



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
M O N D L A N E

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**DESIGN DE UM BIODIGESTOR FUNCIONAL PARA  
NECESSIDADES DOMÉSTICAS**

**Autor:** Alexandre Adriano Mubetene

**Supervisor:** Prof. Dr. Eng. Miguel Meque Uamusse

**Maputo, 08 de Setembro de 2023**

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ESTÁGIO PROFISSIONAL

DESIGN DE UM BIODIGESTOR FUNCIONAL PARA  
NECESSIDADES DOMÉSTICAS

RELATÓRIO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA,  
FACULDADE DE ENGENHARIA, DA UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO  
EM ENGENHARIA DO AMBIENTE.

Autor: Alexandre Adriano Mubetene

Supervisor: Prof. Dr. Eng. Miguel Meque Uamusse

Maputo, 08 de Setembro de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante \_\_\_\_\_

Entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/20\_\_\_ as \_\_\_\_\_ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: \_\_\_\_\_ Intitulado: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_

A Chefe de Secretaria

\_\_\_\_\_

## **Declaração de Honra**

Declaro que o presente trabalho de licenciatura resulta da minha investigação e da orientação dada pelo supervisor, o conteúdo é original e todas as fontes consultadas ao longo do trabalho foram devidamente citadas no texto e nas referências bibliográficas.

Maputo, 08 de Setembro de 2023

---

**(Alexandre Adriano Mubetene)**

## **DEDICATÓRIA**

A minha esposa, mãe, irmãos, e a toda minha família,  
Que, nunca mediram esforços para que eu continuasse a lutar para  
realizar os sonhos em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Deus criador pelo dom da vida e por ter-me provido de capacidade e recursos para a realização deste trabalho.

À minha esposa pelo carinho e por me dar forças para continuar a lutar.

À minha família e amigos pela paciência e o humor com que me acompanharam nesta longa jornada acadêmica.

Não podia também deixar de agradecer ao meu supervisor por todo o apoio.

A todos os professores e colegas que comigo se cruzaram e com quem todos os dias aprendia algo novo, parte de mim é assim por vossa causa.

A todos o meu obrigado.

## EPÍGRAFE

“ Na engenharia são gerados esforços, depois peças e conjuntos a serem montados, seguindo a lógica para que as partes se comuniquem, até que uma harmonia funcional completa e inteligente de funções e eventos sejam alcançadas, desta forma resolvendo qualquer problema da sociedade.”

## RESUMO

O Matadouro Municipal de Maputo enfrenta problemas com o descarte dos efluentes gerados durante o abate dos animais, limpeza e desinfecção do local. Estes efluentes são directamente descarregados sem tratamento prévio, gerando uma série de impactos ambientais.

O presente trabalho teve como objectivo geral avaliar a eficiência energética do biogás produzido através do esterco de bovinos. Para tal, primeiramente foi projetado e convencionado o protótipo de biodigestor, seguida de uma avaliação da disponibilidade da matéria-prima para alimentação do biodigestor, através da quantificação dos efluentes gerados, determinou-se teoricamente a quantidade do biogás e a qualidade do biofertilizante gerado durante o processo de produção de biogás (biodigestão anaeróbica).

O projecto em questão mostrou a facilidade de construção e operação do biodigestor caseiro em que é possível acompanhar diariamente a produção de biogás, entender a relação entre variáveis climáticas, como a temperatura, com a quantidade de biogás produzido e no final do processo observar a formação de biofertilizantes. Neste trabalho não foi possível avaliar explosividade do biogás.

Observou-se que houve uma produção real de biogás menor que a calculada teoricamente, isto devido ao escape do biogás no biodigestor, sendo estes causados pelas falhas na montagem do biodigestor. Foi observada mesmo que superficialmente que o biofertilizante é considerado de qualidade pois observou-se uma qualidade e taxa de crescimento considerado aceitável.

**Palavras-chave: Design de um Biodigestor, Biogás e Biofertilizante.**

## Conteúdo

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS .....	II
EPÍGRAFE.....	III
RESUMO .....	IV
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>V</b>
CAPÍTULO I. Considerações Iniciais .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Elaboração dos Objectivos.....	3
1.3. Justificativa .....	3
1.4. Definição da Metodologia.....	4
1.5. Estrutura do Trabalho .....	6
CAPÍTULO II. Referencial Teórico.....	7
2.1. Biodigestores .....	7
2.2.1. Principais componentes de um biodigestor .....	8
2.2.2. Parâmetros Operatórios de um Biodigestor.....	8
2.2.3. Classificação dos Biodigestores .....	8
2.2. Processo de biodigestão anaeróbio .....	13
2.2.1. Fases do processo da biodigestão anaeróbica – Formação do biogás .....	13
2.2.2. Factores que Influenciam a biodigestão anaeróbica.....	15
2.3. Matadouros .....	19
Capítulo III. Trabalho de campo .....	22
3.1. Descrição da Empresa – Local de Realização do Estágio Profissional.....	22

3.2. Colecta da Matéria Orgânica .....	22
3.3. Construção biodigestores.....	23
3.4. Alimentação dos biodigestores .....	29
3.5. Apresentação e Discussão de Resultados .....	30
3.5.1. Quantificação do volume do biogás .....	31
3.5.2. Análise qualitativa do biofertilizante.....	32
3.5.3. Viabilidade Econômica do Biodigestor .....	34
Capitulo IV. Conclusões e Recomendações .....	36
4.1. Conclusões e Recomendações .....	36
5. Referencias Bibliográficas.....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de Biodigestor Modelo Indiano .....	11
Figura 2. Representação de Biodigestor Modelo Chinês.....	11
Figura 3. Representação de Biodigestor Modelo Canadense.....	12
Figura 4. Sequências metabólicas do processo de digestão anaeróbia .....	14
Figura 5. Logotipo da JEM Bioenergia .....	22
Figure 6. Fluxograma do processo de construção do biodigestor .....	23
Figura 7. Abertura dos Furos .....	25
Figura 8. Preparação dos tubos .....	26
Figura 9. Montagem dos tubos.....	27
Figura 10. Montagem da tampa .....	27
Figura 11. Disposição final do biodigestor.....	28
Figura 12. Alimentação do Biodigestor .....	29
Figure 13. Queima do Biogás .....	32
Figura 14. Canteiro normal e Canteiro com o biofertilizante (15 dias).....	33
Figure 15. Canteiro normal e Canteiro com o biofertilizante (1.5 meses) .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações críticas dos principais inibidores .....	21
Tabla 2. Matérias e equipamentos para construção do Biodigestor .....	24
Table 3. Estimativa de quantidade de dejetos para gerar 1 m <sup>3</sup> de biogás .....	31
Tabla 5. Equivalência entre 1 m <sup>3</sup> de biogás e outras fontes de energia .....	34

# **CAPÍTULO I. Considerações Iniciais**

## **1.1. Introdução**

A Revolução Industrial trouxe para o mundo um período de grande industrialização graças, primeiramente, ao aumento da capacidade de fornecimento de energia, sem a preocupação com sua origem ou impactos. Porém, uma mudança de mentalidade vem sendo observada com o passar dos anos. É possível notar uma preocupação cada vez maior com a necessidade de um crescimento sustentável, que permita a utilização dos recursos naturais sem comprometer o meio ambiente e as futuras gerações.

O discurso pela sustentabilidade ganhou importância mundial com a defesa de que a obtenção de recursos energéticos pelas nações deve priorizar o baixo custo e o menor impacto ambiental possível, de modo que esses países se posicionem melhor em relação àqueles que ainda mantêm suas bases energéticas majoritariamente em energia não renovável, por exemplo. Neste contexto, o modelo de produção de biocombustíveis ganha importância e atenção, por se tratar de um modelo de sucesso de aproveitamento de energia mais limpa e renovável.

A atividade agropecuária também desde essa época vem ganhando mais ritmo em termos de produção para conseguir disponibilizar alimentos para uma população cada vez mais crescente. A intensificação dos sistemas de produção animal resulta em grandes concentrações de resíduos, com a consequente contaminação do ar, dos solos, das águas e na proliferação de doenças. Quando mal manejados, esses resíduos são fontes de contaminação ambiental e causam risco à saúde pública, através de seu descarte de forma inadequada, principalmente na criação animal em confinamento.

Dentre os resíduos originados da pecuária destaca-se o esterco animal. Geralmente, esses resíduos são aplicados na agricultura sem o tratamento prévio, contaminando o lençol freático, causando a eutrofização de rios, dentre outros. Dentre as várias soluções para resolução do problema, o uso do biodigestor têm

vindo a se destacar como uma alternativa viável, racional e prática de utilização desses resíduos orgânicos. Os biodigestores são compostos por câmaras de fermentação anaeróbica, onde ocorre o processo de biodigestão anaeróbica, esse processo apresenta-se como uma excelente alternativa para o tratamento e a reciclagem energética dos nutrientes presentes nos dejetos animais, reduzindo o potencial poluidor e os riscos sanitários, além de promover a geração do biogás e do biofertilizante.

## **1.2. Elaboração dos Objectivos**

O objectivo principal deste trabalho é fazer o design de um biodigestor funcional para atender as necessidades Domesticas usando como matéria-prima esterco de bovinos. Para o alcance deste objectivo basear-se-á nos seguintes objectivos específicos:

- Projetar e confeccionar o protótipo de biodigestor;
- Caracterizar o substrato;
- Quantificar a produção de biogás; e
- Avaliar a qualidade do biofertilizante.

## **1.3. Justificativa**

Os resíduos do matadouro são libertos em grande quantidade, a falta de um sistema de tratamento deste tipo de efluentes resulta em uma série de problemas ambientais e de saúde pública.

No caso específico do matadouro em estudo, uma vez que este encontra-se numa Zona habitacional, todos os efluentes líquidos ali gerados, são descarregados sem tratamento prévio, afectando as condições daquele ecossistema aquático. A parte sólida desses resíduos é amontoada no espaço anexo ao matadouro, uma vez se tratando de resíduos altamente putrescíveis, exalam odores desagradáveis, causando problemas na qualidade da atmosfera local, assim como proliferação de moscas e outros organismos vectores de doenças, potenciando riscos na saúde pública.

Neste trabalho é apresentada uma proposta de tratamento desses resíduos, que consiste na determinação das dimensões necessárias de um biodigestor para uma estabilização adequada desses resíduos.

## **1.4. Definição da Metodologia**

O presente trabalho consistirá a combinação de 5 fases, nomeadamente: Revisão bibliográfica, construção do biodigestor, trabalho de campo, discussão e interpretação de resultados e elaboração do relatório final.

### **I. Revisão Bibliográfica**

Esta fase teve como objectivo principal proporcionar informações teórica detalhada sobre o caso em estudo. Para este propósito foram feitas diferentes consultas em diferentes fontes dos mais variados autores, sobre o tema discutido no presente trabalho. Sendo esta pesquisa bibliográfica baseada em artigos disponíveis na internet, manuais e revistas científicas, assim como trabalhos feitos que abordam esta área de conhecimento.

### **II. Construção do Biodigestor**

Esta fase foi dedicada a construção do biodigestor caseiro, tendo em conta aspectos observados na literatura.

### **III. Trabalho de Campo**

O trabalho de campo foi constituído por três fases, nomeadamente: Coleta e pré-tratamento da biomassa, Alimentação biodigestor e discussão de dados relativos a produtos da biodigestão.

A alimentação do biodigestor foi feita de maneira descontínua, isto é a quantidade da biomassa foi introduzida toda de uma única vez.

### **IV. Discussão e interpretação de resultados**

Esta fase compreendeu buscar os dados recolhidos na fase anterior e analisa-los. A discussão de dados foi feita com base no cálculo da quantidade teórica do biogás produzido e a quantidade real obtida no final do processo. Obtidos com valores padronizados (valores relativos aos parâmetros por avaliar referidos nos objectivos específicos).

## **V. Compilação do relatório final**

Esta fase foi a fase responsável pela compilação de todas as fases descritas na metodologia em forma documentada, sendo esta fase a responsável pela obtenção do relatório final relativo ao trabalho.

## 1.5. Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 6 capítulos, nomeadamente, Considerações iniciais, Referencial Teórico, Trabalho de Campo, Análise e Discussão de Resultados, Conclusões e Recomendações e Referências bibliográficas.

**Capítulo I – Considerações Iniciais** – Este capítulo teve como objectivo fazer o enquadramento do trabalho a realizar no presente relatório, contendo as generalidades do tema, a justificativa, a definição dos objectivos e a respectiva estrutura do relatório.

**Capítulo II – Referencial Teórico** – Neste capítulo foram abordados aspectos relacionados com a base teórica usada para realização do presente trabalho sendo que é na revisão bibliográfica onde é explicada a teoria e conceitos básicos sobre o tema.

**Capítulo III – Trabalho de Campo** – Neste capítulo foi feita uma apresentação sintetizada do local onde será feita a recolha da biomassa, e também do local onde estará localizado (será colocado o biodigestor). Será feita a quantificação do esterco e recolha da biomassa que será usada para alimentar o biodigestor.

Sendo depois feita a parte experimental, que irá consistir na construção e alimentação do biodigestor, testes de potencial de produção do biodigestor.

**Capítulo IV – Análise e discussão de resultados** – Neste capítulo foi feita uma apresentação detalhada dos resultados obtidos do capítulo III e feita a interpretação dos mesmos e a respectiva discussão.

**Capítulo V – Conclusões e Recomendações** – Neste capítulo foram apresentados os aspetos conclusivos mais relevantes do estudo efectuado, juntamente com algumas recomendações para trabalhos futuros.

**Capítulo VI – Referências bibliográficas** – Neste capítulo foi feita uma apresentação de todo referencial bibliográfico usado ao longo do trabalho.

## **CAPÍTULO II. Referencial Teórico**

### **2.1. Biodigestores**

A partir da crise do petróleo da década de 70, a economia das nações dependentes dessa fonte energética vem sofrendo profundas modificações buscando sua substituição. Estudos estão sendo realizados com o objectivo de adequar novas fontes substitutivas aos recursos não renováveis. Uma das opções estudadas para a produção de energia, a baixo custo, que vem apresentando resultados favoráveis é o biogás. Dessa forma, a partir do ano de 1976, os estudos relacionados ao seu aproveitamento foram intensificados (Basquerotto, 2015).

Define-se como biodigestor uma câmara hermeticamente fechada onde ocorre a biodigestão anaeróbica da matéria orgânica (Bittencourt, 2018). Este é um processo onde uma série de microrganismos, na ausência de oxigênio, actua na transformação da matéria orgânica, passando de moléculas mais complexas para aquelas com estruturas mais simples, que quando metabolizadas, resultam numa mistura de gases e numa série de compostos reduzidos.

A utilização de biodigestores contribui para a integração das actividades agropecuárias, visto que o resíduo agrícola que com pouco ou nenhum valor comercial poderá ser reutilizado para outros fins. A partir daí, é proporcionado aumentos na produção agrícola e energética com a transformação dos produtos e agregação de valor.

Além da produção de biogás, obtém-se como produto final do processo de biodigestão o biofertilizante, que pode ser utilizado como adubo orgânico na agricultura, além de reduzir também o gasto energético utilizado na produção de fertilizantes minerais. O biofertilizante pode ajudar sensivelmente a agricultura do país e representar uma importante fonte de renda para os empreendimentos de biodigestores.

Os custos associados ao uso da tecnologia de biodigestão anaeróbica estão relacionados em grande parte com a sua construção e operação, esta última principalmente em caso de eventuais falhas durante o funcionamento.

De uma forma geral o uso de biodigestores é uma solução que não demanda muitos custos, sendo que grande parte do investimento aplica-se na construção destas estruturas.

### **2.2.1. Principais componentes de um biodigestor**

Um biodigestor de fermentação anaeróbica para a produção do biogás é fundamentalmente composto pelas seguintes partes (Kretzer, 2016):

- Canal de entrada e canal de saída do substrato;
- Câmara de fermentação;
- Gasómetro;
- Agitador; e
- Conduitas para o transporte do gás.

### **2.2.2. Parâmetros Operatórios de um Biodigestor**

Os parâmetros operacionais comumente usados para descrever o processo de digestão anaeróbica são o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), carga orgânica volumétrica e taxa de produção do gás, a produtividade, o rendimento e a agitação.

### **2.2.3. Classificação dos Biodigestores**

Vários tipos e modelos de biodigestores têm sido desenvolvidos e adaptados, buscando estabilizar os resíduos, visando aumentar a eficiência e também a redução de custos de implantação e operação.

Os biodigestores podem variar com o tipo de operação, Com a forma de construção, Com o modo de armazenamento do biogás, Com a faixa de temperatura na qual opera e também com o fluxo de material.

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com a sua forma de operação e modelo.

#### **2.2.3.1. Classificação segundo a forma de operação**

Os biodigestores podem ser contínuos e descontínuos, tendo como base a alimentação e o fornecimento do biogás.

- a) Biodigestor contínuo** - O substrato a ser tratado é adicionado de uma só vez no interior do biodigestor, permanecendo por um tempo, e uma vez cessada a produção de gás, o biodigestor é aberto e retira-se os resíduos (material não assimilado pelo processo). Após a sua limpeza, é colocada nova quantidade de substrato. Biodigestores do tipo batelada são indicados para o tratamento de resíduos obtidos em determinados períodos ou épocas.
- b) Biodigestor contínuo** - Os abastecimentos são periódicos e contínuos durante o funcionamento do biodigestor, assim como a saída do substrato já tratado. Neste tipo de biodigestores, a matéria-prima usada é líquida ou semi-líquida, colocadas periodicamente. Usa-se matéria-prima que possui decomposição relativamente fácil e que seja sempre disponível nas suas proximidades. A produção de gás e de resíduos é contínua e este tipo de biodigestores de acordo com o seu formato e posicionamento no solo podem ser divididos em verticais e horizontais.

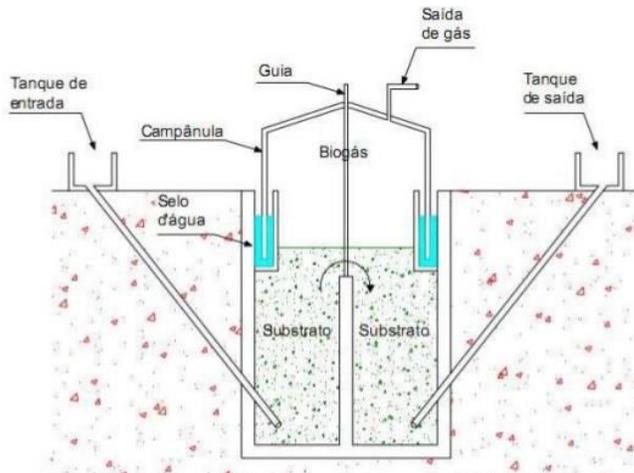
### **2.2.3.2. Classificação segundo o modelo**

Os biodigestores quanto ao processo de biodigestão podem ser em batelada, ou contínuos como referenciado acima, dentre os quais se dividem em vários modelos, tais como, modelo indiano, modelo chinês, modelo paquistanês, modelo tailandês, modelo coreano, modelo filipino, de deslocamento vertical e o modelo tubular (Basquerotto, 2015).

Embora sejam considerados muitos modelos de biodigestores, os mais comuns são os modelos Chinês, Indiano e Canadense (tubular).

#### **a) Modelo indiano**

O modelo de biodigestor indiano possui uma campânula flutuante como gasómetro que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo de água externo, para reduzir perdas durante o processo de produção de gás. Possui ainda uma parede central, fazendo do tanque de fermentação um tanque de câmara dupla. À medida que o volume de gás produzido não é imediatamente consumido, o gasómetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando seu volume e mantendo a pressão de operação constante. O abastecimento é contínuo, e o substrato utilizado neste modelo deve conter uma concentração de sólidos totais (ST) de até 8%, de modo que sua circulação pelo interior da câmara seja facilitada e para evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material (Metz, 2013).

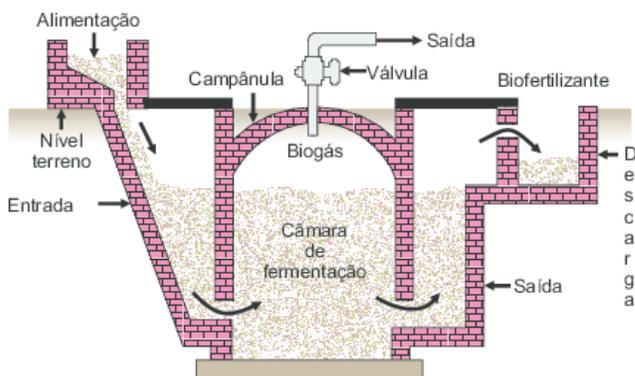


**Figura 1. Representação de Biodigestor Modelo Indiano**

Fonte: (Buss, 2017)

### b) Modelo chinês

O modelo de biodigestor chinês é formado por uma câmara de fermentação cilíndrica em alvenaria, com teto abobado (Figura 2), impermeável que armazena o biogás gerado. O aumento de pressão em seu interior devido ao acúmulo de biogás resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a saída. Como no modelo indiano, o modelo chinês necessita de um substrato com teor de ST em torno de 8% para evitar entupimentos no sistema de entrada e facilitar a circulação do material, e a alimentação também deve ser contínua (Bittencourt, 2018).



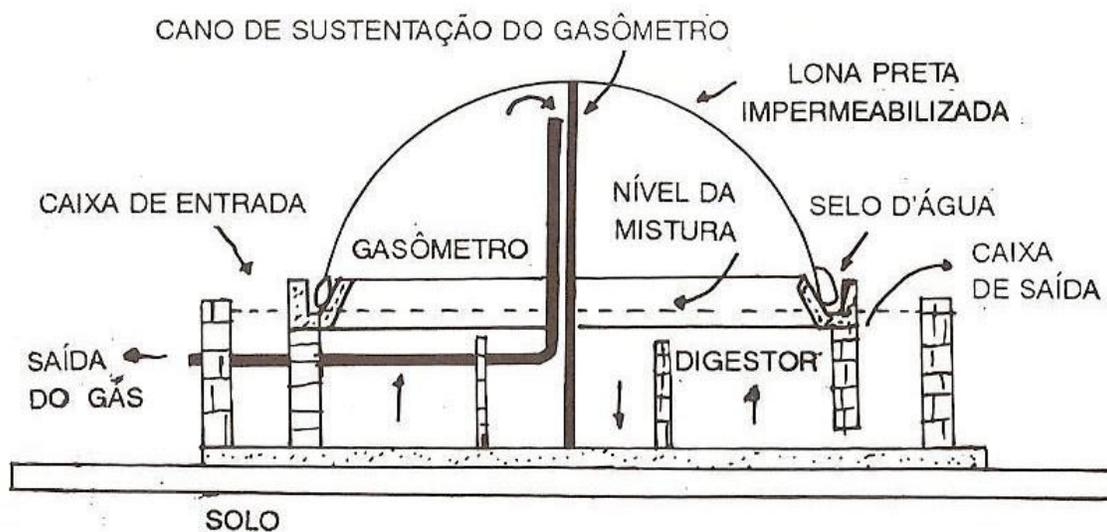
**Figura 2. Representação de Biodigestor Modelo Chinês**

Fonte: (Morais, 2018)

### c) Modelo Canadense (Modelo da Marinha)

O biodigestor de modelo canadense, apresenta uma tecnologia mais moderna, ainda que possua uma construção simples. Possui uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflamável feito de material plástico ou similar. É do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria, como pode ser observado na figura abaixo. À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, ou pode ser enviado a um gasômetro separado para se obter um maior controle operacional (Bittencourt, 2018). Em comparação ao modelo Indiano, o modelo da Marinha apresenta a vantagem de poder receber grande quantidade de resíduos.

Em comparação com o modelo Chinês, a vantagem está no fato de aquele sofrer rachaduras e danos na sua estrutura, o que pode provocar perda de gás e exige monitoramento e manutenção constantes (Morais, 2018).



**Figura 3. Representação de Biodigestor Modelo Canadense**

Fonte: (Bittencourt, 2018)

## **2.2. Processo de biodigestão anaeróbio**

O processo de digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e biofertilizante (matéria orgânica estabilizada). A representação da digestão anaeróbia pode ser feita pela equação abaixo (Simiano, 2013).



O processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica a metano é um processo biológico que ocorre em diferentes fases, sendo processado por diferentes tipos de microorganismos que agem simbioticamente (Cruiz, 2020). Isso torna necessária a representação do processo anaeróbio incluindo outras populações de bactérias intermediárias. Essas bactérias ou microorganismos são os hidrolíticos, acidogênicos, acetogênicos e metanogênicos (Correia, 2015).

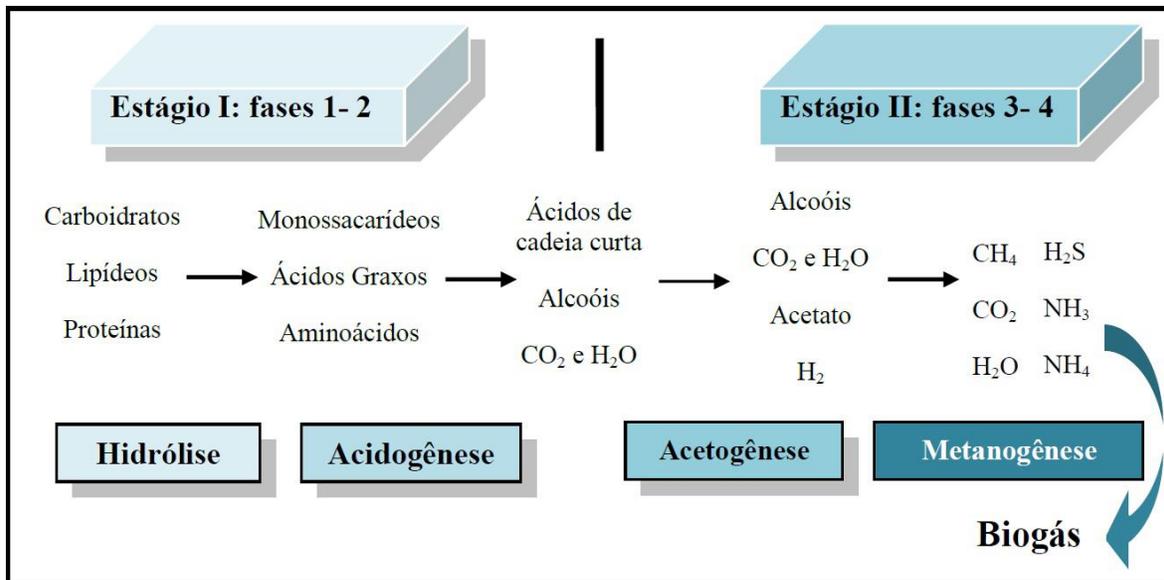
### **2.2.1. Fases do processo da biodigestão anaeróbica – Formação do biogás**

A formação do metano ocorre de forma espontânea, quando a biomassa ou matéria orgânica (substrato) composta de carboidratos, lipídeos, proteínas entre outros nutrientes, em ambientes isentos de ar e com umidade, ainda na presença de bactérias, se decompõem formando metano e impurezas. O enxofre (S) fica no resíduo e uma parte do dióxido de carbono se liga a amônia, o resultado em geral é uma composição do biogás de CH<sub>4</sub>: CO<sub>2</sub>: 71%: 29%". A formação do biogás a partir da biomassa resulta, em geral, da equação (Cruiz, 2020):

O processo de biodigestão anaeróbica passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo elas:

1. Hidrólise;
2. Acidogénese;
3. Acetogénese; e
4. Metanogénese.

A geração do biogás ocorre na última etapa do processo. Durante o processo de produção, é indispensável que as reações químicas ocorram de forma sinérgica, sendo que as fases 1-2 e 3-4 possuem uma relação íntima, logo as mesmas são organizadas em dois estágios, em que os níveis de degradação devem ter o mesmo tamanho (Matos C. F., 2017). A Figura abaixo representa as fases de biodigestão anaeróbicas.



**Figura 4. Sequências metabólicas do processo de digestão anaeróbia**

**Fonte:** (Matos C. F., 2017)

#### **a) Hidrólise enzimática**

Na hidrólise enzimática os materiais orgânicos complexos são hidrolisados e convertidos em moléculas menores por meio da fermentação. Actuam nessa fase enzimas extra celulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas fermentativas (Bittencourt, 2018).

#### **b) Acidogênese**

A Acidogênese corresponde a uma degradação dos produtos solúveis da hidrólise no interior das células através do metabolismo fermentativo. Os açúcares, aminoácidos e ácidos gordos resultantes da hidrólise são transformados em compostos orgânicos mais simples como os ácidos orgânicos (acético, propílico e

butílico), álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogénio, para além de biomassa bacteriana (Lins, 2019).

### **c) Acetogénese**

As bactérias acetogénicas são responsáveis pela oxidação de compostos orgânicos intermediários em substrato que será convertido pelos microorganismos metanogénicos (acetato, hidrogénio, dióxido de carbono). A grande produção de  $H_2$  inibe a produção de acetato a partir de ácido propílico e butílico. Assim, tais reacções só poderão ocorrer com a acção de microorganismos consumidores de acetato feita através de microorganismos metanogénicos hidrogenotróficos e por bactérias redutoras de sulfato (Bittencourt, 2018).

### **d) Metanogénese**

Durante a metanogénese, o metano é produzido por bactérias acetotróficas ou pelas bactérias hidrogenotróficas. As acetotróficas usam acetato, produzindo gás carbónico ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ). Ainda que poucas espécies de bactérias metanogénicas sejam capazes de formar metano a partir do acetato, as mesmas são responsáveis por 60 a 70% de toda produção de metano (Cruiz, 2020).

## **2.2.2. Factores que Influenciam a biodigestão anaeróbica**

A biodigestão anaeróbia depende de alguns factores que podem interferir directamente no resultado final do sistema, com consequentes perdas dos potenciais energéticos contidos nos dejectos. Como a biodigestão é um processo biológico, vê-se a necessidade de manter condições favoráveis para que ocorra a eficiência do processo, que pode ser afectado por vários factores que podem favorecê-lo ou não, interferindo na degradação do substrato, no crescimento e declínio dos microorganismos e na produção de biogás. Dentre os factores mais importantes, destacam-se o pH, a temperatura, o tempo de retenção hidráulica (TRH), a presença de inoculo, nutrientes, composição do substrato, a percentagem de sólidos totais e inibidores (Correia, 2015).

### **a) pH**

O pH ideal para o processo de biodigestão é em torno de 6,0 à 8,0, sendo óptimo entre 7,0 e 7,2. As bactérias metanogénicas acetoclásticas são extremamente sensíveis a variação brusca de qualquer factor, então uma possível perturbação no pH compromete a actuação desses microorganismos. Em substrato formado pela combinação de esterco de bovino caprino, e biofertilizante, a faixa óptima de pH para o desenvolvimento das bactérias metanogénicas é de 6,2 e 7,8, oferecendo assim, estabilidade para o funcionamento do sistema (Bittencourt, 2018).

### **b) Temperatura**

A temperatura é um dos principais factores físicos no processo de biodigestão, pois influencia directamente a velocidade de reacção. Em função do tipo de bactéria, o processo pode ocorrer numa faixa de 20 à 70 °C (Bittencourt, 2018).

### **c) TRH**

O TRH é o intervalo de tempo necessário de permanência do dejecto dentro do biodigestor para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada, sendo esse factor ligado directamente ao teor de sólidos totais (ST) do substrato (Vieira, 2017). O tempo de retenção hidráulica representa o período necessário para a mistura ser digerida no biodigestor, o que ocorre quando a produção de biogás é máxima, definindo assim o ponto de melhor qualidade do biogás no processo de biodigestão anaeróbia. o tempo de retenção varia de 4 a 60. Para o substrato composto de resíduos de matéria orgânica o tempo de detenção situa na faixa de 20 a 30 dias, sendo que com 30 dias a carga orgânica já sofreu grande redução e devido a isso, a produção de biogás já atingiu seu máximo e a partir desse ponto passa a decair. Um TRH longo pode ser sinal de pouca conversão de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa eficiência do biodigestor, que vai depender também do tipo de substrato e da utilização de inoculo (Lins, 2019).

#### **d) Presença de inoculo e nutrientes**

A adição de inoculo consiste em utilizar parte do material que já passou pelo processo e que é capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microorganismos típicos da biodigestão anaeróbia. A adição de 40% de inoculo (v/v) junto aos substratos de biodigestores operados em batelada para tratamento e/ou reciclagem de dejectos de vacas leiteiras em lactação, permitiu maiores produções de biogás (0,07 m<sup>3</sup> por kg de dejecto), mais rápida utilização do mesmo (4 dias a partir do inicio do processo de biodigestão) e menores tempos de retenção hidráulica (até 45 dias), o que reduz o volume e o custo do biodigestor (Matos C. F., 2017).

#### **e) Composição do substrato e a percentagem de sólidos totais**

No que diz respeito ao tipo de substrato, a forma física da biomassa deve ser levada em consideração. Quanto menor o tamanho da partícula, maior a área de contacto superficial, o que favorece a ação dos microorganismos, contribuindo para o processo na etapa de degradação (Acidogénese).

A influência de três diferentes tamanhos de partículas e de concentrações de sólidos totais no processo de co-digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais mais lodo de esgoto sanitário. A taxa de produção de biogás nos tratamentos estudados é inversamente proporcional a granulometria do substrato e a concentração de sólidos totais, em virtude das pequenas partículas proporcionarem uma maior área de superfície de contacto disponível para os microorganismos, resultando em aumento da actividade microbiana, conseqüentemente propiciando maior taxa de produção de biogás.

#### **f) Inibidores**

Certas substâncias quando entram em contacto com o substrato em pleno processo de biodigestão anaeróbica podem causar interferências no decurso normal das reacções. Estas alterações podem ser verificadas com a diminuição da produção do biogás, ou mesmo a paragem deste processo. A inibição ocorre

devido ao desequilíbrio que algumas substâncias podem criar no crescimento da população de microrganismos.

Quedas na produção de biogás muitas vezes se devem-se a perturbações na actuação das arqueas metanogénicas acetoclásticas, que são organismos sensíveis a quaisquer variações bruscas nas condições da biodigestão anaeróbica.

Detergentes e desinfectantes são substâncias comumente usadas durante a limpeza em matadouros. Este procedimento envolve a remoção de resíduos orgânicos que se acumulam nas instalações, de modo a minimizar a exposição da carne aos organismos patogénicos.

Deve se cuidar para não se dispor no biodigestor dejectos de animais que tenham recebido antibióticos, pois partes dos antibióticos podem estar presentes nos resíduos podendo acarretar a morte da comunidade bacteriana levando à falência do sistema de biodigestão (Basquerotto, 2015).

Os detergentes representam uma das principais substâncias inibidoras da metanogénese, principalmente quando formulados a base de fenol, que é um antisséptico selectivo (Bittencourt, 2018).

As substâncias contidas nos produtos de limpeza e podem afectar consideravelmente o biodigestor, devido a concentração de ácidos como clorofenol, que ocasiona a redução do pH, ou de amônia, que eleva o seu pH, podendo causar inibição da produção de biogás, devido a sensibilidade dos microrganismos à variação das condições ambientais.

A inibição depende da concentração das substâncias inibidoras, da composição do substrato e da adaptação dos microrganismos aos inibidores que podem degradar uma alta percentagem do inibidor. Dano irreversível ao processo de digestão anaeróbica em um biodigestor somente se desenvolve se o tempo de exposição ou a concentração das substâncias.

### **2.3. Matadouros**

Em Moçambique as questões legais relacionadas com a actividade de produção animal, que compreendem desde a vigilância epidemiológica e controlo de doenças dos animais, encontram-se descritas no Regulamento de Sanidade Animal, aprovado pelo Decreto 22/2009 de 17 de Agosto. Este instrumento legal em seu primeiro capítulo no artigo 2 define matadouro como sendo instalações dotadas de equipamento adequado onde se procede ao abate, preparação, conservação e distribuição da carne de animais para o consumo público ou processamento industrial.

O atendimento correcto da deposição dos resíduos, as fases do processo do abate e a rigorosa observância da higiene, antes, durante e após os seus trabalhos, são princípios básicos, cujo respeito constitui a garantia da obtenção de um produto com aceitação no mercado, higienicamente idóneo e ecologicamente correcto (Kretzer, 2016).

Neste trabalho as atenções estão viradas ao abate de bovinos, neste sentido todas as questões apresentadas referem-se a este grupo de animais. As principais fases do processo de abate são as seguintes:

Descarga e inspeção nos currais;

- Banho dos animais;
- Imobilização e içagem;
- Sangria;
- Esfoliação;
- Evisceração;
- Lavagem e inspecção; e
- Refrigeração e transporte.

É importante frisar que é na sangria, esfoliação e evisceração que se gera grande parte dos efluentes em matadouros.

Os subprodutos ou resíduos ou ainda efluentes de matadouros correspondem a todos os produtos que não sejam pronta ou directamente destinados ao consumo e uso humano. Os subprodutos gerados em todo processo de abate podem corresponder, a pelo menos 40 kg por animal abatido. É importante destacar que a grande maioria dos matadouros descartam esses resíduos no meio ambiente (Rocha, 2016).

A análise das características dos efluentes de matadouros, não é tão simples. Devido a muitos factores operacionais, é difícil caracterizar uma instalação típica e seus efluentes. Esses despejos possuem valores altos de  $CBO_5$ , sólidos em suspensão, nutrientes, componentes de lignina, celulose e ácidos gordos.

Além disso, esses efluentes possuem uma temperatura um pouco acima da temperatura do ambiente e contêm sangue, pedaços de carne, gorduras, vísceras, conteúdo estomacal e intestinal, esterco e fragmentos de ossos. Grande parte destes efluentes é composta pelo esterco, proveniente do trato digestivo dos animais.

Outras características dos efluentes gerados por este tipo de indústrias estão relacionadas com a flutuação do pH em função do uso de agentes de limpeza, alto conteúdo de nitrogénio, fósforo e sal, compostos aromáticos (no caso de processos de defumação de produtos de carne), flutuação de temperatura e concentração de diversos sólidos em suspensão, provenientes do processo de abate, lavagens de pisos e equipamentos (Rocha, 2016).

Nas actividades de matadouros, os parâmetros de maior importância na caracterização de águas residuais e principais indicadores de poluição são: a concentração de  $CBO_5$ , CQO, sólidos suspensos (SS), gorduras, nitrogénio (N), fósforo (P) e pH.

Esses despejos são altamente putrescíveis, entrando em decomposição poucas horas depois do seu aparecimento sobretudo em condições de climas quentes, e como efeito dessa degradação libertam odor desagradável. As principais

características dos efluentes de matadouros estão descritas sumariamente na tabela 1 onde é possível constatar que existe a variação entre os valores de pH, altos valores de CBO<sup>5</sup> e CQO assim como de sólidos totais e nutrientes.

**Tabela 1. Concentrações críticas dos principais inibidores**

<b>Inibidor</b>	<b>Concentração inibidora (ppm)</b>	<b>Inibidor</b>	<b>Concentração inibidora (ppm)</b>
SO <sub>4</sub>	5000	CN	25
NaCl	40 000	Na	3500-5500
Cu	100	K	2500-4500
Cr	200	Nitrato	0.05
Ni	200-500	Detergente	20-40

**Fonte:** (Rocha, 2016)

Uma vez que grande parte dos resíduos das diversas fases de abate em matadouros são directamente lançados ao meio ambiente, são a razão de uma série de impactos negativos nos diferentes ecossistemas. Um impacto ambiental relevante deste tipo de actividade resulta da descarga de grande volume de águas residuais. Os principais impactos relacionados com a geração de efluentes líquidos são a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além de gerar odor desagradável na decomposição da matéria orgânica (Matos C. F., 2019).

A descarga de águas residuais dos matadouros em águas superficiais afecta a qualidade da água de três maneiras:

1. A descarga de compostos orgânicos biodegradáveis, mensuráveis pela CBO<sub>5</sub> e CQO pode causar uma forte redução da quantidade de oxigénio dissolvido, que por sua vez pode conduzir a níveis reduzidos de actividade biológica ou mesmo a morte da vida aquática;
2. Macronutrientes como nitrogénio e fósforo contidos neste tipo de efluentes podem causar a eutrofização dos corpos de água receptores;
3. Estes efluentes podem conter compostos que são tóxicos para a vida aquática.

## Capítulo III. Trabalho de campo

### 3.1. Descrição da Empresa – Local de Realização do Estágio Profissional

**Nome:** JEM Bioenergia Ltd

**Localização:** Distrito de Catembe, no bairro Inkassane.

**Especialidades:** Empresa de consultoria com especialidade em Energias Renováveis, actualmente desenvolve pesquisas na área de biomassa.

**Contactos:** 828581920

**Logotipo:**



Figura 5. Logotipo da JEM Bioenergia

Fonte: JEM Bioenergia

### 3.2. Colecta da Matéria Orgânica

**Localização:** A matéria orgânica usada foi o esterco bovino oriundo do Matadouro de Maputo.

**Tipo de Biomassa:** Esterco de Gado Bovino

**Data de coleta:** 04 de Fevereiro de 2023

**Quantidade Coletada:** 80 Kg

### 3.3. Construção biodigestores

Um sistema (protótipo) para um biodigestor anaeróbico foi construído com um tambor de capacidade de 250 litros. E o passo a passo, desde o material necessário aos procedimentos de construção, como ilustra o fluxograma abaixo.

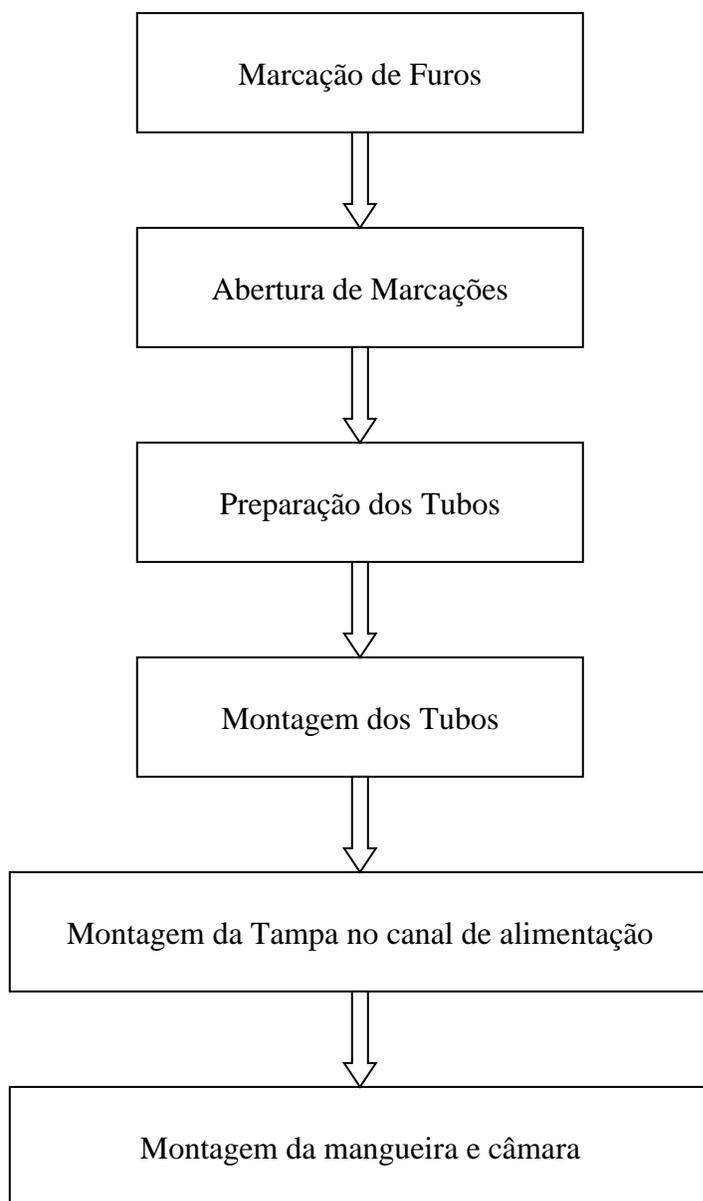


Figure 6. Fluxograma do processo de construção do biodigestor

A tabela abaixo apresenta a lista dos materiais usados para construção do biodigestor, suas quantidades e especificidades e o respetivo custo de cada material.

**Tabla 2. Matérias e equipamentos para construção do Biodigestor**

<b>Material Utilizado</b>	<b>Medida</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (MZN)</b>
Tambor	250L	1	8500
Tubo PVC	Φ110 mm; Φ75 mm; ¾ ”	1	2500
Redutor	1.5 ” Para ¾ ” com bujão	1	100
Saída	1.5 ”	1	100
Curva	Φ75 mm	1	75
Válvula de controlo	¾	1	250
Redutor e Mangueira	¾ Com uma saída de Gás; Φ 16 mm	1	250
Bujão	-	3	50
Tubo de silicone	-	1	550
Cola PVC	500 ml	1	180
Broca de Ferro	8m	3	80
Broca de Ferro	6m	3	50
Faca cortante (Xizatho)	-	1	50
Chave Francesa	-	1	100
Berbequim	-	1	100 A*
Rebitador	-	1	100 A*
Rebites	4.8	6	150
Rebarbadeira Pequena	Pequena	1	100 A*
Disco de limar pequeno	Pequeno	1	100
Transferidor, Cave estrela	Pequeno	1	150
Disco de corte	Pequeno	1	50
Abraçadeiras metálicas	-	2	100
<b>Nota: A* - Alugado</b>			<b>13685</b>

**Fonte: Autor**

## 1. Marcação dos furos

Com o auxílio do transferidor fazer as marcações dos furos.

- Primeiro Furo – Furo de Alimentação ( $\Phi 110$  mm)
- Segundo Furo – Furo de Retirada ( $\Phi 75$  mm)
- Terceiro Furo – Furo de Saída do Biogás ( $\Phi 3/4$  mm)

## 2. Abertura das Marcações

Com o auxílio da faca fazer abertura dos furos nos locais que foram feitas as marcações.



**Figura 7. Abertura dos Furos**

### 3. Preparação dos Tubos

Com o auxílio da Rebarbadeira com disco de corte fazer uma abertura de 75° na extremidade do tubo de  $\Phi 110$  mm e ajustar o tubo para uma altura de 120 cm.

Com o auxílio da Rebarbadeira com disco de corte fazer uma abertura no meio do tubo de  $\Phi 5$  mm e ajustar o tubo para uma altura de 120 cm.

Com o auxílio da Rebarbadeira com disco de corte fazer corte no tubo de  $\Phi 3/4$  mm para ajustar o mesmo para uma altura de 50 cm.

Sendo também acoplada aos tubos de  $\Phi 110$  mm e  $\Phi 75$  mm os seus respectivas curvas.



Figura 8. Preparação dos tubos

#### 4. Montagem dos Tubos

Com o auxílio da cola PVC colocar os tubos nos seus respectivos lugares, isto é, nos furos correspondentes aos seus diâmetros.



Figura 9. Montagem dos tubos

#### 5. Montagem da Tampa no Tubo de Alimentação

Com a peça do corte para o tubo de  $\Phi 110$  mm, depois de a limar usando a Rebarbadeira com o disco de limar, e as brocas de 5.5 montou-se a tampa no topo do tubo.



Figura 10. Montagem da tampa

## **6. Montagem da tampa no tambor**

O tambor em causa tem a tampa (na parte superior) com a opção de abertura, neste caso foi retirada esta opção com o auxílio da cola e isolantes.

## **7. Montagem da Mangueira**

Onde foi montado o tubo de saída acoplou-se a esta saída uma mangueira, que esta acoplada a ela uma câmara.



**Figura 11. Disposição final do biodigestor**

### 3.4. Alimentação dos biodigestores



**Figura 12. Alimentação do Biodigestor**

A matéria orgânica usada foi o esterco bovino oriundo do Matadouro de Maputo. Este foi usado na razão de 1:1 (esterco/água).

### 3.5. Apresentação e Discussão de Resultados

De seguida serão apresentados os dados e cálculos de alguns parâmetros relevantes.

Volume total do Biodigestor	250 L
Volume usado	-
Volume livre (Retenção de Biogás)	-
Tempo de Retenção	60 Dias
Quantidade de excremento	-
Quantidade de água	-
Peso do balde vazio	0.9 Kg
Peso do balde com excremento antes da mistura com água	13.2 Kg
Caudal volumétrico de alimentação	-
Caudal mássico de alimentação	-
Espaço livre par o Biogás	-
Volume do balde usado	12 L

$$Q_{\text{excremento}} = (P_{\text{balde com esterco}} - P_{\text{balde Vazio}}) \times 6$$

$$Q_{\text{excremento}} = (13.2 - 0.9) \times 6 = 73.8 \text{ Kg}$$

$$C_{\text{Aliment.}} = Q_{\text{esterco}} + Q_{\text{agua}}$$

$$C_{\text{Aliment.}} = (12 \text{ L} \times 6) + (12 \text{ L} \times 6) = 144 \text{ L}$$

$$\text{Espaço}_{\text{Livre}} = 250 - 144 = 106 \text{ L}$$

### 3.5.1. Quantificação do volume do biogás

Para estimar o volume de gás produzido foi utilizado como base a tabela abaixo.

**Table 3. Estimativa de quantidade de dejetos para gerar 1 m<sup>3</sup> de biogás**

<b>Esterco/ m<sup>3</sup>/dia</b>		
<b>Esterco</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Biogás produzido</b>
Suínos	11 Kg e 300 g	1 m <sup>3</sup>
Bovinos	28 Kg e 600 g	1 m <sup>3</sup>
Aves de corte	6 Kg e 400 g	1 m <sup>3</sup>
Aves de postura	8 Kg e 350 g	1 m <sup>3</sup>

**Fonte:** (Matos C. F., 2017)

**28,6 Kg ----- 1 m<sup>3</sup>/dia**

**73.8 Kg ----- X m<sup>3</sup>/dia**

**X m<sup>3</sup> = 2.58 m<sup>3</sup>/dia**

$$V = 2.58 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 40 \text{ dias} = 103.2 \text{ m}^3$$

O volume obtido do Biogás é superior a capacidade livre do biodigestor. O CH<sub>4</sub> por ser um gás leve e de fraca densidade, mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil.

A sua fraca densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe um volume significativo e que a sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização. O biogás apresentou odor relativamente leve e semelhante ao odor de material fermentado. Fez-se o teste relativo a existência do biogás, recorrendo ao teste da chama e verificou-se que havia uma produção de biogás significativa.



**Figure 13. Queima do Biogás**

**Fonte: Autor**

### **3.5.2. Análise qualitativa do biofertilizante**

Pode-se dizer que o biofertilizante por ser um produto fermentado por microrganismos e ter como base a matéria orgânica, possui em sua composição quase todos os nutrientes, variando em suas concentrações, dependendo muito diretamente da matéria-prima a ser fermentada. Para a análise da qualidade do biofertilizante foi usado o método de observação directa do crescimento de culturas após a aplicação do biofertilizante ao solo.



**Figura 14. Canteiro normal e Canteiro com o biofertilizante (15 dias)**

**Fonte: Autor**

Foram cultivados 2 canteiros, sendo que um foi com biofertilizante e um sem biofertilizante, como mostram as figuras acima. Estas culturas foram observadas durante 2 meses. Verificou-se que o canteiro com o biofertilizante foi o que apresentou maior taxa de crescimento.



**Figure 15. Canteiro normal e Canteiro com o biofertilizante (1.5 meses)**

**Fonte: Autor**

### 3.5.3. Viabilidade Econômica do Biodigestor

Tabla 4. Equivalência entre 1 m<sup>3</sup> de biogás e outras fontes de energia

Volume de Biogás	Outros combustíveis
<b>1 m<sup>3</sup> de Biogás</b>	1,8 Kg de lenha seca
	910 ml de álcool
	610 ml de gasolina
	570 ml de querosene
	550 ml de óleo diesel
	<b>450 g de gás GLP</b>

Fonte: (Bittencourt, 2018)

**Volume de Biogás = 103.2 m<sup>3</sup>**

**1m<sup>3</sup> ----- 0.40 Kg**

**103.2 m<sup>3</sup> ---- X Kg**

**103.2 m<sup>3</sup> ---- 41.28 Kg**

Quantidade	Preço de aquisição	Tempo de uso
11 Kg	1200 Mtn	2 Meses
<b>Biodigestor</b>		<b>20 Anos</b>

Nota: Família de 4 membros no máximo, sendo o uso exclusivo a confecção de alimentos.

**13685 Mtn ---- Valor inicial de investimento**

$$\frac{11\text{Kg}}{2 \text{ meses}} \times \frac{12 \text{ meses}}{\text{ano}} = \frac{66 \text{ Kg}}{\text{ano}} \quad \text{Quantidade Consumida de GN anualmente}$$

$$\frac{41.28\text{Kg}}{3 \text{ meses}} \times \frac{12 \text{ meses}}{\text{ano}} = \frac{164 \text{ Kg}}{\text{ano}} \quad \text{Quantidade produzida de biogás anualmente}$$

## 98 Kg/ano ---- Quantidade que não seria usada

$$\frac{98 \text{ Kg}}{\text{ano}} \times \frac{1200 \text{ Mtn}}{11 \text{ Kg}} = \frac{10690.9 \text{ Mtn}}{\text{ano}} \text{ Ganho pela venda do biogás}$$

$$\frac{13685 \text{ Mtn} \times 12 \text{ mese}}{10690.9 \text{ Mtn}} = \mathbf{16 \text{ meses}} \text{ Tempo para recuperar o investimento}$$

Fazendo a análise relativa ao valor da aquisição do biodigestor e os ganhos pode-se dizer que os primeiros 16 meses servem para o reembolso do valor gasto para confeccionar o Biodigestor. Sendo desta forma o tempo restante de “lucro”.

**Nota: Não se considera a compra da matéria-prima para alimentar o biodigestor e nem o ganho com a venda do biofertilizante.**

## **Capítulo IV. Conclusões e Recomendações**

### **4.1. Conclusões e Recomendações**

O projeto do protótipo desenvolvido garantiu que é possível utilizar materiais simples para sua confecção e obter a produção de biogás e biofertilizante, mas o final do experimento deixa claro que para um próximo projeto caberá um estudo mais avançado, ou seja, analisar o esterco utilizado, a composição do biogás e projetar o armazenamento do gás fora do tambor, utilizar um manômetro mais preciso e realizar a análise dos micronutrientes do biofertilizante.

Considerando a produção teórica de biogás estimada no presente estudo, foi possível verificar a viabilidade energética de produção desse gás, considerando seu baixo custo de obtenção e sobretudo os benefícios ambientais do aproveitamento do esterco bovino.

Além do aproveitamento do biogás, os efluentes resultantes da degradação da matéria orgânica podem ser utilizados como um rico fertilizante natural, podendo ser empregado na adubação das áreas de atividade agrícola.

O biodigestor desenvolvido custou 13685 Mtn, provando ser uma boa alternativa em relação à produção de biofertilizante e biogás para o produtor familiar.

Para os trabalhos futuros é necessário que se faça outras análises físicas e químicas do substrato (matéria-prima) a fim de se determinar principalmente a relação C/N no início do processo.

É necessário também que se faça um estudo de outro tipo de detergentes que não produzam efeitos negativos no processo da biodigestão anaeróbica.

Também deve-se avaliar a existência de impurezas no biogás, assim como o estudo das diferentes formas de purificação deste gás.

## 5. Referencias Bibliográficas

Basquerotto, C. H. (2015). SISTEMA ANAERÓBICO CASEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA DE ARROZ. São Paulo.

Bittencourt, P. R. (2018). PRODUÇÃO DE BIOGÁS. PARANÁ.

Buss, M. V. (2017). MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES: AVALIAÇÃO E INDICATIVO DO SEU POTENCIAL BIOENERGÉTICO. Brasil.

Correia, M. P. (2015). PRODUÇÃO DE BIOGÁS. Lisboa.

Cruiz, A. D. (2020). PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS. PARAIBA.

Kretzer, S. G. (2016). PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS. Santa Catarina.

Lins, L. P. (2019). PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA LEITEIRA POR MEIO DA CODIGESTÃO COM MACRÓFITAS DA ESPÉCIE *Salvinia*. Brasil.

Matos, C. F. (2017). PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE DEJETOS DE BOVINOS, SOB SISTEMA ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE PRODUÇÃO. Seropédica, RJ.

Metz, H. L. (2013). CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO PARA DEMONSTRAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE EM ESCOLAS SITUADAS EM MEIOS URBANOS. Brasil.

Morais, F. T. (2018). BIODIGESTOR: UMA TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL. Setúbal.

Rocha, C. M. (2016). PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO. Juiz de Fora.

Simiano, L. F. (2013). MANUAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS. PARANÁ.

Vieira, M. T. (2017). UTILIZAÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE Biogás. Porto.