
28/03/2022	17:37	26	25,2	29,7
29/03/2022	17:03	30,4	28,7	36,3
30/03/2022	17:21	31,1	29,9	35,3
31/03/2022	17:38	28,1	27	32,6
01/04/2022	17:11	30,1	28,7	29,7
02/04/2022	17:16	30,5	28,8	36,2
03/04/2022	17:42	29,7	27,6	34,2

04/04/2022	17:24	29,8	27,4	35,4
05/04/2022	17:09	30	28,2	36,8
06/04/2023	17:05	29,6	27	37,5
07/04/2023	17:22	28,9	26,7	33,8
08/04/2023	17:08	29	27,9	31,3
09/04/2023	17:04	26,5	25,3	31,9
10/04/2023	17:31	30,3	28,5	32,4
11/04/2023	17:17	30,6	28,8	34,5
12/04/2023	17:14	31,4	30,4	36,2
13/04/2023	17:26	30	28,7	33,2
14/04/2023	17:10	30,8	28,1	34,6
15/04/2023	17:23	31,1	29,2	33,2
16/04/2023	17:33	29,9	28,7	32,3
17/04/2023	17:08	30,8	28,5	31,7
18/04/2023	17:05	30,5	28,4	31,8
19/04/2023	17:17	30,4	28,7	31,3
20/04/2023	17:21	31	29,9	32,3
21/04/2023	17:16	31,1	30,1	32,8
22/04/2023	17:34	31,6	30,6	32,8
23/04/2023	17:21	30,3	29,5	32,5
24/04/2023	17:12	30,2	29	33,6
25/04/2023	17:27	31,2	29,7	35,2
26/04/2023	17:39	31,5	30,5	35,3
27/04/2023	17:15	30,5	28,1	33,1
28/04/2023	17:42	30	29,1	33,4
29/04/2023	17:23	31,4	30,4	34,1
30/04/2023	17:37	31,2	29,9	35,1
Valores da média de temperatura		29,8	28,2	32,8

Fonte: INMET.

5.2.2 Análise operacional teste 2

Durante o segundo teste, assim como no primeiro não se obteve nem um problema em relação ao funcionamento do biodigestor, não ocorreram vazamentos ou quaisquer contra tempo que viesse atrapalhar a eficiência da produção durante o período de atividade.

Assim como foi feito no teste 1, a coleta de dados da temperatura interna do biodigestor e da temperatura externa ocorreram diariamente, a observação do início da produção bruta de biogás também ocorreu diariamente.

Notou-se que a produção do biogás teve início no 19º dia após o primeiro abastecimento, utilizando-se do mesmo método do teste 1, com a ajuda de um balão simples de aniversário foram feitos testes diários na saída de gás do biodigestor, os testes foram feitos no mesmo horário de coleta de dados da temperatura interna, e no 19º dia iniciou-se a produção de gás, com isso conectou-se a câmara externa para o armazenamento. O tempo de retenção foi de 7 dias, o mesmo utilizado no teste 1.

Assim como no primeiro teste, a medida de 74cm de diâmetro foi adotada como medida máxima de enchimento da câmara.

Ao final dos 45 dias o biodigestor teve seu período de atividade interrompido, a matéria orgânica já sem poder de produção de biogás foi totalmente descartada em forma de biofertilizante, o biofertilizante retirado foi utilizado nas plantações da própria propriedade, assim como ocorreu no teste 1.

Como no teste 1. Na Tabela 12, estão os resultados de cada ciclo de tempo em dias que levou para a câmara de ar encher no teste 2

Tabela 12 - Dias necessários para o enchimento da câmara

Tempo (dias)	Diâmetro da circunferência da câmara (cm)
11	74,2
8	74,3
7	65,8

Fonte: Autores, 2023.

Após 11 dias do início do enchimento a câmara foi cheia por completo, não houve mudanças no comprimento da câmara, que permaneceu 2,91m ou 291cm durante todo o processo, sua circunferência no primeiro enchimento é de 74,2cm

ou 0,742m, para saber qual o raio da circunferência, usou-se a equação da circunferência, onde temos:

$$C = 2 \times \pi \times r$$

Utilizando-se da manipulação de variável isolamos o r para encontrar o raio da circunferência, temos:

$$C = 2 \times \pi \times r$$

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Utilizando a equação para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

$$r = \frac{74,2}{2\pi}$$

$$r = 11,80\text{cm ou } 0,1180\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_1 = 3,14 \times 0,1180^2\text{m} \times 2,91\text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_1 = 0,1272\text{m}^3$$

O volume obtido no primeiro enchimento da câmara de ar foi de $0,1272\text{m}^3$.

Após a primeira medição do volume, foi feita a secagem da câmara manualmente e um novo processo de enchimento se iniciou. Com 8 dias a câmara de ar foi inflada totalmente, totalizando uma circunferência de 74,3cm ou 0,743m, utilizando a equação da circunferência para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Onde:

$$r = \frac{74,3}{2\pi}$$

$$r = 11,82\text{cm ou } 0,1182\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,1182^2\text{m} \times 2,91\text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_2 0,1276\text{m}^3$$

O volume obtido no segundo enchimento da câmara de ar foi de $0,1276\text{m}^3$.

A câmara novamente foi esvaziada e preparada para o enchimento, ao fim dos 45 dias a câmara não foi inflada por completo, ou seja, não atingiu a medida de circunferência adotada como padrão, atingindo a circunferência de 65,8cm ou 0,658m, utilizando a equação da circunferência para encontrar o raio, temos:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

$$r = \frac{65,8}{2\pi}$$

$$r = 10,47\text{cm ou } 0,1047\text{m}$$

Utilizando a equação do volume do cilindro, temos:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_3 = 3,14 \times 0,1047^2\text{m} \times 2,91\text{m}$$

Onde, o valor obtido foi de:

$$V_3 = 0,1001\text{m}^3$$

O volume obtido no terceiro enchimento da câmara de ar foi de $0,1001\text{m}^3$.

Ao final do processo de 45 dias, o biodigestor foi totalmente esvaziado, os valores adquiridos foram somados para se obter o volume aproximado total durante o ciclo, com isso, temos:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

Temos:

$$V_T = 0,1272 + 0,1276 + 0,1001$$

O volume bruto total produzido de biogás foi de:

$$V_T = 0,3549\text{m}^3 \text{ ou } 354,9 \text{ L}$$

Portanto, em 45 dias de operação o biodigestor produziu $0,3549\text{m}^3$ de biogás.

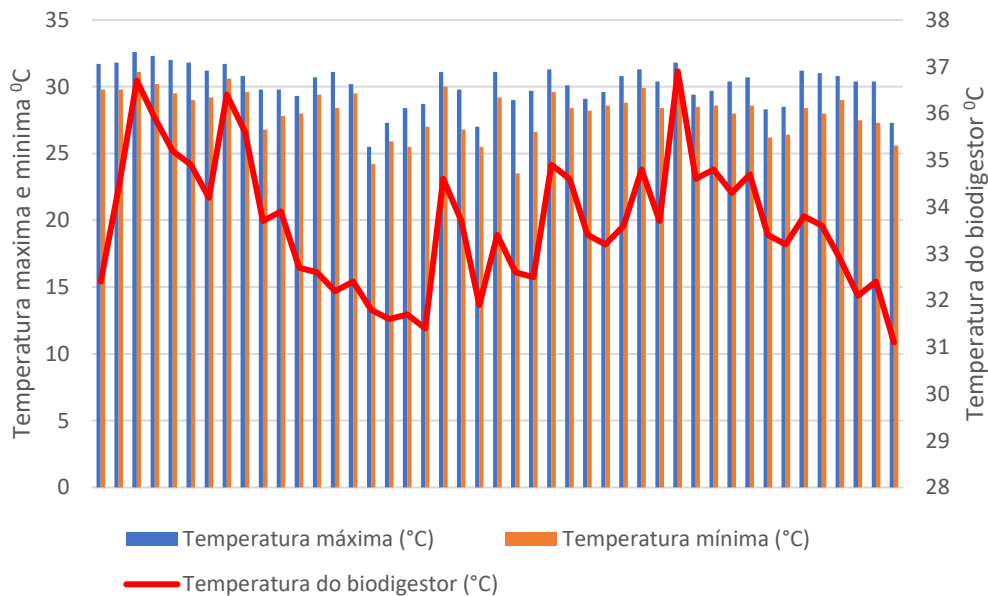
5.3 Análise da produção de biogás

No primeiro teste, realizado em dezembro de 2022 a janeiro de 2023 foi obtido uma produção de $0,4942\text{m}^3$ de biogás em sua forma bruta. No segundo teste que ocorreu em março de 2023 a abril de 2023 observou-se uma produção de biogás menor em comparação com a primeira de $0,3549\text{m}^3$. Levando em consideração que os testes foram feitos em períodos climáticos diferentes e ambos os testes ocorreram em cidades diferentes, deve-se levar em consideração a quantidade de matéria prima, no teste 2, que foi menor. Esses fatores influenciaram para uma diferença na produção.

No teste 1, todo o ciclo de produção ocorreu com sol constantemente durante o dia, o que favoreceu positivamente na produção de biogás, a absorção de calor por parte do biodigestor é maior, a temperatura máxima e mínima teve uma baixa variação, isso favoreceu positivamente o processo de produção, mantendo a temperatura interna no reator alta e com uma baixa variação.

A média da temperatura interna do biodigestor foi de 33,6 °C, a temperatura máxima teve uma média de 30,1 °C e a temperatura mínima teve uma média de 28,1 °C. Como vemos na Figura 31 a seguir.

Figura 31 - Gráfico 1 - Temperatura máxima, mínima e interna do biodigestor teste 1



Fonte: Autores, 2023.

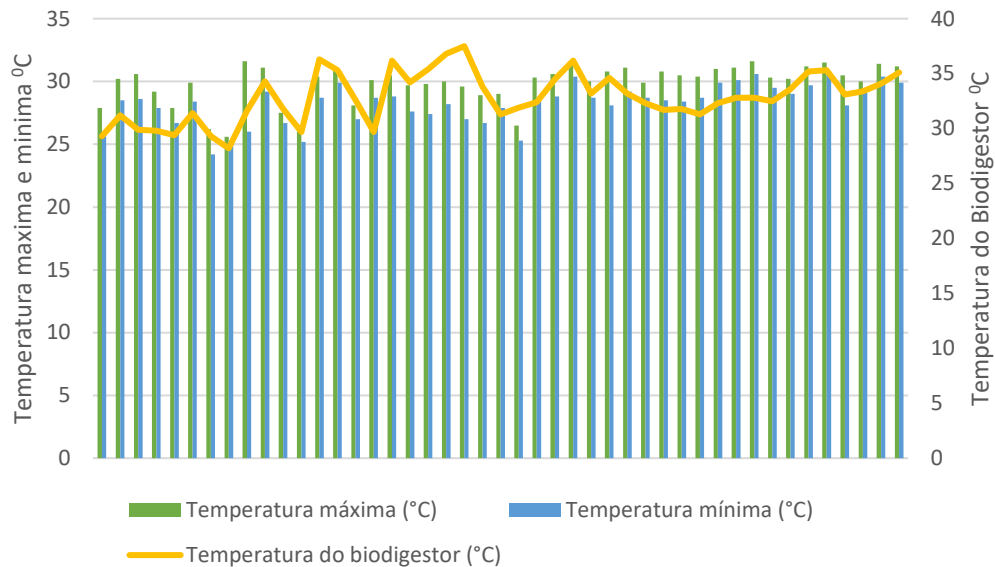
Outro fator importante para a produção de biogás é a constância na temperatura, as mudanças bruscas de temperatura desfavorecem a produção de biogás.

No teste 2, é notado uma queda na produção de biogás no decorrer do estudo, porém nota-se que a temperatura interna do biodigestor se manteve alta, entende-se que isso ocorreu devido a quantidade de raios solares recebido durante os dias de teste, entretanto, para a baixa produção de biogás em comparação com o teste 1, entende-se que as fortes chuvas nos meses de março e abril, e as quedas bruscas de temperatura anoite somado aos dias nublados contribuíram para a baixa produção de biogás.

A média da temperatura interna do biodigestor foi de 32,8 °C, a temperatura máxima teve uma média de 29,8 °C e a temperatura mínima teve uma média de 28,2 °C, mesmo com as fortes chuvas e as quedas de temperatura, o biodigestor manteve

uma temperatura interna alta em comparação ao teste 1. Como vemos na Figura 32 a seguir.

Figura 32 - Gráfico 2 - Temperatura máxima, mínima e interna do biodigestor teste 2



Fonte: Autores, 2023.

Para Barrera (1993), a temperatura no interior do biodigestor deve ser mantida em torno de 35^o C, na faixa mesófila, caso a temperatura diminua bruscamente poderá haver uma significativa diminuição na produção de biogás, para temperaturas internas abaixo de 15 ^oC, não existirá produção de biogás.

5.4 Análise financeiro

Para analisar o retorno financeiro utilizou-se o modelo do payback simples, onde o valor inicial de investimento é dividido pelo valor de retorno financeiro, em outras palavras, o payback simples é um cálculo avaliativo em função do tempo, ou seja, quanto tempo levará para o investimento inicial se pagar. Se o retorno do investimento for em menos que cinco anos, é viável usar o método payback simples, caso contrário usa-se outro método (DAMONDARAN, 2004). Assim temos a Equação (1).

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Valor do fluxo de caixa}} \quad (1)$$

Para o teste 1 e teste 2, foram feitas duas simulações utilizando o método do payback simples, na primeira situação o valor de retorno com o biofertilizante dado em kg. Caso o produtor rural queira vender o biofertilizante na sua forma seca ou utilizar o biofertilizante em sua propriedade, proporcionando ao produtor uma economia em relação ao fertilizante comercial.

Na segunda situação o valor de retorno com a venda do biofertilizante foi dada em L. Caso o produtor rural queira vender o produto em L. O litro custa em média R\$ 0,75 centavos (este valor foi adotado após entrevista com os próprios proprietários dos locais onde ocorreram os testes, que acharam o valor aceitável pelo produto).

No teste1, foram produzidos 0,4m³ de biogás, o que corresponde a aproximadamente 1kg de GLP, que é o equivalente a aproximadamente 7,69% do gás contido em um botijão de 13kg. Na propriedade localizada no Município de breu branco o botijão de gás tem duração média de 2 meses, foram consultadas duas empresas de revenda de gás em breu branco e em média o valor do botijão para revenda custa R\$ 120,00 reais, valor referente ao preço médio de mercado ao mês de junho 2023.

Pode-se concluir que a economia mensal é de R\$ 9,22 reais, esse valor é referente a meio botijão de GLP, levando em consideração que 1 botijão tem duração de dois meses, o valor real de economia com o uso de 1 botijão é de R\$ 18,44 reais.

Foram coletados aproximadamente 104 kg de dejetos, ao longo de todo o processo de teste, foram produzidos aproximadamente 203L de biofertilizante.

Segundo Tanganelli (2007), a cada 17L de dejetos bovinos gerados por dia, temos 0,31 g/L de nitrogênio, e 0,38 g/L de fósforo, e 0,21 g/L de potássio por litro.

Na Tabela 13, os valores referentes a lucratividade mensal com o biofertilizante equiparado ao preço comercial em kg.

Tabela 13 - Lucratividade mensal em kg teste 1

nutrientes	Produção média durante o teste (kg)	Preço médio do fertilizante comercial (R\$/kg)	Lucro (R\$)
-------------------	--	---	--------------------

Nitrogênio (ureia)	0,06293kg/L	8,50	0,53
Fosforo (superfosfato simples granulado)	0,07714kg/L	16,00	1,23
Potássio (cloreto de potássio granulado)	0,04263kg/L	9,50	0,40
Total			2,16

Fonte: autores, 2023.

Levando em consideração o preço médio de revenda do biofertilizante comercial em kg, como vemos na Tabela 13, o lucro com 203L de biofertilizante na sua forma seca será de aproximadamente R\$ 2,16 reais ao mês.

Entretanto, o preço comercial médio de revenda do biofertilizante em sua forma líquida é em torno de R\$ 0,75 reais por litro, o produtor terá um lucro mensal de aproximadamente R\$ 152,25 reais ao mês.

O modelo do payback simples foi utilizado para as duas situações, levando em consideração os diferentes valores de revenda para o biofertilizante (kg e L).

Na **1ª situação**, o lucro mensal com a venda do biofertilizante seco e em kg foi de aproximadamente R\$ 2,16 reais ao mês, este valor é somado ao valor lucrado com a economia de GLP que foi de R\$ 9,22 mensal.

Desta forma, o produtor rural terá uma economia mensalmente de aproximadamente R\$11,38 reais.

Para encontrar o payback, o valor total do custo do biodigestor de R\$ 424,10 reais, é dividido pelo valor lucrado por mês R\$ 11,38 reais, assim, o retorno financeiro é em aproximadamente 37,2 meses.

Na **2ª situação**, o lucro mensal com a revenda de biofertilizante em litros foi de aproximadamente R\$ 152,25 reais ao mês, este valor é somado ao valor lucrado com a economia de GLP R\$ 9,22 mensal.

Desta forma, o produtor terá uma economia mensal de aproximadamente R\$ 161,47 reais ao mês.

Para encontrar o payback, o valor total do custo do biodigestor de R\$ 424,10 reais, é dividido pelo valor lucrado por mês R\$ 161,47 reais, assim, o retorno financeiro é em aproximadamente 2,6 meses.

No teste 2 foram produzidos 0,3m³ de biogás, o corresponde a aproximadamente R\$ 0,75kg de GLP, que é o equivalente a 5,77% do gás contido em um botijão de 13kg. Na propriedade localizada no Município de Tucuruí, o botijão de gás tem duração média de 1 mês e meio, foram consultadas duas empresas de revenda de gás em Tucuruí e em média o valor do botijão para revenda custa R\$ 100,00 reais, valor referente ao preço médio de mercado ao mês de junho 2023.

Pode-se concluir que a economia mensal é de aproximadamente R\$ 5,77 reais, levando em consideração que 1 botijão tem duração média de 1 mês e meio, o valor real de economia com o uso de 1 botijão de GLP é de aproximadamente R\$ 8,65 reais.

Foram coletados aproximadamente 67 kg de dejetos ao longo de todo o processo de teste, produzindo aproximadamente 126L de biofertilizante.

Na Tabela 14, os valores referentes a lucratividade mensal com o biofertilizante equiparado ao preço comercial em kg

Tabela 14 - Lucratividade mensal em kg teste 2

nutrientes	Produção média durante o teste (kg)	Preço médio do fertilizante comercial (R\$/kg)	Lucro (R\$)
Nitrogênio (ureia)	0,03906kg/L	8,50	0,33
Fosforo (superfosfato simples granulado)	0,04788kg/L	16,00	0,76
Potássio (cloreto de potássio granulado)	0,02646kg/L	9,50	0,25
Total			1,34

Fonte: autores, 2023.

Como utilizado no teste 1, o modelo do payback simples foi utilizado para as duas situações do teste 2, levando em consideração os diferentes valores de revenda para o biofertilizante (kg e L).

Na **1ª situação**, o lucro mensal com a venda do biofertilizante seco e em kg foi de aproximadamente R\$ 1,34 reais ao mês, este valor é somado ao valor lucrado com a economia de GLP que foi de R\$ 5,77 mensal.

Desta forma, o produtor rural terá uma economia mensalmente de aproximadamente R\$ 7,11 reais.

Para encontrar o payback, o valor total do custo do biodigestor de R\$ 424,10 reais, é dividido pelo valor lucrado por mês R\$ 7,11 reais, assim, o retorno financeiro é em aproximadamente 59,6 meses.

Na **2ª situação**, o lucro mensal com a revenda de biofertilizante em litros foi de aproximadamente R\$ 94,50 reais ao mês, este valor é somado ao valor lucrado com a economia de GLP R\$ 5,77 mensal.

Desta forma, o produtor terá uma economia mensal de aproximadamente R\$ 100,27 reais ao mês.

Para encontrar o payback, o valor total do custo do biodigestor de R\$ 424,10 reais, é dividido pelo valor lucrado por mês R\$ 100,27 reais, assim, o retorno financeiro é em aproximadamente 4,2 meses.

5.5 Capacidade do biodigestor modelo bombona

O biodigestor modelo bombona mostrou-se eficiente na produção de biogás, em ambos os testes a produção foi satisfatória. Para os cálculos de capacidade de armazenamento da bombona utilizou-se das informações contidas na tabela 2. Onde um boi em regime de criação extensivo produz aproximadamente 15kg de dejetos por dia.

No sítio São Raimundo os 23 animais produzem diariamente aproximadamente 345 kg de esterco, foram coletados em um dia aproximadamente 104 kg o que equivale a aproximadamente 29,9% da produção diária dos animais. Na chácara São José os 8 animais produzem aproximadamente 120kg por dia de dejetos, foram coletados em um dia aproximadamente 67kg de dejetos o que equivale a aproximadamente 53,4% da produção diária, a bombona tem um volume máximo de 200L, com isso, temos.

VCT = volume de capacidade total da bombona

CTL = capacidade total em litros (200L)

Onde:

VCT = CTL X 0,75 (capacidade de armazenamento da bombona 75%)

VCT = 150L

Levando em consideração a proporção equivalente de dejetos produzidos por dia nas duas propriedades, o biodigestor modelo bombona suporta a carga diária de dejetos de aproximadamente 2 bovinos.

5.6 Correlação entre pesquisas

Como apresentado por Montoro et al., (2017) a viabilidade econômica e financeira da instalação de um biodigestor, com a finalidade de produzir biogás e biofertilizante através do confinamento de gado bovino em uma propriedade rural localizada no estado de São Paulo, os resultados demonstraram-se satisfatórios. Onde a implantação de biodigestores em sistemas de confinamento de gado pode ser positiva economicamente a partir da geração de energia elétrica e da venda de biofertilizante com retorno financeiro descontado.

O estudo de Nape et al., (2019), introduziu o biogás como fonte de energia alternativa para fazendas de gado rural no município de Maluti, África do Sul. A implantação dos biodigestores foi bem aceita pelos agricultores em todas as comunidades que a tecnologia foi implantada, mesmo com a produção de biogás abaixo do esperado no inverno, obtendo resultados insatisfatórios neste período.

Mendonça et al., (2021) apresentou em sua pesquisa sobre digestão anaeróbia, que os biodigestores além de tratar os efluentes gerados pelo gado, também proporcionam a produção de biogás. Os resultados desta pesquisa indicaram boa eficiência no tratamento, por exemplo, a remoção de matéria orgânica, a redução de custos de produção relacionada a pecuária, além de trazer benefícios com a produção de energia renovável.

Demeu et al., (2021) mostrou que a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor de pequeno porte é possível e positiva em todos os cenários. Mostrou-se ainda, uma análise satisfatória do payback simples e descontado, e na relação de custo benefício, proporcionando um retorno financeiro em um curto período de tempo.

Em todas as pesquisas referidas constatou-se semelhanças. Observa-se o uso do biodigestor como alternativa viável e eficiente para a destinação de dejetos gerados na bovinocultura e o reuso dessa matéria orgânica como biomassa, tanto para geração de biogás quanto para uso em forma de biofertilizante orgânico, proporcionando uma redução da carga poluidora, o que conseqüentemente minimiza os impactos ambientais gerados por esse poluidor.

Portanto, o tratamento de dejetos não traz apenas benefícios para o produtor rural, com a redução com gás de cozinha, energia e fertilizantes químicos, o principal benefício é para o meio ambiente, minimizando os impactos após o processo de transformação do material orgânico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, teve como objetivo favorecer principalmente os pequenos e médios produtores rurais nas cidades em torno do lago de Tucuruí/PA, que vivem principalmente da agricultura familiar.

O projeto teve como intenções principais, incentivar os produtores a preservação do meio ambiente e a reutilização de matéria prima orgânica na sua própria propriedade que provavelmente não seriam aproveitadas.

Com base nos resultados a produção de biogás nos dois testes mostrou-se satisfatório, tendo em vista que o biodigestor utilizado é de pequeno porte, é interessante ressaltar que o equipamento foi elaborado com um baixo orçamento, e para sua montagem, operação e manutenção não são necessárias grandes habilidades técnicas.

Sobre o retorno financeiro pode-se destacar o baixo investimento inicial. O estudo verificou que a implantação do biodigestor se mostrou economicamente viável nas duas propriedades, mesmo o biodigestor sendo de pequeno porte e que não produz uma quantidade de gás que de uma autonomia total do gás GLP ao produtor. Porém, o biofertilizante produzido é economicamente viável ao produtor, proporcionando um ganho financeiro satisfatório a curto prazo principalmente com a revenda em sua forma líquida.

Entretanto, a revenda do biofertilizante na sua forma seca não é viável ao produtor, levando em consideração o preço médio de mercado do kg dos principais nutrientes encontrados no biofertilizante, e equiparando ao biofertilizante líquido produzido, o retorno financeiro é lento.

Durante o período dos testes surgiram dificuldades, recomenda-se uma tubulação de descarga maior, foi utilizado uma tubulação de 25mm o que dificultou a saída de material ao final dos testes.

Durante o transporte do biodigestor para a propriedade seguinte, o tubo de descarga de dejetos sofreu uma rachadura, utilizou-se o veda calha juntamente com o durepoxi para o concerto.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- A utilização de bombonas em serie para que se possa utilizar uma quantidade de matéria prima maior;
- A torneira plástica de saída de biogás deve ser substituída por uma de metal, para evitar vazamentos futuros.
- A tubulação de descarte de material deve ser aumentada para no mínimo 50mm;
- A utilização de bombonas sem tampa rosqueavel, para evitar vazamentos futuros;
- A tubulação de entrada de material deve ser aumentada para 150mm, para facilitar a introdução de matéria prima;
- Utilizar bombonas nas cores mais escuras, a temperatura interna do biodigestor se intensifica mais;
- A instalação de um misturador no fundo do biodigestor;
- Uma análise de qualidade do biogás produzido por dejetos bovinos;

REFERÊNCIAS

- AIRES, Allan Wastowski et al. Avaliação de desempenho de um biodigestor canadense modificado no tratamento de dejetos de suínos. **Engevista**, 2014.
- BARMAN, Manashi e cols. Biofertilizante como insumo prospectivo para agricultura sustentável na Índia. **Jornal Internacional de Microbiologia Atual e Ciências Aplicadas**, v. 6, n. 11, pág. 1177-1186, 2017.
- BERNDT, Alexandre. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. 2010.
- BEZERRA, Vanessa Rosales et al. BIODIGESTORES: VIABILIDADES TÉCNICAS DE IMPLANTAÇÃO, UTILIZAÇÃO, VANTAGENS E DESVANTAGENS.
- BIODIGESTOR, USODOEDE et al. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017 Hangar Convenções e Feiras da Amazônia-Belém-PA.
- Castro, M. B. S., Zago, E. A., Silva, É. L., Rodio, E., Wendt, E. J., Rezende, D. C. V., & Hinterholz, B. (2022). Impactos da geração de biogás a partir de resíduos da bovinocultura de leite. *Research, Society and Development*, 11(12), e109111234079-e109111234079.
- CIDADE-BRASIL. Estado do Pará. **Município de Breu Branco**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-breu-branco.html>. Acesso em 24 abr.2023.
- CIDADE-BRASIL. Estado do Pará. **Município de Tucuruí**. Disponível em: [https://www.cidadebrasil.com.br/municipiotucuruui.html#:~:text=A%20densidade%20demogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20de,%C2%B0%2040'%2027"%20Oeste](https://www.cidadebrasil.com.br/municipiotucuruui.html#:~:text=A%20densidade%20demogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20de,%C2%B0%2040'%2027). Acesso em 24 abr.2023.
- CIDADES, M. DAS. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização. Gülzow, v. 5, p. 233, 2010.
- DAMODARAN, Aswath. **Finanças Corporativas:- Teoria e Prática**. Bookman Editora, 2009.
- DE AZEVEDO FRIGO, Késia Damaris et al. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015.
- DE OLIVEIRA, Caroline Souza Andrade; PROENÇA, Marcos Baroncini. Biodigestor com controle inteligente. **Caderno Progressus**, v. 1, n. 1, 2021.
- DEGANUTTI, Roberto et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

DOTTO, Rodrigo Bragança; WOLFF, Delmira Beatriz. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

FACHINETTO, Julhana Dias; BRISOLA, Marlon Vinícius. Evolução dos estudos sobre a produção de bovinos de corte e a emissão de gases de efeito estufa decorrente dessa atividade na região central do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, 2018.

GARRIDO, Eduardo Cardoso et al. Tecnologias para a Produção de Biofertilizantes: tendências e oportunidades. 2019.

KAPOOR, Rimika e cols. Avaliação de tecnologias de aproveitamento de biogás e perspectivas futuras: uma revisão. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição**, v. 26, p. 11631-11661, 2019.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; DO AMARAL, André Cestonaro. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. 2022.

LIN, Qiang e cols. Mecanismos regulados por microrganismos dos efeitos da temperatura no desempenho da digestão anaeróbica. **Microbial Cell Factories**, v. 15, p. 1-18, 2016.

MACIEL, Alyne Martins et al. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019.

STUCHI, J. F. Biofertilizante: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer. 1. ed. Brasília: Embrapa Amapá, 2015. 16 p. ISBN 978-85-7035-536-2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147536/1/CPAF-AP-2015-Cartilha-Biofertilizante-final.pdf>. Acesso em: 23 abril 2023.

OLIVEIRA, Matias Marchesan de et al. Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense. 2012.

PASQUALINI, Alexandre Antônio. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. **Revista Faculdades do Saber**, v. 5, n. 09, 2020.

PASQUALINI, Alexandre Antônio. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. **Revista Faculdades do Saber**, v. 5, n. 09, 2020.

PLUGGE, Caroline M. Biogás. **Biotecnologia microbiana**, v. 10, n. 5, pág. 1128-1130, 2017.

RAFIEE, Ahmad et al. Biogás como vector energético. **Biomassa e Bioenergia**, v. 144, p. 105935, 2021.

SCARLAT, Nicolae; DALLEMAND, Jean-François; FAHL, Fernando. Biogás: Desenvolvimentos e Perspectivas na Europa. **Energia renovável**, v. 129, p. 457-472, 2018.

SILVA, Aline Paulino da; SANTOS, Cássia Aparecida Giusti dos; SOUZA, Naiara Lima Neves Machado de. Biodigestores-prática ambiental e desenvolvimento sustentável. 2009.

SILVA, Alineaurea Florentino et al. Preparo e uso de biofertilizantes líquidos. 2007.
SILVA, S. E.; OLIVEIRA, S. G. Biodigestor: uma proposta de aproveitamento do lixo orgânico no município de Santarém. **Revista científica semana acadêmica, Fortaleza**, v. 1, 2014.

SOARES, Caroline Monique Tietz; FEIDEN, Armin; TAVARES, Sidnei Gregorio. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**, v. 5, p. 522-528, 2017.

SOARES, Fabio Rubens; MIYAMARU, Emília Satoshi; MARTINS, Gilberto. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos-Caieiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 993-1003, 2017.

Sousa, A. L., & Rizzatto, M. L. (2022). Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos: uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, 15(2).

TANGANELLI, K. M. Utilização dos dejetos de suínos como fertilizante do solo—Oklahoma State University. **Botucatu: Universidade Estadual Paulista**, 2007.

TÁRREGA, Maria Cristina Vidotte Blanco; DE FARIA, Juliete Prado. O uso de biodigestores na produção de energia: a busca por um estado democrático e socioambientalmente sustentável. **Revista Videre**, v. 11, n. 22, p. 64-78, 2019.

Vaz, L. G. (2023). *Potencial energético do biogás e gases de efeito estufa no setor agropecuário industrial brasileiro* (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

VIEIRA, Gláucia Eliza Gama et al. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. **Revista Liberato** , v. 16, n. 26, pág. 193-204, 2015.

ZHANG, Le; LOH, Kai-Chee; ZHANG, Jingxin. Produção aprimorada de biogás a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos sólidos: situação atual e perspectivas. **Bioresource Technology Reports** , v. 5, p. 280-296, 2019.

ALVES, Elton Eduardo Novais; INOUE, Keles Regina Antony; BORGES, Alisson Carraro. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. **II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, Universidade Federal de Viçosa—Viçosa/mg**, p. 6-6, 2010.

RORATTO, Lucas. Análise e Construção de um Biodigestor para Pequenas Propriedades Rurais. **Trabalho de Final de Curso, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Horizontina. Horizontina**, 2014.

DE LIRA, Evandro Bernardo et al. Biodigestor anaeróbico: produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos pecuários, purificação do biogás e implantação de cultivos de microalgas. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 12, n. 1, pág. e18312139557-e18312139557, 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO-MCTI; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2014.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental / UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2005.

MENDONÇA, H. V. de et. al. **Curva de crescimento de dois cultivares de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), sob aplicação de biofertilizante e ureia**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO LEITE, 2015.

DA SILVA, F.L. B; DE LARCERDA, C. F; DE SOUSA, G.G; NEVES, A.L. R; DA SILVA, G. L; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. 2011. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.4, p.383–389.

BGS. Equipamentos para biogás. Disponível em <<https://www.bgsequipamentos.com.br>> Acesso em: 14 de junho de 2023.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2016. Disponível em: Acesso em: 20 jun. 2023.

DAMODARAN, Aswath. **Finanças Corporativas-: Teoria e Prática**. Bookman Editora, 2009.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. Atlas, 2004.

NETO, Alexandre Assaf. **Finanças corporativas e valor**. Atlas, 2003.

OLIVEIRA, P.A.V de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p. (Programa Nacional do Meio Ambiente -PNMA II).

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.

ALBUQUERQUE, Milla Gomes et al. Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 1, p. 517-529, 2022.

KONS, Felipe Loch. Análise técnica e econômica da geração de energia através de biodigestores em propriedade leiteira. **Engenharia Elétrica-Tubarão**, 2020.

GERAIS, Minas. Fundação estadual do meio ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**, 2010.

ABBASI, Tasneem; TAUSEEF, SM; ABBASI, SA Digestão anaeróbia para controle do aquecimento global e geração de energia—Uma visão geral. **Revisões sobre Energias Renováveis e Sustentáveis**, v. 16, n. 5, pág. 3228-3242, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2023. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>>. Acessado em: 07 Julho 2023.

ANGONESE, André R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 745-750, 2006.

DA COSTA, Beatriz Pereira et al. Inventário do ciclo de vida de biogás para geração de energia elétrica: estudo de caso em uma fazenda leiteira Life Cycle Inventory of biogas for electricity generation: a case study in a dairy farm. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 114359-114370, 2021.

MONTORO, Stela B.; SANTOS, David FL; LUCAS, Jorge de. Viabilidade econômica e financeira do uso de biodigestores no confinamento de bovinos para corte. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 353-365, 2017.

TAVERA, Miryan de Araujo et al. **Análise bibliométrica sobre a produção de biogás nas atividades pecuaristas**. 2022.

DE MENDONÇA, Henrique Vieira; OTENIO, Marcelo Henrique; DE PAULA, Vanessa Romario. Digestão anaeróbia para produção de energia renovável. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 1-16, 2021.

DEMEU, Fabiana Alves et al. Economic viability of a canadian biodigester for power generation in dairy farming. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 375-394, 2021.

GITMAN, Lawrence J. et al. **Princípios de administração financeira**. 2010.