



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

Faculdade de Veterinária

Curso: Medicina Veterinária

Trabalho de Culminação de Estudos

Tema:

**Projecção de um Biodigestor para a Granja da Faculdade de Veterinária  
da Universidade Eduardo Mondlane**

**Autor:**

António Manuel Ramos

**Supervisora:** Prof. Doutora Dácia Correia

**Co-Supervisor:** Eng. Freitas Zacarias Pedro Garrine

Maputo, Outubro de 2023



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

LICENCIATURA EM MEDICINA VETERINÁRIA

**Projecção de um Biodigestor para a Granja da Faculdade de Veterinária  
da Universidade Eduardo Mondlane**

Relatório submetido á Faculdade de Veterinária da  
Universidade Eduardo Mondlane, como requisito  
parcial para obtenção do grau de Licenciatura em  
Medicina Veterinária.

**Supervisora:** Prof. Doutora Dácia Correia

**Co-Supervisor:** Eng. Freitas Z. P. Garrine

**Candidato:** António Manuel Ramos

Maputo

2023

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro, sob palavra de honra, que o presente trabalho de licenciatura foi realizado e elaborado por mim, com base nos meios que no mesmo se faz referência.

---

(António Manuel Ramos)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho á Deus cuja presença me auxilia nas escolhas á seguir, abrindo caminhos e me dando confiança frente aos desafios e adversidades, por abrir espaço frente às dificuldades e por ser meu guia, uma luz na escuridão. E aos meus eternos progenitores Celeste Vasco Waia e Manuel Ramos Morais, pelo amor incondicional depositado em mim.

## AGRADECIMENTOS

À DEUS, todo poderoso, por nunca me abandonar, sempre me colocar no caminho certo, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados durante a minha trajectória;

Aos meus irmãos (Nordino, Aníbal, Luisa e Victorina Manuel Ramos), pelo apoio e incentivo durante toda a minha carreira estudantil, esta monografia é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena;

À minha querida namorada (Cesária de Jesus Tembe), pela idoneidade, pelo seu amor incondicional e por compreender minha dedicação a este projecto de pesquisa, obrigado por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e stress. Te amo;

Sou extremamente grato pela paciência e confiança depositada pelos meus supervisores, a Prof. Doutora Dácia Correia e o Engenheiro Freitas Garrine, que dedicaram inúmeras horas para sanar as minhas questões e me colocar na direcção correcta, Deus os abençoe contínua e abundantemente;

Gratidão especial à minha irmã Joyce Mbele, e a Mamã Lorene, pelo apoio incansável, depositado durante a minha formação académica, que Deus retribua em dobro;

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso (Élio Muatareque, Josefa Ndaremba, Yurgen Matsinhe, Benjamin Moda e Sharon Mazembe) que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação académica e na finalização deste trabalho.

*Obrigado,*

*Khanimambo,*

*Takhuta,*

*Thank You.*

**ABREVIATURAS**

**%** - Percentagem;

**CH<sub>4</sub>** – Metano;

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono;

**dm<sup>3</sup>/dia** – Decímetros Cúbicos por dia;

**EXC** – Excremento;

**FAVET** – Faculdade de Veterinária;

**GLP** – Gás Liquefeito de Petróleo;

**H<sub>2</sub>** – Hidrogénio;

**H<sub>2</sub>S** – Gás Sulfídrico;

**Kcal/m<sup>3</sup>** – Quilocaloria por metro cúbico

**Kg** – Quilograma;

**Kg/dia** – Quilograma por dia;

**KWh** – Quilowatt-hora;

**L** – Litro;

**m<sup>3</sup>** – Metro Cúbico;

**m<sup>3</sup>/dia** – Metro Cúbico por dia;

**m<sup>3</sup>/kg** – Metro Cúbico por Quilograma;

**ml** – Mililitros;

**N<sub>2</sub>** – Nitrogénio;

**NaOH** – Hidróxido de sódio;

**PET**- Polietileno tereftalato

**pH** – Potencial Hidrogeniônico;

**PVC** – Policloreto de Vinil;

**ROA** – Resíduo Orgânico Animal;

**TRH** – Tempo de Retenção Hidráulica;

**UEM** – Universidade Eduardo Mondlane;

**VB** – Volume de Biodigestor;

**VC** – Carga diária.

## LISTA DE FIGURAS

Figura i - Biodigestor tipo Batelada (Esquerda); Biodigestor Batelada representação tridimensional (Direita).....	6
Figura ii: Componentes de um Biodigestor Contínuo .....	7
Figura iii: Modelos de Biodigestores (A) Indiano; (B) Chinês e (C) Canadense.....	8
Figura iv: Modelo de Biodigestor Chinês.....	9
Figura v: Modelo de Biodigestor Indiano .....	10
Figura vi: Modelo de Biodigestor Canadense.....	11
Figura vii - Etapas da degradação anaeróbica .....	12
Figura viii – Imagem referente a Localização da Faculdade de Veterinária – UEM - Maputo .....	16
Figura ix - Constituição do modelo de protótipo utilizado para ensaio da produção de biogás .....	20
Figura x: Apresentação visual dos Quatro (4) protótipos realizados para ensaiar a produção de biogás.....	22
Figura xi: Fluxograma do funcionamento experimental .....	22
Figura xii - Vista ilustrativa em corte vertical do modelo de protótipo utilizado para ensaiar a produção de biogás .....	23
Figura xiii: Modelo real de Mini-Biodigestor (Esquerda); Representação esquemática do modelo do Mini-Biodigestor (Direita).....	24
Figura xiv: Preparação da Solução de Hidróxido de sódio (Esquerda); Filtro 1 (Direita).....	26
Figura xv: Imagem referente ao frasco do filtro 2 .....	27
Figura xvi: Proposta do modelo do Biodigestor e seu sistema de purificação de biogás (filtros) ...	36
Figura xvii: Vista aérea da granja e o local proposto para instalação do biodigestor .....	37
Figura xviii: Ilustração da disposição do biodigestor e seus componentes .....	38

**LISTA DE TABELAS**

Tabela i: Composição do biogás .....	14
Tabela ii: Relação para 1 litro de biogás com outras fontes de energia.....	14
Tabela iii: Materiais utilizados na fase experimental e sua função .....	17
Tabela iv: Materiais utilizados na Montagem do Mini-biodigestor e sua função.....	18
Tabela v : Tabela da relação do volume de carga diária .....	33
Tabela vi: Produção de esterco fresco diário e volume de carga .....	34
Tabela vii: Estimativa da produção diária de biogás.....	35

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico i - Resultados do ensaio realizado em Setembro de 2022 .....	29
Gráfico ii: Resultados do ensaio realizado em Outubro de 2022 .....	30
Gráfico iii: Resultados do ensaio realizado em Novembro de 2022 .....	30
Gráfico iv: Resultados do ensaio realizado em Dezembro de 2022.....	31
Gráfico v: Padrão da produção de biogás por substrato em função do tempo de retenção hidráulica .....	31
Gráfico vi: Média da temperatura e da produção de biogás nos ensaios realizados .....	32

**ÍNDICE**

Dedicatória .....	i
Agradecimentos.....	ii
Abreviaturas .....	iii
Lista de Figuras .....	iv
Lista de Tabelas .....	v
Lista de Gráficos .....	vi
Resumo .....	ix
Abstract .....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Formulação do Problema .....	1
2 OBJECTIVOS .....	3
2.1 Geral .....	3
2.2 Específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Resíduos na Produção Animal .....	4
3.2 Tratamento Anaeróbico de Resíduos .....	5
3.2.1 Biodigestores.....	5
3.2.1.1 Tipos de Biodigestores .....	5
3.2.1.1.1 Biodigestores Descontínuos ou Batelada .....	5
3.2.1.1.2 Biodigestores Contínuos.....	7
3.2.1.1.2.1 Modelos de Biodigestores.....	8
3.2.1.1.2.1.1 Modelo Chinês .....	9
3.2.1.1.2.1.2 Modelo Indiano .....	10
3.2.1.1.2.1.3 Modelo Canadense .....	11
3.2.1.2 Processo de Biodigestão anaeróbia .....	11
3.2.1.3 Factores que Influenciam na Digestão Anaeróbia .....	13
3.2.1.4 Biogás .....	14
3.2.1.5 Purificação do Biogás.....	14
3.2.1.5.1 Gás Carbónico .....	15

3.2.1.5.2	Gás sulfídrico .....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
4.1	Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	16
4.2	Materiais.....	17
4.3	Metodologia.....	19
4.3.1	Montagem dos Experimentos:.....	19
4.3.2	Modo de preparação da matéria-prima: .....	21
4.3.3	Funcionamento .....	22
4.3.3.1	Operacionalização experimental .....	20
4.3.4	Montagem do Mini-Biodigestor.....	23
4.3.4.1	Preparação e Montagem dos Filtros.....	25
4.3.4.1.1	Purificação do Biogás pela Absorção de H <sub>2</sub> S e CO <sub>2</sub> .....	25
4.3.4.1.1.1	Filtro 1 – Solução de Hidróxido de Sódio (Remoção de CO <sub>2</sub> ) .....	26
4.3.4.1.1.2	Filtro 2 – Palha-de-aço (Remoção de Gás Sulfídrico) .....	27
4.3.5	Dimensionamento de Biodigestores.....	28
5	RESULTADOS.....	29
5.1	Resultado dos ensaios experimentais .....	29
5.1.1	Produção de Biogás por substrato no Mês de Setembro .....	29
5.1.2	Produção de Biogás por substrato no Mês de Outubro.....	30
5.1.3	Produção de Biogás por substrato no Mês de Novembro .....	30
5.1.4	Produção de Biogás por substrato no Mês de Dezembro .....	31
5.1.5	Padrão da Produção de Biogás por Substrato.....	31
5.1.6	Padrão da Produção Mensal de Biogás.....	32
5.2	Dimensionamento do Volume do Biodigestor .....	33
5.3	Estimativa da Produção Total de Biogás .....	35
5.4	Estimativa da Produção de Energia Eléctrica .....	35
5.5	Proposta do Modelo de Biodigestor e seu Sistema de filtros .....	36
6	DISCUSSÃO.....	39
7	CONCLUSÕES.....	42
8	RECOMENDAÇÕES.....	43
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
	ANEXOS.....	49

## RESUMO

### Dimensionamento de um Biodigestor para a Granja da Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane.

RAMOS, António Manuel <sup>1</sup>; CORREIA, Dácia <sup>2</sup>; GARRINE, Freitas Zacarias Pedro <sup>3</sup>

Biodigestores são câmaras hermeticamente fechadas, utilizadas no tratamento de resíduos orgânicos pelo processo de decomposição anaeróbica. É uma excelente escolha para o tratamento e reaproveitamento dos resíduos orgânicos, pois, para além de ser ambientalmente saudável, também é economicamente viável, pelo facto de os seus produtos, biogás e biofertilizante, serem utilizados como uma fonte alternativa de energia (térmica e eléctrica) e enriquecimento nutricional do solo (adubo orgânico) respectivamente. O Biogás é uma mistura gasosa composta principalmente de Metano (60 - 70% em volume) e Dióxido de Carbono (30 - 40% em volume) e traços de outros gases. O presente trabalho teve como objectivo, dimensionar um biodigestor utilizando os resíduos orgânicos produzidos na Granja da Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane, localizada na Cidade de Maputo, Moçambique. Estando constituído por 4 fases, tendo a primeira fase sido a preparação do substrato, a segunda fase a montagem dos protótipos usando garrafas plásticas de 6 litros, a terceira fase consistiu na avaliação da produção de biogás nos protótipos e montagem de um Mini-biodigestor para fins didácticos, e a última fase consistiu no dimensionamento dum biodigestor, com base na totalidade de produção de resíduos na granja. O estudo foi experimentalmente realizado durante 4 meses (Setembro – Dezembro de 2022). O experimento tinham como objectivo a avaliação do potencial dos resíduos orgânicos da Granja da Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane, concretamente os excrementos de Poedeiras, Caprinos e Cama de Frango na produção de Biogás. A quantidade de resíduos produzidos pelos animais na granja tornou possível dimensionar um biodigestor de 28 m<sup>3</sup>, com uma produção diária de 0,3224 m<sup>3</sup> ~ 322,4 Litros de biogás. Essa produção equivale a uma estimativa diária de 0,7093 Quilowatt-hora de energia eléctrica, tornando viável a implantação de um biodigestor que será alimentado com os resíduos dos animais existentes na Granja. De um modo geral, recomenda-se a utilização de biodigestores como um meio de reaproveitamento dos resíduos resultantes da produção animal, que podem se tornar uma fonte de proliferação de agentes e vectores de doença, como também, um potencial disseminador de compostos que intensificam a poluição atmosférica, pela emissão de gases envolvidos em danos ambientais, particularmente no “Efeito-Estufa”, sendo uma proposta favorável e promissora no combate às mudanças climáticas globais e na redução dos custos de energia eléctrica, visto que o biogás, para além da vantagem de ser utilizada como fonte de calor (energia térmica), também é utilizada como fonte alternativa de energia eléctrica, funcionando como combustível em geradores para a produção de electricidade.

**Palavras-Chave:** Biodigestor, Biodigestão anaeróbica, Biogás, excrementos de Caprinos e Poedeiras, Cama de Frango.

**ABSTRACT****Dimensioning a Biodigester for the Farm of the Faculty of Veterinary Science of the Eduardo Mondlane University.**RAMOS, António Manuel <sup>1</sup>; CORREIA, Dácia <sup>2</sup>; GARRINE, Freitas Zacarias Pedro <sup>3</sup>

1. Author; 2. Supervisor; 3. Co-Supervisor

Biodigesters are hermetically sealed chambers used to treat organic waste through the process of anaerobic decomposition. It is an excellent choice for the treatment and reuse of organic waste because, as well as being environmentally wholesome, it is also economically viable, due to the fact that its products, biogas and biofertilizer, are used as an alternative source of energy (thermal and electrical) and nutritional enrichment of the soil (organic fertilizer) respectively. Biogas is a gaseous mixture composed mainly of methane (60 - 70 per cent by volume) and carbon dioxide (30 - 40 per cent by volume) and traces of other gases. The aim of this study was to size a bio-digester using the organic waste produced on the farm of the Faculty of Veterinary Science at Eduardo Mondlane University, located in Maputo City, Mozambique. It consisted of 4 phases: the first phase was the preparation of the substrate, the second phase was the assembly of the prototypes using 6-litre plastic bottles, the third phase consisted of evaluating the production of biogas in the prototypes and assembling a mini biodigester for teaching purposes, and the last phase consisted of sizing a biodigester, based on the total production of waste on the farm. The study was carried out experimentally over 4 months (September - December 2022). The aim of the experiment was to assess the potential of the organic waste from the farm at the Faculty of Veterinary Science at Eduardo Mondlane University, specifically the droppings of layers, goats and chicken litter, to produce biogas. The amount of waste produced by the animals on the farm made it possible to size a 28 m<sup>3</sup> biodigester, with a daily production of 0.3224 m<sup>3</sup> ~ 322.4 liters of biogas. This production is equivalent to a daily estimate of 0.7093 kilowatt-hours of electricity, making it feasible to set up a biodigester that will be fed with the waste from the animals on the farm. In general, the use of biodigesters is recommended as a means of reusing the waste resulting from animal production, which can become a source of proliferation of disease agents and vectors, as well as a potential disseminator of compounds that intensify atmospheric pollution, by emitting gases involved in environmental damage, particularly in the "Greenhouse Effect", It is a favorable and promising proposal for combating global climate change and reducing electricity costs, since biogas, in addition to the advantage of being used as a source of heat (thermal energy), is also used as an alternative source of electricity, functioning as fuel in generators for electricity production.

**Key words:** Biodigester, Anaerobic Biodigestion, Biogas, Goat and Layer Droppings, Chicken Litter.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A preocupação com a preservação ambiental e com as consequências dos impactos ambientais para o futuro não é algo recente. Nas últimas décadas as questões ambientais têm sido discutidas, pesquisadas e submetidas aos mais diversos sistemas legais em todo o mundo com o objectivo principal de resgatar a qualidade de vida no planeta.

Existem mundialmente muitas maneiras de extrair energia da matéria orgânica (biomassa), e com o advento da tecnologia a eficiência no aproveitamento da energia desses materiais tem aumentado progressivamente. Uma das formas é a utilização de biodigestores. De acordo com Júnior (2020), este método é mundialmente explorado devido as suas vantagens, visto que a biomassa dentro do biodigestor e, por meio da digestão anaeróbia gera o biogás que é uma fonte confiável de energia renovável. Um outro produto que é reaproveitado deste processo de digestão é o biofertilizante defende Torres, *et al.* (2013)

Assim com este estudo se pretende apresentar uma alternativa de reaproveitamento dos resíduos sólidos da granja da Faculdade de Veterinária – UEM, utilizando biodigestores para a produção de biogás para geração de energia térmica, eléctrica e biofertilizantes, que poderão ser destinados ao aquecimento dos pintos, iluminação da granja, aos bancos forrageiros e machambas, respectivamente.

## 1.2 Formulação do Problema

Os resíduos orgânicos podem ser vistos como resíduos problemáticos ou como recursos a se valorizar, os quais com uma gestão adequada podem dar resposta às preocupações ambientais e económicas de cada região, atendendo às suas especificidades. A preocupação eminente no que concerne à gestão de resíduos produzidos na Granja da FAVET-UEM, principalmente os resíduos produzidos no galpão das poedeiras, surge pelo facto destes resíduos segundo Júnior, *et al.* (2018) apresentarem um potencial para causar problemas, não só aos funcionários como também às próprias aves, pois o acúmulo dos resíduos facilita a proliferação de microrganismos e a sua decomposição emite gases considerados tóxicos que ameaçam a saúde humana, animal e o meio ambiente no geral.

Por outro lado, o aumento contínuo dos custos da energia eléctrica em Moçambique e globalmente encarece os custos da produção animal, contribuindo para o aumento dos preços dos produtos animais. A Granja da FAVET-UEM tem um gasto grande com energia eléctrica porque como é sabido que, a temperatura interior do aviário influencia directamente no sucesso do crescimento saudável das aves, recomendando-se sempre o aquecimento do aviário particularmente no Inverno e nas primeiras semanas de introdução dos pintos defende Gussul (2018), e para este fim são

utilizadas resistências eléctricas durante aproximadamente 20 dias. Além deste consumo de energia eléctrica, associa-se a energia térmica para o abate e limpeza dos frangos. Assim, a procura por fontes alternativas de energia é cada vez mais importante, como forma de reduzir as despesas dentro dos empreendimentos e mesmo nas famílias.

A sustentabilidade é uma temática cada vez mais importante, devido aos alarmantes sinais de colapso que o meio ambiente tem emitido. Assim, o aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos tem sido uma óptima forma de gestão em unidades de produção animal não só por contribuir para a diminuição da poluição ambiental, como a emissão de metano, dióxido de carbono, gases envolvidos no efeito estufa e a contaminação dos lençóis freáticos como também é uma medida de valorização do resíduo e redução dos gastos com a compra de energia eléctrica e fertilizantes uma vez que os mesmos podem ser transformados em biogás e biofertilizante, contribuindo assim para a sustentabilidade socioeconómica e ambiental.

Metz (2013), refere que as vantagens dos biodigestores estão ligadas a redução dos odores, diminuição de patógenos, redução de coliformes e principalmente à possibilidade de aproveitamento do biogás produzido e o uso do lodo gerado como fertilizante. Além disso, o gás carbónico, um dos gases de efeito estufa, evitado com a implementação do biodigestor, pode ser posteriormente negociado e vendido como créditos de carbono.

Considerando o acima exposto se postulou a seguinte questão de pesquisa:

- Será que os resíduos produzidos na Granja da Faculdade de Veterinária são suficientes para garantir a alimentação energética deste sector, ao mesmo tempo auxiliando na gestão dos resíduos?

## 2 OBJECTIVOS

### 2.1 Geral

- Projecção de um biodigestor para uso na Granja da Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane usando como matéria-prima os excrementos de poedeiras, caprinos e cama de frango localmente produzidos.

### 2.2 Específicos

- Ensaiar a produção de biogás usando a cama de frango, as excretas de caprinos e poedeiras da FAVET-UEM através de protótipos fabricados com garrafas *Pet*;
- Montar um mini biodigestor artesanal para fins didácticos;
- Dimensionar um biodigestor usando os excrementos produzidos na Granja.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Resíduos na Produção Animal

A Produção animal é uma das actividades de importância primária em todo o mundo, sendo implementada em diferentes escalas de produção, desde a produção em pequena escala até a produção em grande escala. Os benefícios que a produção animal oferece a população são inquestionáveis, no entanto ela está associada a um problema que muitas vezes vem sendo negligenciado pelos produtores, que é a gestão correcta dos resíduos resultantes desta prática. Segundo Schmidt (2018), são denominados resíduos da produção animal, as fezes, a urina, a água desperdiçada pelos bebedouros e a de higienização, os resíduos de ração, pêlos, poeiras, caixas de pintos, frascos de vacinas, medicamentos e pesticidas entre outros materiais decorrentes do processo de produção.

Como mencionado anteriormente, a produção animal pode ser implementada em Grande Escala, como descrito por Hendrickx *et al.* (2015), é um tipo de produção em sistemas intensivos, também denominada de produção animal industrial, e que visa produzir um máximo de produtos animais com um mínimo de custo de produção e que, segundo Castro (2016) é caracterizada por confinamentos de alta densidade, taxas de crescimento forçadas, grau de mecanização elevado e pouca mão-de-obra.

A produção animal em grande escala também acumula uma grande quantidade de resíduos, que muitas vezes não são devidamente tratados contribuindo assim para a poluição ambiental, devido a emissão dos gases que intensificam o efeito-estufa, e estes mesmos gases tornam-se um problema de saúde pública pois a sua inalação em doses tóxicas causa severos problemas à saúde humana e animal que podem evoluir até a morte, segundo defendem Oliveira (2015) e Kunz *et al.* (2019). Existem diversas opções para o tratamento e aproveitamento de resíduos orgânicos, onde se inclui o processo de biodigestão anaeróbica. Como afirmam Santos *et al.* (2023) e Mariana *et al.* (2022), a digestão anaeróbia é uma alternativa promissora para o tratamento dos resíduos orgânicos, em virtude das altas taxas de produção de biogás.

## 3.2 Tratamento Anaeróbico de Resíduos

### 3.2.1 Biodigestores

De acordo com Alves *et al.*(2014), Biodigestor é uma câmara hermeticamente impermeável de tamanho, modelo e tipo variado, onde é depositado o material orgânico para fermentar anaerobiamente, num processo denominado de biodigestão anaeróbica, que de acordo com Cremonez *et al.* (2013), é definido como sendo a decomposição da matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio gerando o biogás e o biofertilizante (um resíduo líquido rico em minerais). O biodigestor é constituído por duas partes, uma câmara de biodigestão, que é um recipiente fechado onde ocorre a fermentação anaeróbica da matéria orgânica, e posterior produção do biogás e biofertilizante, e o gasómetro, onde o biogás é armazenado (Gonçalves *et al.*, 2018; Alves, 2017 e Guilherme, 2020). Existem vários modelos de construção de biodigestores, tendo assim uma ampla aplicabilidade.

#### 3.2.1.1 Tipos de Biodigestores

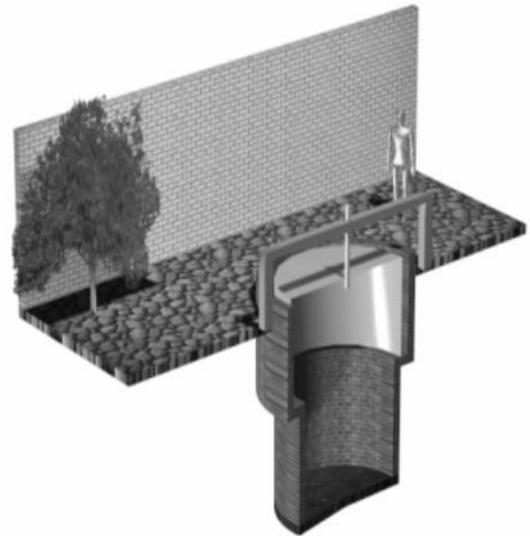
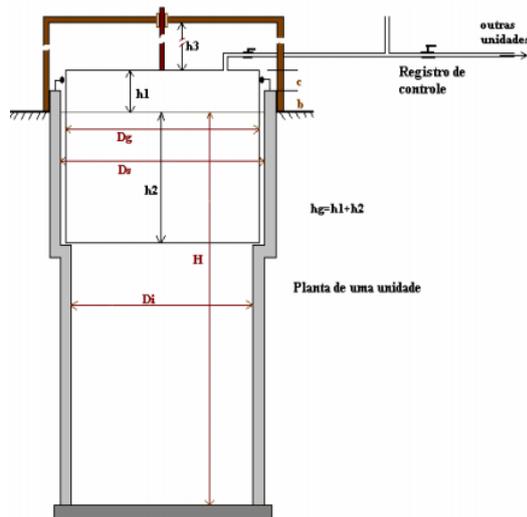
Existem vários tipos de biodigestores, mas, geralmente, todos são compostos, basicamente, de duas partes como mencionado anteriormente e sendo estes classificados em Contínuos e Descontínuos (Queiroz, 2013).

##### 3.2.1.1.1 Biodigestores Descontínuos ou Batelada

São assim denominados pois funcionam em determinados períodos, de acordo com a disponibilidade da matéria-prima. Sendo alimentados uma vez em cada ciclo de produção, que dura um período de 30-45 dias em média de acordo com Mkt (2020) e Junqueira (2014). É considerado um sistema simples e de fácil manutenção. Entretanto, pela natureza da alimentação, costuma ser utilizado apenas em locais onde há uma periodicidade na produção de biomassa. Por exemplo as granjas de aves de corte, onde a cama é retirada após o ciclo de produção (Mkt, 2020; Metz, 2013).

Deganutti *et al.* (2013), afirmam que se trata de um sistema bastante simples e de mínima exigência para a sua operação. Podendo ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série, e o seu funcionamento consiste na adição de todo o resíduo orgânico de uma só vez. Posteriormente, o biodigestor é hermeticamente fechado, favorecendo a digestão anaeróbica. O gás produzido é armazenado na câmara digestora ou em um gasómetro acoplado a esta. Após ter completado todo o processo de biodigestão, retira-se o biofertilizante gerado e adiciona-se uma nova carga de resíduos.

A figura i, ilustra a vista frontal em corte dum biodigestor, realçando os elementos fundamentais para sua construção (a esquerda), e, a representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor (a direita).



**Figura i** - Biodigestor tipo Batelada (Esquerda); Biodigestor Batelada representação tridimensional (Direita).

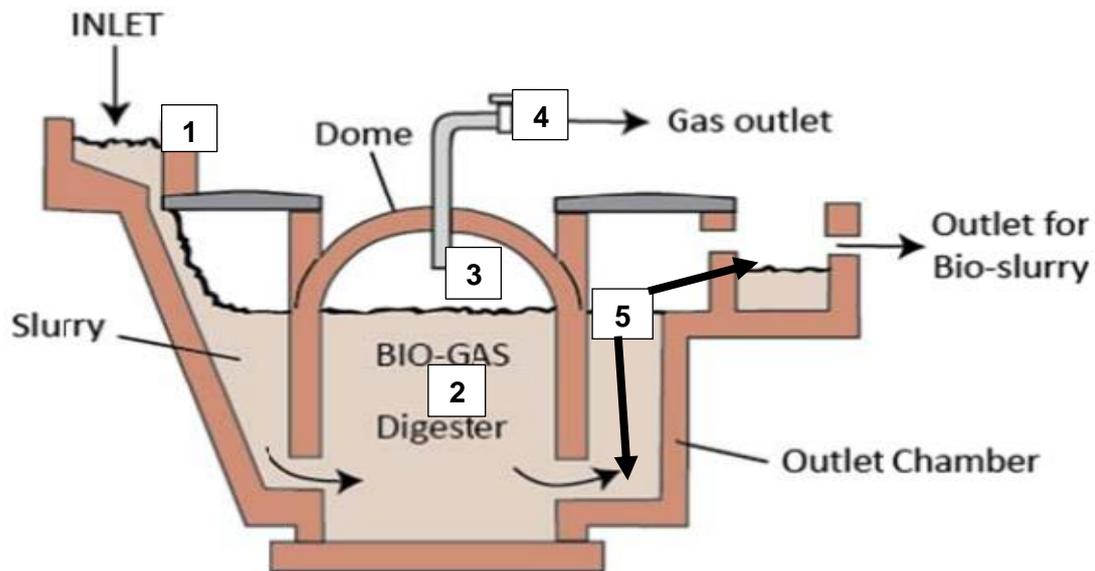
**Fonte:** Deganutti *et al.* (2013)

Legenda da figura à esquerda:

- Di** - Diâmetro interno do biodigestor;
- Ds** - Diâmetro interno da parede superior;
- Dg** - Diâmetro do gasómetro;
- H** - Altura do nível do substrato;
- h1** - Altura ociosa do gasómetro;
- h2** - Altura útil do gasómetro;
- h3** - Altura útil para deslocamento do gasómetro;
- b** - Altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;
- c** - Altura do gasómetro acima da parede do biodigestor.

### 3.2.1.1.2 Biodigestores Contínuos

Os biodigestores contínuos operam com cargas diárias de matéria orgânica que se movimentam através de uma carga hidráulica no interior do biodigestor, devendo a matéria orgânica ser diluída antes de ser introduzida no biodigestor, se possível até mesmo triturada, de modo a evitar entupimentos e formação de crostas no interior do mesmo (Coelho, 2012). Um biodigestor contínuo é normalmente constituído por 5 partes (Fig. ii) de acordo com Macharia (2015).



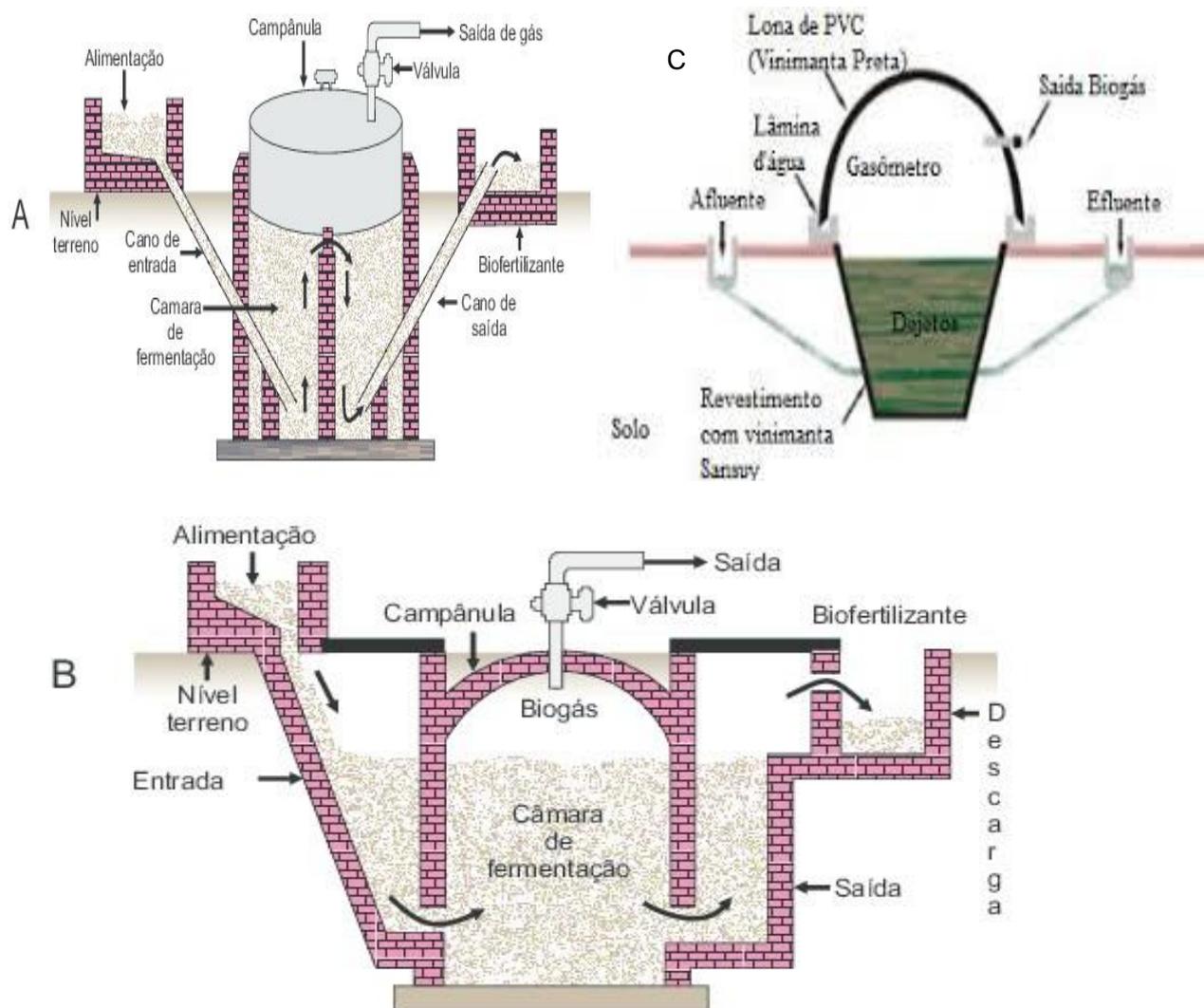
**Figura ii:** Componentes de um Biodigestor Contínuo

**Fonte:** Macharia (2015).

1. **Caixa de entrada:** Responsável pela alimentação contínua do biodigestor, transporta a matéria-prima para a câmara de fermentação;
2. **O Digestor/ câmara de fermentação:** Reservatório orgânico, onde ocorre todo processo de biodigestão anaeróbica;
3. **Gasómetro:** Local de armazenamento do Biogás;
4. **Válvula de condução do Biogás:** Sistema que transporta o biogás, do gasómetro para o destino final;
5. **Sistema de descarga:** Responsável pela evacuação do biofertilizante, até a caixa de saída.

### 3.2.1.1.2.1 Modelos de Biodigestores

Existem diversos modelos de biodigestores, adaptados a diferentes realidades de uso. Segundo Mkt, 2020, os modelos de Biodigestores mais usados são: Chinês, indiano e Canadense, ilustrados na figura iii.

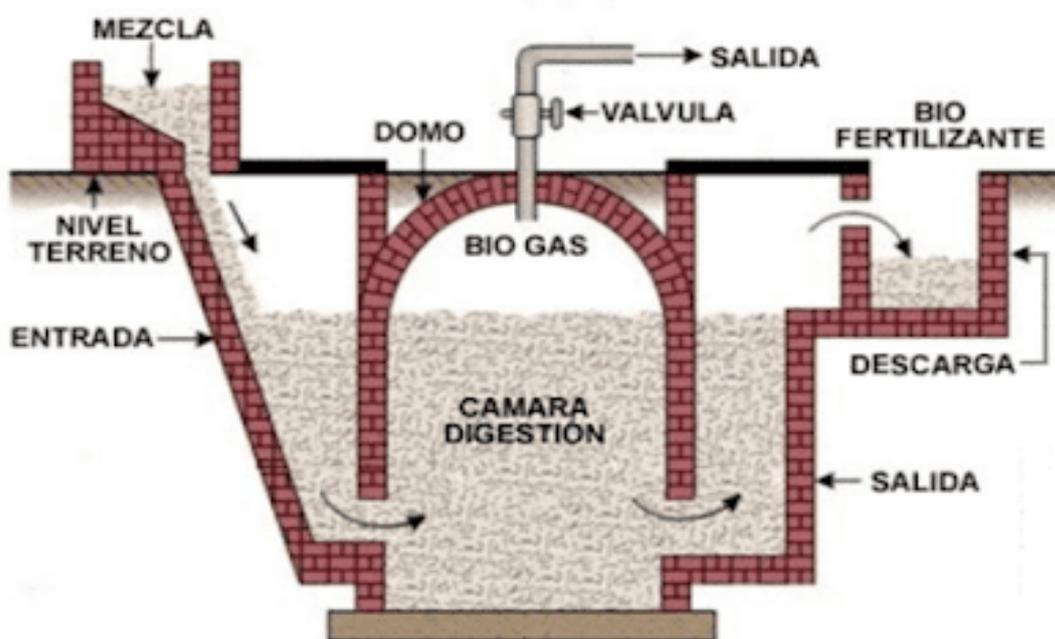


**Figura iii:** Modelos de Biodigestores (A) Indiano; (B) Chinês e (C) Canadense.

**Fonte:** Mkt (2020) e Brasil *et al.* (2019)

### 3.2.1.1.2.1.1 Modelo Chinês

Segundo Bezerra *et al.* (2014), o modelo chinês é completamente construído em alvenaria, ficando quase que totalmente enterrado no solo (Fig. iv). Constituído de uma câmara cilíndrica onde ocorre a fermentação, tem um tecto abobadado, impermeável e é destinado ao armazenamento de biogás, dispensando assim o uso de gasómetro em chapa de aço, o que reduz os custos, contudo, podem ocorrer alguns problemas como o vazamento do biogás, caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada, sendo necessário, segundo Frigo *et al.* (2015), receber uma boa camada de impermeabilizante, nas paredes externas e internas de modo a impedir infiltrações de águas provenientes do solo durante as chuvas ou de lençóis freáticos próximos. O seu funcionamento baseia-se no princípio da prensa hidráulica, deste modo, aumentos de pressão no interior do biogás resultarão em deslocamentos dos efluentes na câmara de fermentação para a caixa de saída como defende Alves *et al.* (2014).

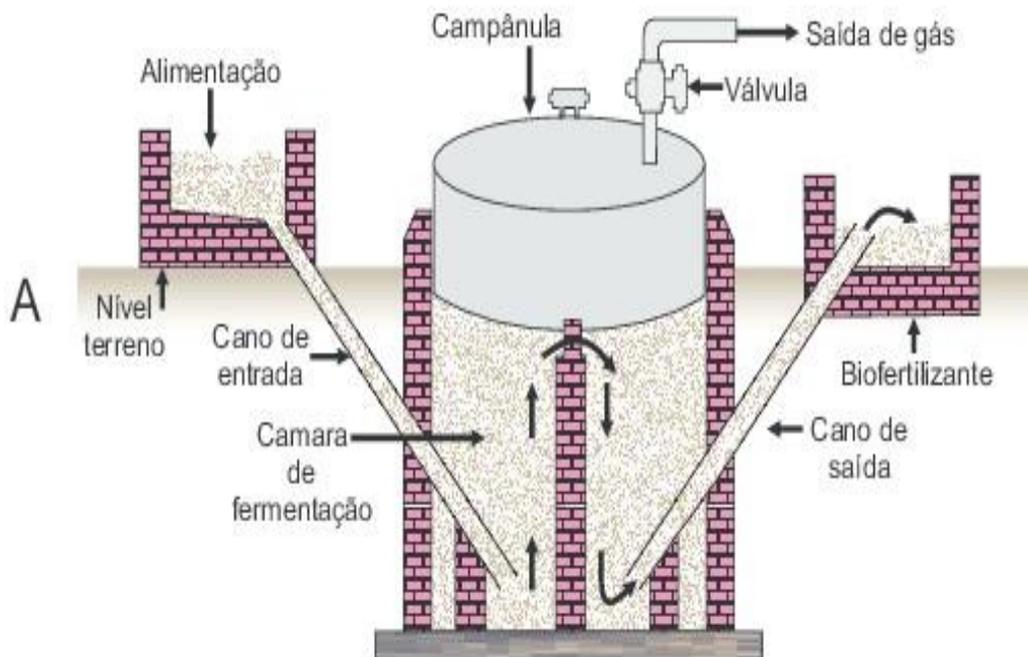


**Figura iv:** Modelo de Biodigestor Chinês

**Fonte:** Coelho (2012).

### 3.2.1.1.2.1.2 Modelo Indiano

De acordo com Frigo *et al.* (2015), este modelo é caracterizado por possuir uma campânula que é uma espécie de tampa, conhecida como gasómetro, que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, como ilustra a figura v. A sua estrutura é composta por uma parede central que de acordo com Filho *et al.* (2019) permite que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.



**Figura v:** Modelo de Biodigestor Indiano

**Fonte:** Mkt (2020).

Este modelo oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês, pois o mesmo pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo não havendo a necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, apenas a necessidade de se observar a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula (Jorge *et al.*, 2012).

### 3.2.1.1.2.1.3 Modelo Canadense

Segundo Torres *et al.* (2013), é um modelo de biodigestor horizontal que tem uma largura bem maior que a sua profundidade, fazendo com que a sua área de exposição ao sol seja grande, tendo uma produção de biogás maior e um menor risco de explosão. Utiliza materiais mais simples, sendo a sua cobertura composta geralmente por uma simples lona de plástico maleável, tipo PVC, que pode ser removida para realização de limpezas, quando há produção de biogás, esta infla como um balão; e pode ser construído enterrado ou não.



**Figura vi:** Modelo de Biodigestor Canadense

**Fonte:** Torres *et al.* (2013).

De acordo com Anis *et al.* (2020), é utilizado de forma contínua, composto principalmente por: uma caixa de entrada do material, uma câmara fechada, onde ocorre o armazenamento e a digestão da biomassa, um gasômetro, que serve para armazenar o biogás gerado durante o processo e uma caixa de saída do Biofertilizante.

### 3.2.1.2 Processo de Biodigestão anaeróbica

Segundo o relato de Araújo (2017), o processo de digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos como o dióxido de carbono e resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (matéria orgânica estabilizada).

O mecanismo de decomposição anaeróbica se desenvolve pela acção de um consórcio de microrganismos, em que um dos produtos finais da degradação é o metano, e segundo Torres *et al.* (2013), os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos de bactérias:

- **Bactérias Fermentativas:** transformam, por hidrólise, polímeros em monómeros, e estes, em acetato, hidrogénio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos, como glicose.
- **Bactérias Acetogénicas:** convertem os produtos gerados pelas bactérias fermentativas em acetato, hidrogénio e dióxido de carbono.
- **Bactérias Metanogénicas:** utilizam como substrato os produtos finais do segundo grupo. Algumas usam o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto outras produzem metano através da redução do dióxido de carbono.

O processo de biodigestão anaeróbica é dividido em quatro etapas metabólicas como apresentado na figura vii: a primeira etapa ou hidrólise, ocorre pela acção de enzimas extracelulares, as exoenzimas, liberadas por bactérias fermentativas hidrolíticas, que causam a degradação dos compostos orgânicos complexos em compostos mais simples; a segunda etapa ou acidogénese é onde há acção de bactérias acidogénicas que convertem os compostos gerados na etapa anterior em  $H_2$ ,  $CO_2$ , sais e álcoois; a terceira etapa ou acetogénese é onde as bactérias acetogénicas metabolizam os álcoois e ácidos voláteis da etapa anterior convertendo-os, principalmente, em metanol e acetato; por fim, a quarta etapa ou metanogénese, corresponde à etapa em que a acção de bactérias acetotróficas e hidrogenotróficas reduz o ácido acético e o  $CO_2$  gerando o  $CH_4$  (Júnior, 2020).

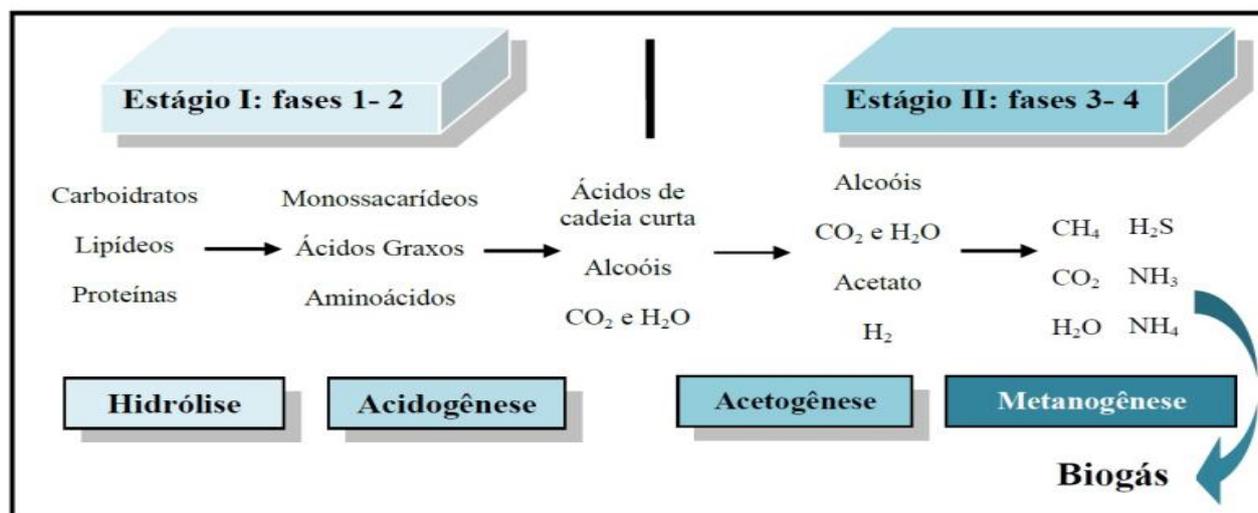


Figura vii - Etapas da degradação anaeróbica

Fonte: Lutosa *et al.* (2014)

### 3.2.1.3 Factores que Influenciam na Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica é o processo onde as bactérias decompõem a matéria orgânica em um meio com ausência de oxigénio. Assim é importante que se observe os factores que influenciam na maior ou menor produção do biogás. Dentre estes factores pode-se citar:

- ❖ **Temperatura:** O desenvolvimento das bactérias metanogénicas e a produção de biogás é função da temperatura do biodigestor. As bactérias responsáveis pela biodigestão são bastante sensíveis a variações bruscas de temperatura, uma variação de 3°C é suficiente para causar a morte da maioria das bactérias, por isso a temperatura nos biodigestores deve ser controlada. E as faixas de temperatura óptimas que favorecem a biodigestão anaeróbica variam de 20-40°C, na faixa mesofílica, e 40-60°C, na faixa termofílica. (Karlsson *et al.*, 2014 e Gonçalves, 2018);
- ❖ **Agitação:** O biodigestor deve estar equipado com algum tipo de agitador para misturar o substrato, como, por exemplo, diferentes tipos de misturadores mecânicos e bombas. A agitação facilita o contacto entre o substrato, os microrganismos e os nutrientes, fornecendo temperatura uniforme ao longo do processo. É particularmente importante que os microrganismos hidrolíticos tenham contacto com as várias moléculas que são rompidas no processo de digestão, de modo que as suas enzimas possam ser disseminadas a uma grande superfície de contacto do substrato (Karlsson *et al.*, 2014);
- ❖ **Tipo de resíduos:** O tipo de resíduo é o alimento a ser utilizado pelas bactérias. Uma vez que a relação carbono/nitrogénio é um factor muito importante, o material vegetal é uma das melhores matérias-primas, pois é fonte rica em carbono devido ao seu alto teor de carboidratos (Metz, 2013);
- ❖ **Relação carbono/nitrogénio:** Este factor é de grande importância para a formação dos ácidos orgânicos utilizados pelas bactérias para a produção de biogás. Além disso, o carbono é utilizado pelas bactérias como energia e o nitrogénio é usado para a construção das estruturas celulares, descreve Metz (2013). Karlsson *et al.* (2014) afirmam que é importante que essa relação não esteja muito baixa e que a proporção de nitrogénio seja inferior à de carbono sendo a relação C:N ideal situada entre 20-30:1 no início do tratamento e entre 10-13:1 ao fim do tratamento;
- ❖ **Tempo de retenção:** É o tempo em que o material orgânico permanece no interior do biodigestor. Este tempo é de aproximadamente 30 - 45 dias, podendo em algumas situações na primeira semana de retenção hidráulica, ser possível verificar a existência de biogás em menores proporções. O TRH está relacionado a factores como a granulometria, temperatura, entre outros. (Karlsson *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2023 e Junqueira, 2014);
- ❖ **pH:** de acordo com Lutosa *et al.* (2014), o pH adequado situa-se na faixa entre 6 - 8, tendo 7 como o ideal. Ambientes muito ácidos causam a morte das bactérias metanogénicas. A fim de manter um pH neutro e estável é necessário que a alcalinidade do meio seja relativamente elevada e constante (Tripathi *et al.*, 2013).

### 3.2.1.4 Biogás

O biogás é constituído pela mistura de gás metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para que o biogás possa ser produzido a partir de materiais orgânicos são necessários diferentes grupos de microrganismos que actuam juntamente com uma série de factores como: pH, temperatura e tipo de substrato, como descrito anteriormente; todos esses elementos afectam a composição do biogás produzido. Segundo Karlsson *et al.* (2014), geralmente o biogás bruto é basicamente constituído por metano, dióxido de carbono, e outros gases nas proporções ilustradas na Tabela i.

**Tabela i:** Composição do biogás

Tipo de Gás	Composição do Biogás (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	60 - 70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	30 - 40
Nitrogénio(N <sub>2</sub> )	0,5 - 2,5
Hidrogénio (H <sub>2</sub> )	1 - 3
Gás Sulfídrico(H <sub>2</sub> S)	0,1 - 0,5

**Fonte:** Adaptado de Junqueira (2014) e Torres *et al.* (2013)

Se o biogás é purificado, defende González (2015), o mesmo pode ser utilizado para geração de energia e como combustível veicular. Segundo Cremonez *et al.* (2013), o biogás tem um poder calorífico que varia entre os valores 5000 a 7000 Kcal/m<sup>3</sup>, podendo-se comparar a relação de 1 m<sup>3</sup> de biogás com muitas fontes de energia, como ilustra a Tabela ii.

**Tabela ii:** Relação para 1 litro de biogás com outras fontes de energia

0,61 litro de gasolina	0,45 litro de gás de cozinha
0,58 litro de querosene	1,5 quilos de lenha
0,55 litro óleo diesel	0,79 litro de álcool hidratado

**Fonte:** Adaptado de Lutosa *et al.* (2014) e Ibelli (2021)

### 3.2.1.5 Purificação do Biogás

A transformação do biogás em bio metano gera uma nova gama de usos, uma vez que ele pode substituir directamente o gás natural pois com a retirada de impurezas as propriedades e composições químicas e físicas se assemelham (Canever, 2017).

### 3.2.1.5.1 Gás Carbónico

Ao contrário dos outros gases, o dióxido de carbono não é parte combustível do biogás, muito menos agride a saúde humana. Entretanto deve ser retirado do biogás, pois arrasta consigo boa parte do calor gerado pela queima dos outros elementos combustíveis sem gerar energia adicional. Por ser o contaminante encontrado em maior quantidade no biogás, sua retirada altera directamente o percentual volumétrico do metano presente e, por consequência, todas as características físicas e químicas do biogás. Tripathi *et al.* (2013), afirmam que em média, o poder calorífico do biogás é de 21,5 MJ/m<sup>3</sup> enquanto para o gás natural o poder calorífico é de 35,8 MJ/m<sup>3</sup>. Ao se retirar o CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S do biogás pode-se chegar facilmente a valores de 88% de CH<sub>4</sub> o que torna o uso do gás adequado a aplicações mais avançadas, as quais uma maior eficiência de queima é necessária.

### 3.2.1.5.2 Gás sulfídrico

Um dos componentes gerados durante a decomposição da matéria orgânica nos biodigestores é o sulfeto de Hidrogénio (H<sub>2</sub>S) que é na verdade uma preocupação especial quando se trata de impurezas do biogás. A atenção é dada aos componentes a base de enxofre. Esses componentes devem ser retirados, ou pelo menos reduzidos a quantidades mínimas, antes da utilização do biogás, devido a sua acção fortemente corrosiva sobre peças e equipamentos (Souza *et al.*, 2012).

De acordo com Pereira *et al.* (2018), o ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) é um gás incolor e exala um cheiro desagradável. Sua presença torna o biogás corrosivo para materiais metálicos, sendo necessários cuidados especiais na escolha dos equipamentos utilizados.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo 4 descreve os procedimentos práticos e os materiais utilizados para o alcance dos objectivos deste trabalho, desde a:

- Montagem dos protótipos utilizando garrafas PET de 6 litros para o processamento do experimento;
- Colheita e preparação da matéria-prima;
- Avaliação dos resultados;
- Montagem do Mini-biodigestor para fins didácticos e;
- Dimensionamento do Biodigestor a implantar no local de estudo.

### 4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane localiza-se na cidade de Maputo, Moçambique. Situada na Av. de Moçambique km, 1.5, à 214,20 metros ao norte da Praça Filipe Samuel Magaia. Na figura viii se apresenta a localização da Granja em relação ao Campus da Veterinária.



**Figura viii** – Imagem referente a Localização da Faculdade de Veterinária – UEM - Maputo

**Fonte:** Google Earth, 2023

A Granja da Faculdade de Veterinária dedica-se à criação de diferentes tipos de animais, para fins didácticos e comerciais. A principal actividade comercial da granja é a produção e comercialização de ovos e Frangos.

## 4.2 Materiais

Para a montagem dos protótipos para ensaio e do Mini-biodigestor para fins didácticos, foram utilizados os materiais mencionados e descritos nas tabelas iii e iv, respectivamente.

**Tabela iii:** Materiais utilizados na fase experimental e sua função

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>
<b>Garrafa plástica 1</b>	1 (5l)	Câmara de biodigestão ou fermentação da cama de frango misturada com água.
<b>Garrafa plástica 2</b>	1 (5l)	Gasómetro, reservatório primário da água.
<b>Garrafa plástica 3</b>	1 (5l)	Reservatório final da água, graduada, receptor da água, proveniente da garrafa 2.
<b>Tubos transparentes</b>	1 (1,5 metros)	Condutores de gás da primeira para segunda garrafa, e da água, da segunda para terceira garrafa.
<b>Plasticina</b>	16 pares	Para selar os bordos dos canais onde entram e saem os tubos.
<b>Cola super glue</b>	14	Para reforçar a massa de ferro.
<b>Carinha de mão</b>	1	Para transportar a matéria-prima.
<b>Balde</b>	1 (5 litros)	Material para mistura da matéria-prima com água.
<b>Balança</b>	1	Para pesar a matéria-prima.
<b>Berbequim</b>	1	Ou furadeira, instrumento para criar os canais de comunicação.
<b>Régua de 50 cm</b>	1	Para graduar a garrafa 3.

**Tabela iv:** Materiais utilizados na Montagem do Mini-biodigestor e sua função

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Função</b>
<b>Balde de 20 L</b>	1	Biodigestor
<b>Tubo PVC</b>	2 Metros	Para alimentação do biodigestor
<b>Torneira PVC</b>	1	Para saída do biogás, após a produção
<b>Colas PVC</b>	3	Para selar os bordos dos canais onde entram e saem os tubos.
<b>Plasticina</b>	4 Embalagens	Para reforçar as Colas PVC
<b>Cola silicone</b>	4	Para reforçar as Colas PVC
<b>Cola <i>super glue</i></b>	3 Embalagens	Para reforçar a selagem dos bordos
<b>Tubos de gás</b>	1 (2,5 Metros)	Para a circulação do gás
<b>Soda Cáustica</b>	----	Para a preparação da solução do primeiro filtro.
<b>Frasco de 500 ml</b>	1	Frasco para o filtro, que terá hidróxido de sódio, pra filtra o dióxido de carbono.
<b>Abraçadeiras</b>	4	Para ajudar apertar os tubos entre as conexões
<b>Nipples</b>	4	Para fixar os tubos nos filtros
<b>Carinha de mão</b>	1	Para transportar a matéria-prima.
<b>Berbequim</b>	1	Ou furadeira, Instrumento para criar os canais de comunicação.
<b>Garrafa de 6L</b>	1	Para o armazenamento do gás
<b>Válvulas</b>	2	Permitir a retirada do biofertilizante e circulação do biogás.
<b>Palha-de-aço</b>	5	Para preparação do segundo filtro.

### 4.3 Metodologia

Para a execução dos ensaios foram utilizados materiais de acesso fácil e baixo custo, e a metodologia utilizada para avaliar o potencial de produção de Biogás dos dejectos é de fácil compreensão e execução.

#### 4.3.1 Montagem dos protótipos para ensaio:

Para a montagem dos protótipos foram seguidos os passos abaixo descritos:

##### 1º Passo:

- Organização dos materiais alistados na tabela 3;
- Com auxílio do berbequim, realizou-se um canal de comunicação no centro das tampas das garrafas 1 e 2;
- Realizou-se um canal de comunicação na parte inferior da garrafa 2 e na parte superior da garrafa 3;
- Com auxílio de um marcador, fez-se a graduação em litros na garrafa 3, para realização da leitura.

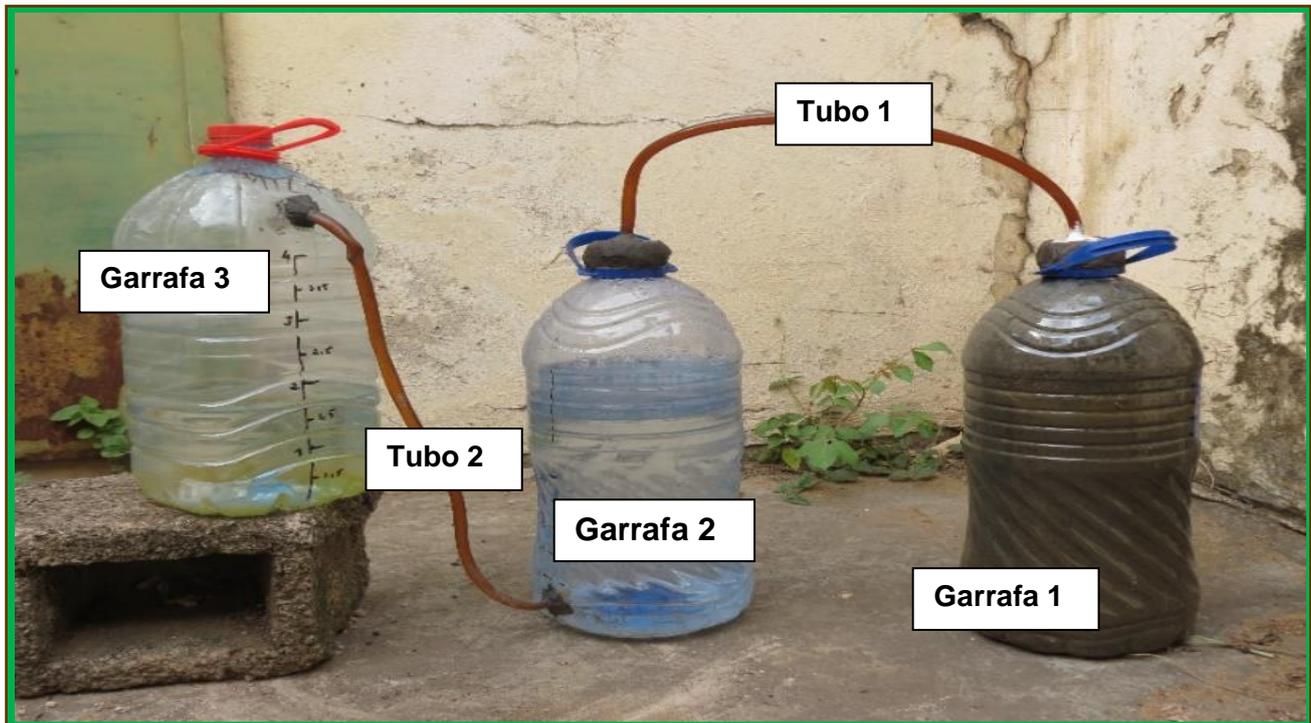
##### 2º Passo:

- Introduziu-se o tubo 1, entre os dois canais de comunicação existentes nas tampas das garrafas 1 e 2;
- Introduziu-se o tubo 2, entre os dois canais de comunicação existentes nas garrafas 2 e 3, isto é, colocar o tubo que vai desde o canal existente na porção inferior da garrafa 2, até a Porção superior da garrafa 3.

##### 3º Passo:

- Com auxílio da plasticina e *super glue*, procedeu-se a colagem e isolamento das bordas de todos os canais existentes nas garrafas;
- E com recurso a um bloco de registo, fez-se a avaliação diária da temperatura ambiente e da quantidade de biogás produzida em cada protótipo;
- A produção de biogás nos protótipos só foi considerada encerrada, depois de 5 dias sem produção desde a última avaliação feita.

A Figura ix abaixo ilustra a estrutura do ensaio após os procedimentos acima descritos.



**Figura ix** - Constituição do modelo de protótipo utilizado para ensaio da produção de biogás

**Fonte:** Autor, 2022

#### 4.3.1.1 Operacionalização experimental

O experimento foi realizado durante um período de 4 meses (Setembro – Dezembro de 2022) e foram montados um total de 4 protótipos utilizando Garrafas PET de 6 litros em cada mês (como ilustra a figura x), totalizando 16 protótipos em 4 meses, e cada protótipo era constituído por (fig ix):

- Uma (01) Garrafa de 6 litros (utilizada como Biodigestor);
- Um (01) Tubo de condução de biogás da primeira para a segunda garrafa;
- Uma (01) Garrafa de 6 litros (Gasómetro): reservatório inicial da água que após a produção de biogás migra para a terceira garrafa;
- Um (01) Tubo de condução da água da segunda para a terceira garrafa;
- Uma (01) Garrafa de 6 Litros (Reservatório final da água): Graduada em litros para facilitar o registo da produção de biogás.

#### 4.3.2 Modo de preparação da matéria-prima:

Para a realização desta etapa foram utilizados os resíduos orgânicos dos animais provenientes da Granja da Faculdade de Veterinária, nomeadamente:

- a. **Cama de Frango de Corte;**
- b. **Excrementos de Poedeiras;**
- c. **Excrementos de Caprinos.**

Colheu-se uma quantidade de 3 kg de cada substrato (resíduo), cada resíduo constituiu um (01) protótipo. E para o protótipo contendo a mistura dos resíduos colheu-se 1kg de cada resíduo, somando 3 kg da mistura, formando assim quatro (04) protótipos (fig. x):

- **Protótipo 1:** Excrementos de Poedeiras;
- **Protótipo 2:** Cama de Frangos de Corte;
- **Protótipo 3:** Excrementos de Caprinos;
- **Protótipo 4:** Mistura dos resíduos acima mencionados.

Cada amostra de matéria-prima foi misturada com água na proporção 1:1, segundo Pereira *et al.* (2018), isto é, 1L de água para 1kg de matéria-prima e introduziu-se a mistura nas garrafas 1 que foram utilizadas como tanque de biodigestão, onde acontece a fermentação e posterior produção de Biogás; para o ensaio contendo excrementos de Caprinos a proporção de diluição foi de 1:4 como recomenda Junqueira (2014).

Após a introdução do material misturado nas Garrafas 1, foram seladas as bordas das suas tampas e ao redor do tubo 1, de modo a evitar vazamento de material, e entrada de ar.

- O processo de produção do primeiro ensaio realizado no mês de Setembro de 2022, decorreu entre os dias 1 – 8;
- O segundo ensaio foi realizado no mês de Outubro de 2022, e o processo de produção decorreu entre os dias 3 – 12;
- O terceiro ensaio foi realizado durante o mês de Novembro de 2022, e o processo de produção decorreu entre os dias 4 – 12;
- No mês de Dezembro de 2022, realizou-se o último ensaio, observando todas as condições de avaliação realizadas nos meses anteriores, e o processo de produção decorreu entre os dias 3 – 14.



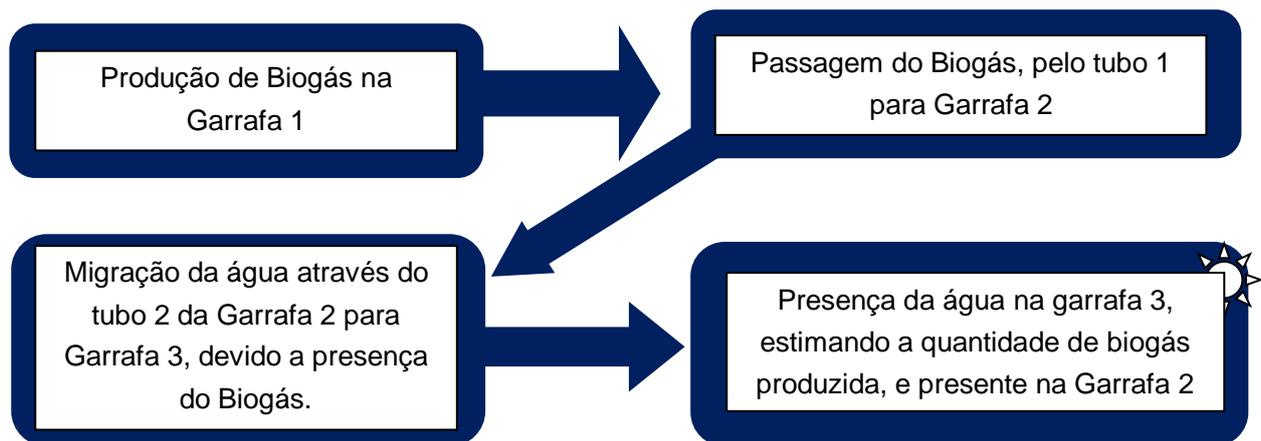
**Figura x:** Apresentação visual dos Quatro (4) protótipos realizados para ensaiar a produção de biogás.

**Fonte:** Autor, 2022

#### 4.3.3 Funcionamento experimental

Para facilitar o processo de fermentação do substrato, foi necessário homogeneizar devidamente os substratos com água (Macharia, 2015). A mistura dos resíduos e água foi feita antes de introduzir-se no interior da Garrafa 1 (Reactor).

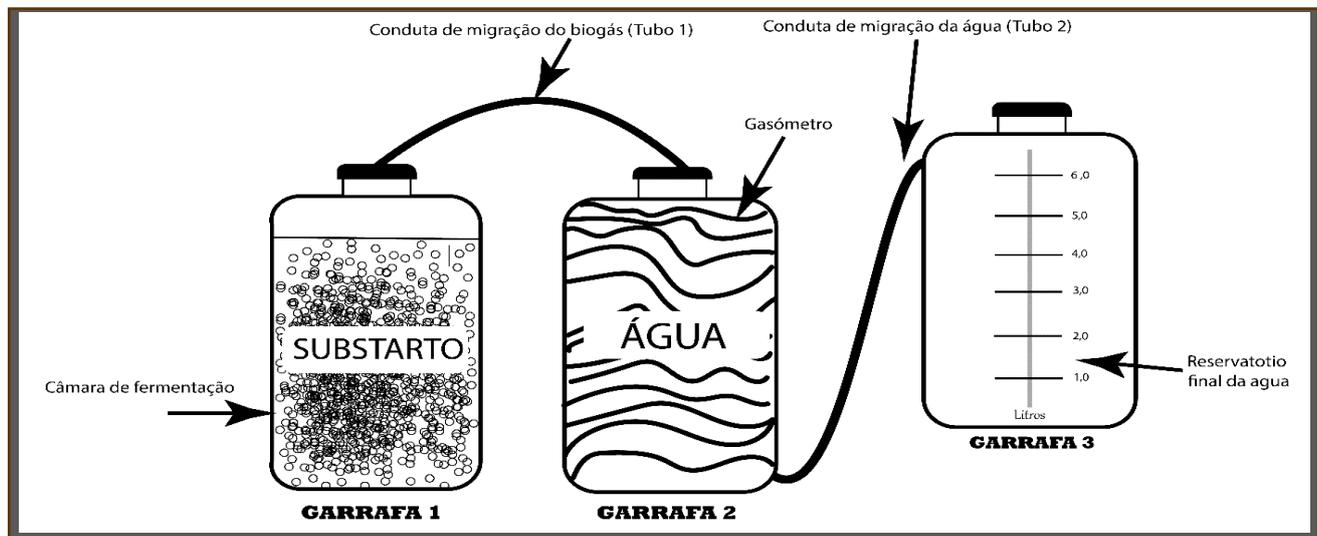
O fluxograma abaixo (Fig. xi) apresenta de forma resumida o funcionamento do ensaio.



**Figura xi:** Fluxograma do funcionamento experimental

**Fonte:** Autor, 2023

A figura xii abaixo ilustra em corte vertical, a constituição interna e externa do modelo de protótipo utilizado para ensaio da produção de biogás, legendado de modo a enriquecer a percepção da metodologia e do funcionamento.

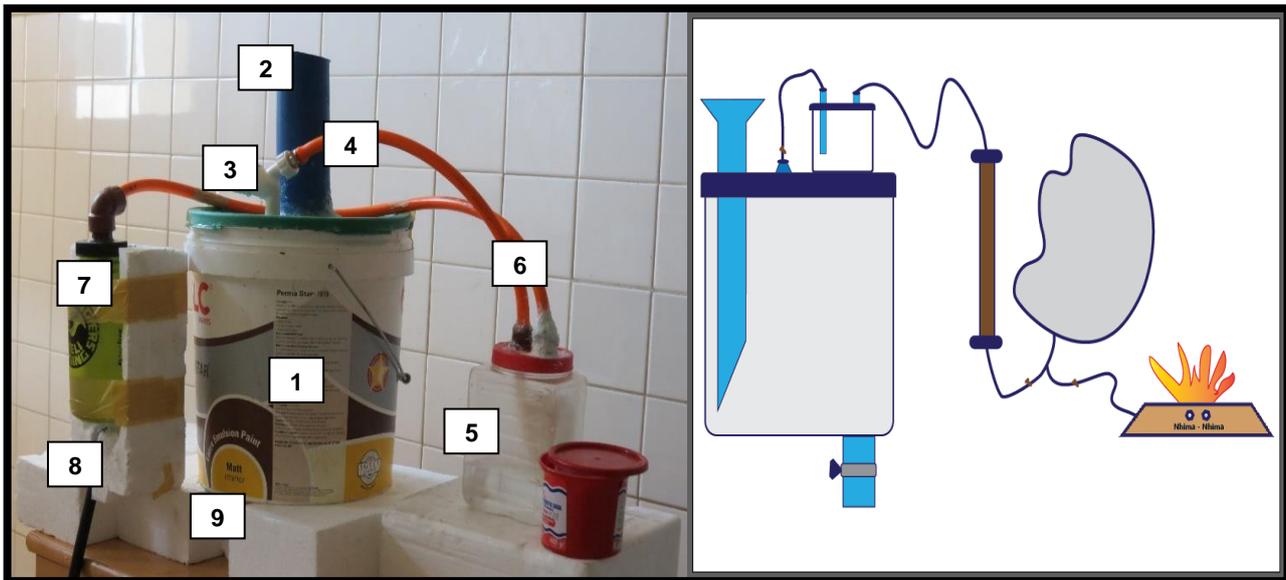


**Figura xii** - Vista ilustrativa em corte vertical do modelo de protótipo utilizado para ensaiar a produção de biogás

**Fonte:** Autor, 2023

#### 4.3.4 Montagem do Mini-Biodigestor

Também foi montado um Mini-biodigestor, incluindo os componentes para purificação do biogás apresentado na figura xiii, a ser utilizado como modelo durante as aulas. O Mini-biodigestor possui filtros para purificação do Biogás. Como mencionado durante a revisão bibliográfica, o metano é o elemento que se deseja aproveitar, entretanto, o Biogás é constituído também por outros elementos que interferem de certa forma na queima do metano. Como forma de melhorar o aproveitamento do metano, recorreu-se a literatura onde se obteve métodos que possibilitariam a purificação do Biogás utilizando materiais de fácil acesso, e com isso, construiu-se um Mini-biodigestor com os filtros de purificação de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) e H<sub>2</sub>S (Gás Sulfídrico).



**Figura xiii:** Modelo real de Mini-Biodigestor (Esquerda); Representação esquemática do modelo do Mini-Biodigestor (Direita).

**Fonte:** Autor, 2022

#### **Legenda do Modelo Real do Mini-Biodigestor:**

1. Biodigestor (20L);
2. Tubo de Alimentação do Biodigestor;
3. Saída do Biogás;
4. Tubo condutor do Biogás para Filtro 1;
5. Filtro 1 (Solução de Hidróxido de Sódio);
6. Tubo condutor do  $\text{CH}_4$  e  $\text{H}_2\text{S}$  para o filtro 2;
7. Filtro 2 (Palha-de-aço);
8. Saída do Biometano ( $\text{CH}_4$ );
9. Saída do Biofertilizante.

O modelo foi montado segundo o esquema representado na Fig. xiii, e os materiais utilizados na sua montagem estão alistados e descritos na tabela iv, página 18. Como ilustra a representação esquemática do modelo do Mini-Biodigestor (Fig. xiii), trata-se de um biodigestor contínuo e a sua montagem seguiu os seguintes passos:

1. Organização do material alistado na tabela iv, Página 18;
2. Corte oblíquo em uma das extremidades do tubo de alimentação do biodigestor;
3. Com recurso a uma faca, fez-se na tampa do balde (Biodigestor), um corte circular com um diâmetro que permita a introdução do tubo descrito na alínea anterior, e um canal para fixação da válvula de saída do Biogás;

4. Na parte inferior do balde fez-se um canal de saída do Biofertilizante, regulado por uma válvula de descarga;
5. Introduziu-se o tubo de alimentação posicionando a extremidade onde fora feita o corte, para dentro do biodigestor, e a válvula de saída do biogás na tampa do balde (Biodigestor), e selou-se utilizando plasticina e cola *silicone*, as bordas do tubo e da válvula (para impedir o vazamento de biogás e entrada de O<sub>2</sub>);
6. Fechou-se o balde, e selou-se as bordas da tampa;
7. Introduziu-se um tubo de condução desde a válvula de saída do biogás, até ao primeiro filtro (Solução de Hidróxido de Sódio);
8. E na tampa do frasco do Primeiro filtro, fez-se uma outra saída onde introduziu-se o tubo condutor a ser inserido no segundo filtro (Palha-de-aço);
9. E no segundo filtro fez-se um outro canal de saída do gás filtrado pronto para uso ou armazenamento.

#### **4.3.4.1 Preparação e Montagem dos Filtros**

Foram preparados e montados dois filtros, nomeadamente: o filtro 1, contendo a solução de Hidróxido de Sódio e o Filtro 2, contendo a palha-de-aço. O objectivo deste sistema de filtração do biogás é de enriquecer o poder calorífico do metano pela redução total ou parcial de elementos, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S, e aumentar o tempo de vida do equipamento.

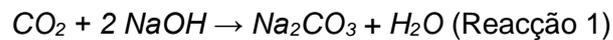
##### **4.3.4.1.1 Purificação do Biogás pela Absorção de H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub>**

O Biogás é um composto gasoso proveniente de matérias orgânicas decompostas principalmente em biodigestores anaeróbios e a sua composição varia de acordo com o material que está em processamento no biodigestor. O biogás sem nenhum processo de filtragem é composto principalmente por metano (60 a 70%) e dióxido de carbono (30 a 50%), com uma pequena quantidade de vários componentes residuais como: vapor de água, sulfeto de hidrogénio, amónia, etc. (Canever, 2017).

Sendo assim, o Biodigestor proposto para a granja será complementado por filtros que serão acoplados ao sistema, responsáveis pela purificação do Biogás, filtrando o dióxido de carbono e o gás sulfídrico, de modo a enriquecer o metano.

#### 4.3.4.1.1 Filtro 1 – Solução de Hidróxido de Sódio (Remoção de CO<sub>2</sub>)

O primeiro filtro foi constituído pela solução de hidróxido de sódio (NaOH) (figura xiv), durante a passagem do Biogás por esta solução, ocorre uma reacção entre o NaOH e CO<sub>2</sub> proveniente do Biogás. Esta reacção irá permitir uma redução acentuada do CO<sub>2</sub> do Biogás. A reacção entre o gás carbónico e o hidróxido de sódio é representada pela equação:



Onde, o dióxido de carbono proveniente do biogás, ao reagir com o hidróxido de sódio, formará o sal carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), e uma molécula de água (H<sub>2</sub>O).



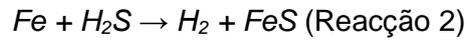
**Figura xiv:** Preparação da Solução de Hidróxido de sódio (Esquerda); Filtro 1 (Direita)

**Fonte:** Autor, 2022

#### 4.3.4.1.1.2 Filtro 2 – Palha-de-aço (Remoção de Gás Sulfídrico)

O segundo filtro (figura xv), contendo a palha-de-aço é o responsável pela purificação do biogás, reduzindo a quantidade do sulfeto de hidrogénio.

A reacção entre o Ferro e o Sulfeto de Hidrogénio é representada pela equação:



Onde, o sulfeto de hidrogénio proveniente do Biogás, ao reagir com ferro, formará o Dihidrogénio e Sulfeto de Ferro.



**Figura xv:** Imagem referente ao frasco do filtro 2

**Fonte:** Autor, 2022

#### 4.3.5 Dimensionamento de Biodigestores

Para se poder dimensionar um biodigestor, segundo Araújo *et al.* (2018), deve-se levar em conta a realidade do local onde o mesmo será implantado.

Junqueira (2014), indica os criterios abaixo como sendo essenciais:

- Facilidade de transporte da biomassa a ser carregada diariamente;
- Distância do biodigestor ao destino final do biogas, para utilização e;
- Facilidade de remoção e transporte para utilização do biofertilizante produzido.

O biodigestor não pode ficar em um local de difícil acesso, nem muito distante, da fonte de produção da materia-prima e do consumidor final, pois isso implicaria uma grande dificuldade para operação do mesmo. O sistema de geração de energia deve ficar protegido, e mantendo distâncias seguras em relação ao biodigestor (Araújo *et al.*, 2018).

O tamanho do biodigestor que se pretende construir, pode ser estimado através da quantidade de substratos que serão depositados diariamente (VC) e pelo tempo que estes ficarão durante o processo de fermentação anaeróbia (TRH). Para essa estimativa usa-se a seguinte fórmula:

$$VB = VC \times TRH \text{ (eq. 1)}$$

Onde:

**VB** = Volume do biodigestor (m<sup>3</sup>);

**VC** = Volume de Carga Diária (solução de dejectos + água) (m<sup>3</sup>/dia);

**TRH** = Tempo de Retenção Hidráulica (dias).

O volume de alimentação diária do biodigestor dependerá do tipo de substrato utilizado e da quantidade de animais existentes na propriedade. Para esse cálculo, deve ser conhecida a média de produção de esterco referente a cada tipo de animal e a quantidade de água necessária para a preparação da carga do biodigestor (Junqueira, 2014).

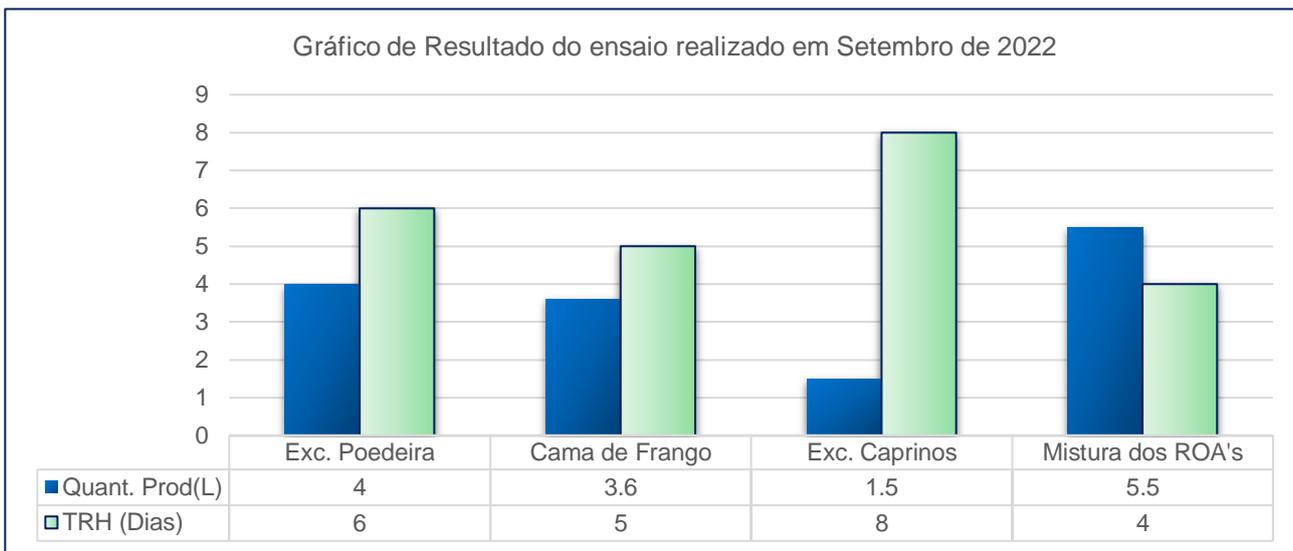
## 5 RESULTADOS

### 5.1 Resultado dos ensaios experimentais

A seguir são apresentados os resultados dos dados colhidos durante a produção de biogás nos ensaios realizados.

#### 5.1.1 Produção de Biogás por substrato no Mês de Setembro

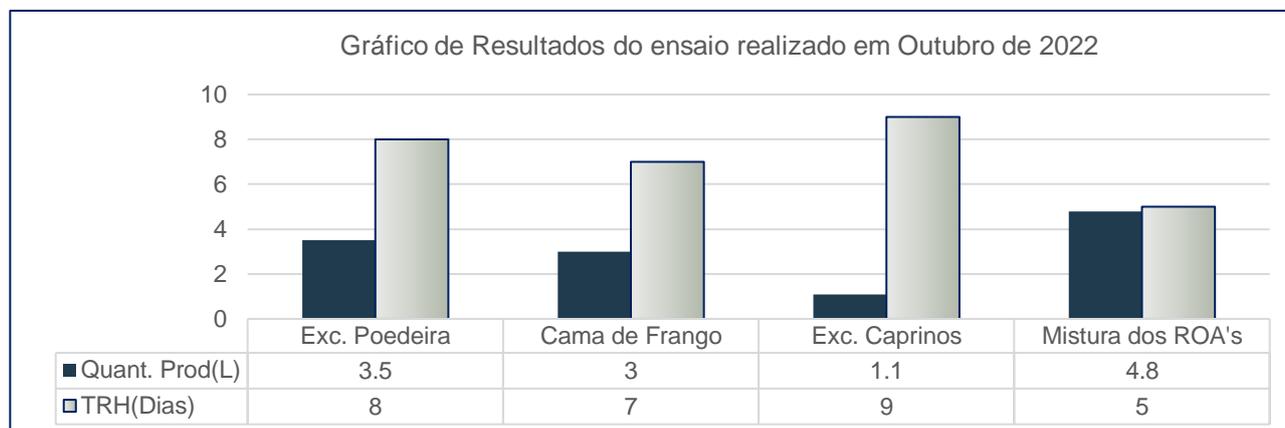
O gráfico i ilustra os resultados do ensaio realizado no mês de Setembro de 2022, mostrando a quantidade de produção de biogás em função do tempo de retenção hidráulica de cada substrato e a mistura destes. Nota-se que os resíduos de poedeiras produziram mais em relação a cama de frango e excrementos de caprinos, tendo se registado maior quantidade de biogás na mistura destes resíduos.



**Gráfico i** - Resultados do ensaio realizado em Setembro de 2022

### 5.1.2 Produção de Biogás por substrato no Mês de Outubro

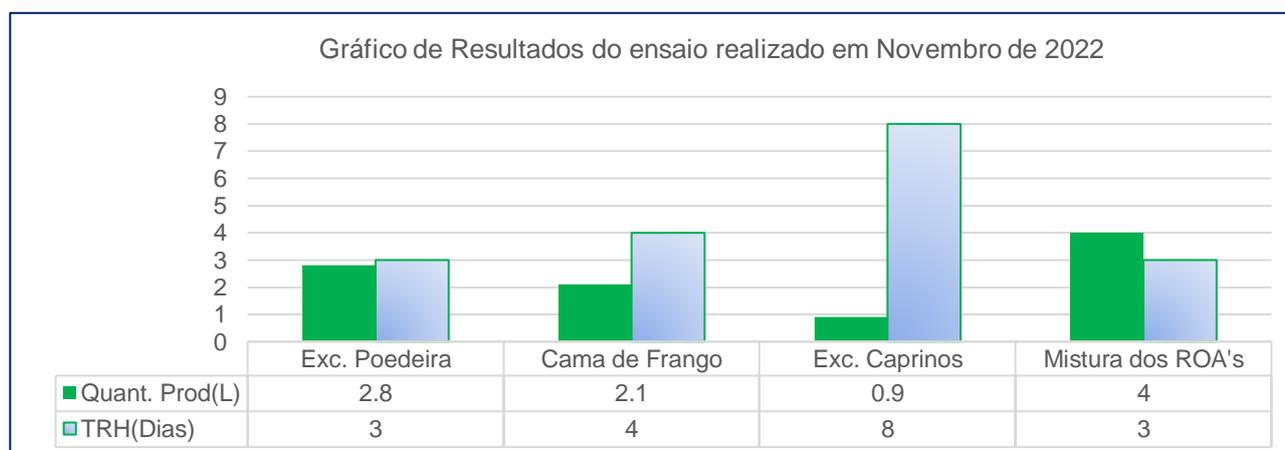
O Gráfico ii ilustra os resultados do ensaio realizado em Outubro, apresentando a quantidade de produção de biogás em função do tempo de retenção hidráulica. Notando-se baixa produção nos excrementos de Caprinos, ao passo que os demais excrementos produziram maior quantidade em menos tempo, e a mistura destes resíduos produziram maior quantidade de biogás.



**Gráfico ii:** Resultados do ensaio realizado em Outubro de 2022

### 5.1.3 Produção de Biogás por substrato no Mês de Novembro

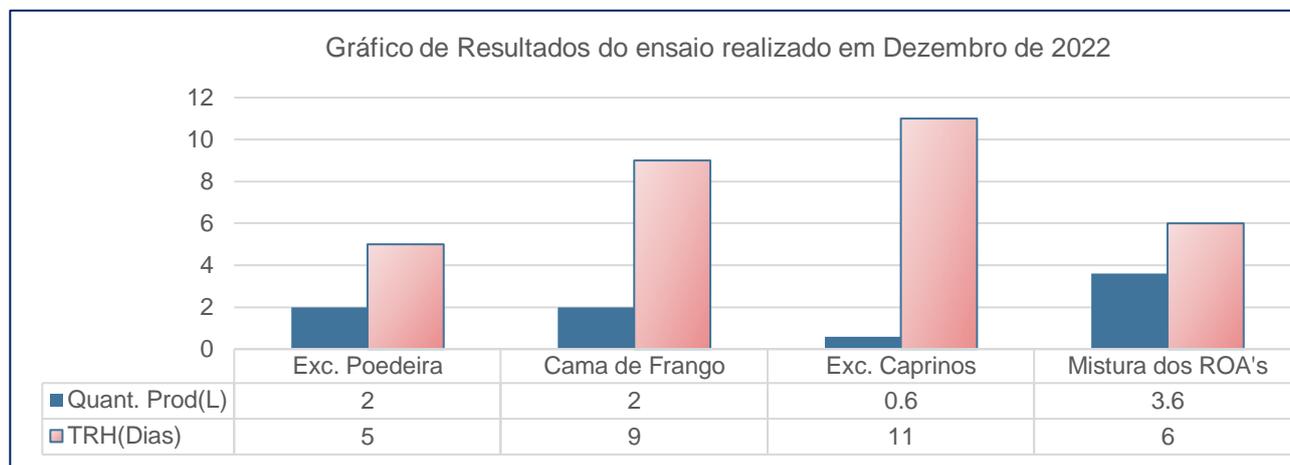
O gráfico iii ilustra os resultados do ensaio realizado no mês de Novembro de 2022, mostrando a quantidade de produção de biogás em função do tempo de retenção hidráulica. Nota-se que os resíduos de poedeiras produziram mais e em menos tempo em relação a cama de frango e excrementos de caprinos, tendo se registado maior quantidade de biogás na mistura destes resíduos.



**Gráfico iii:** Resultados do ensaio realizado em Novembro de 2022

### 5.1.4 Produção de Biogás por substrato no Mês de Dezembro

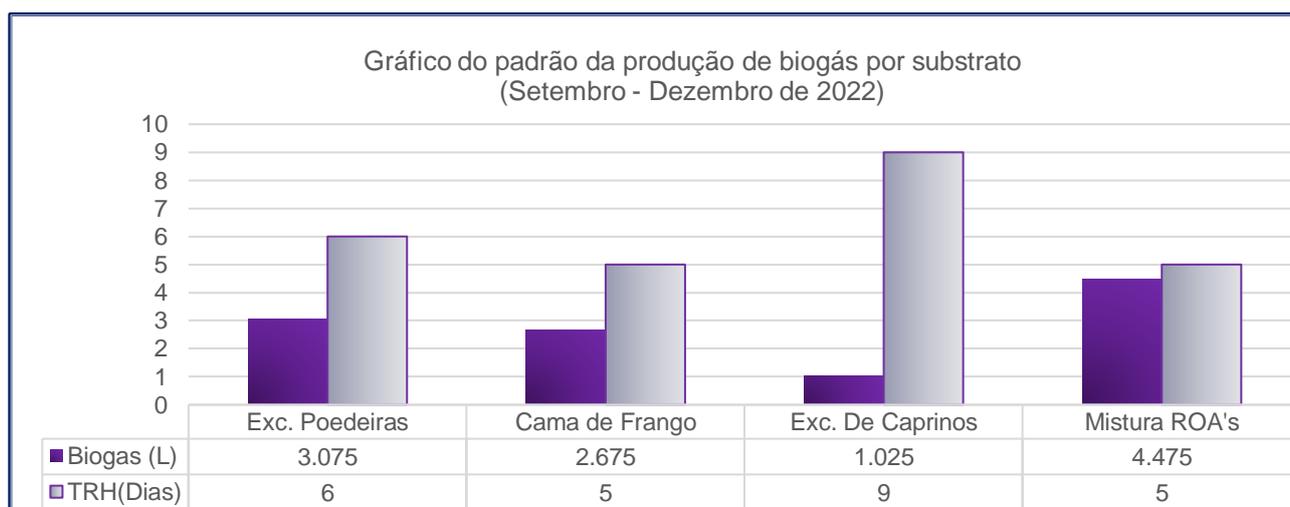
O Gráfico ii ilustra os resultados do ensaio realizado em Dezembro de 2022, mostrando a quantidade de biogás produzida em função do tempo de retenção hidráulica. Nota-se nestes resultados uma baixa produção de biogás para os excrementos de Caprinos, porém os demais excrementos produziram maior quantidade em menos tempo.



**Gráfico iv:** Resultados do ensaio realizado em Dezembro de 2022

### 5.1.5 Padrão da Produção de Biogás por Substrato

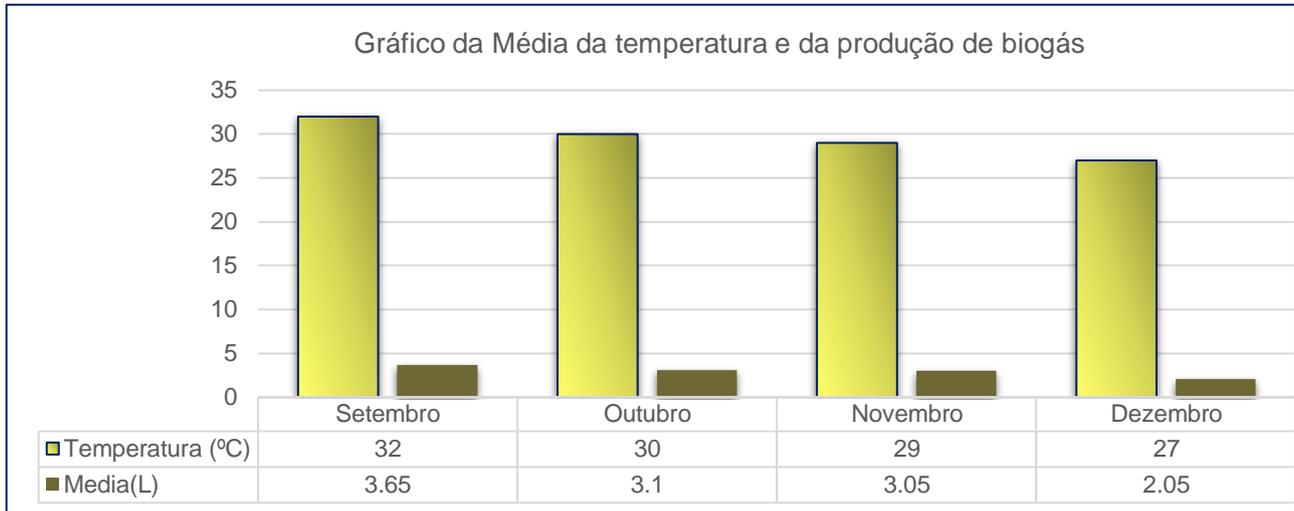
O gráfico v, apresenta a média da produção de biogás por substrato em função do TRH nos 4 meses de avaliação. Nota-se nestes resultados que os excrementos de Caprinos produziram menor quantidade de biogás durante muito tempo em relação aos demais resíduos.



**Gráfico v:** Padrão da produção de biogás por substrato em função do tempo de retenção hidráulica

### 5.1.6 Padrão da produção mensal de biogás

O gráfico vi, apresenta a média mensal da produção de biogás, e da temperatura ambiente durante o período de produção de biogás nos ensaios realizados. Os resultados ilustram a influência da T° na produção de biogás, visto que, quanto maior foi a temperatura maior foi a produção de biogás.



**Gráfico vi:** Média da temperatura e da produção de biogás nos ensaios realizados

## 5.2 Dimensionamento do Volume do Biodigestor

A Granja da FAVET-UEM, no período de realização do estudo possuía uma quantidade de 380 poedeiras, 15 caprinos, e quanto aos frangos de corte, criados 2000 pintos por ciclo de 30-32 dias, usando cama a base de casca de arroz.

Para realizar o dimensionamento do biodigestor foram adoptados parâmetros do projecto estimando-se que será tratado a mistura dos resíduos por estes terem mostrado melhores resultados durante a avaliação experimental. O gás gerado na decomposição destes resíduos será utilizado no aquecimento dos pintos e em geradores para produção de electricidade para uso na Granja.

De acordo com Lima *et al.* (2016), o volume de alimentação diário do biodigestor dependerá do tipo de substrato utilizado e do número de animais existentes. No mesmo contexto, afirma Sarmiento *et al.*, 2015, que é necessário saber a média de produção de esterco referente a cada tipo de animal e a quantidade de água necessária para a preparação da carga do biodigestor, e para o cálculo do volume diário de carga, segundo Junqueira (2014), é necessário se observar a relação esterco: água, e a tabela v apresenta os índices de diluição para os diversos animais.

**Tabela v :** Tabela da relação do volume de carga diária

Animal	Relação esterco: Água
Poedeiras	1:1
Frango	1:1
Caprinos	1:4/1:5

**Fonte:** Junqueira (2014) e Pereira *et al.* (2018)

A tabela vi, apresenta os cálculos da quantidade de resíduos produzidos diariamente pelos animais na granja da FAVET-UEM, e o volume de carga considerando a mistura com água para a preparação do substrato para posterior introdução dentro do biodigestor.

**Tabela vi:** Produção de esterco fresco diário e volume de carga

Animal	Esterco por Animal (kg/dia)	Quantidade de Animais	Total de esterco (kg/dia)	Relação esterco :Água	Volume de água (L)	Volume de carga (dm <sup>3</sup> /dia)	Volume de Carga (m <sup>3</sup> /dia)
	A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = C + E	G = F/ 1000
Poedeiras	0,18	380	68,4	1:1	68,4	136,8	0,1368
Frango	0,14	2000	280	1:1	280	560	0,56
Caprinos	0,5	15	7,5	1:4	30	37,5	0,0375
Total	---	2395	355,9	---	378,4	734,3	0,7343

**Fonte:** Adaptado de Junqueira (2014)

Tem-se então uma carga diária de 0,7343 m<sup>3</sup> de substrato a serem adicionados no biodigestor. Será utilizada a equação 1, que foi apresentada anteriormente, para calcular o volume do biodigestor que precisamos. Entretanto, será considerado um adicional de 10% deste valor, caso haja alguma variação de carga, para que o biodigestor possa suportar.

#### Adicionando os 10%

$$0,7343 \times 10/100 = 0,07343 \text{ m}^3$$

$$0,7343 + 0,07343 = 0,81 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Segundo Araújo (2017), o tempo de retenção hidráulica é o tempo necessário para que ocorra a degradação completa da matéria orgânica dentro do biodigestor. Lutosa, *et al.* (2014) acrescenta que o tempo ideal fica entre 30 - 45 dias. Deste modo, foi adoptado neste trabalho um TRH de 35 dias, e serão ocasionalmente inoculadas fezes de bovino para reactivar o processo, pelo facto de já possuírem naturalmente os microrganismos responsáveis pela metanogénese, como defende Karlsson *et al.* (2014).

Para o cálculo do volume de biodigestor foi utilizada a equação 1, Página 28 onde:

$$VB = VC \times TRH$$

Aplicando a fórmula da equação 1, teremos:

$$VB = \text{Volume do biodigestor (m}^3\text{)?}$$

$$VB = 0,81 \text{ m}^3/\text{dia} \times 35 \text{ dias} = 28,35 \text{ m}^3$$

$$VC = 0,81 \text{ m}^3/\text{dia};$$

O tanque que se deve implantar na granja deve conter um tamanho de **28,35 m<sup>3</sup> ~ 28 m<sup>3</sup>**/ 28 000 Litros.

$$TRH = 35 \text{ dias.}$$

### 5.3 Estimativa da produção total de biogás

A estimativa da produção total de biogás que os resíduos estudados neste trabalho podem produzir diária e mensalmente foi obtida consoante o número de animais existentes na propriedade e a quantidade de biogás que os mesmos produzem, como recomendam Camilo (2017) e Araújo *et al.* (2018). E os cálculos estão sumarizados e apresentados na tabela vii.

**Tabela vii:** Estimativa da produção diária de biogás

Animal	Quantidade	Dejecto (kg/animal/dia)	Biogás (Litros/kg. Esterco)	Total de Biogás (Litros/ dia)	Total de Biogás (m <sup>3</sup> / dia)	Total de Biogás (m <sup>3</sup> / mês)
	A	B	C	D = AxBxC	E = D/1000	F= Ex30
<b>Poedeiras</b>	380	0,18	0,1025	70,11	0,07011	2,103
<b>Frango</b>	2000 (Lote)	0,14	0,892	249,76	0,24976	7,493
<b>Caprinos</b>	15	0,5	0,342	2,565	0,002565	0,076
<b>Total</b>	<b>2395</b>	<b>1,61</b>	<b>2,259</b>	<b>322,44</b>	<b>0,3224</b>	<b>9,672</b>

De acordo com os cálculos demonstrados acima, estima-se que a produção total diária de biogás será de **0,3224 m<sup>3</sup> ~ 322,4 Litros**.

### 5.4 Estimativa da produção de energia eléctrica

Sabe-se que o biogás é usado como combustível em geradores para a produção de electricidade ou em caldeiras para a produção de calor. Segundo Okamura (2013) o valor calorífico do biogás é de aproximadamente 6 kWh/m<sup>3</sup>, neste contexto defende Bioenergy (2017) que, quando usado como combustível em um gerador para a produção de electricidade, 1 m<sup>3</sup> de biogás pode produzir cerca de 2,2 kWh.

Sendo assim, pode-se estimar a quantidade de kWh a se produzir com os substratos em decomposição anteriormente calculados. Deste modo teremos:

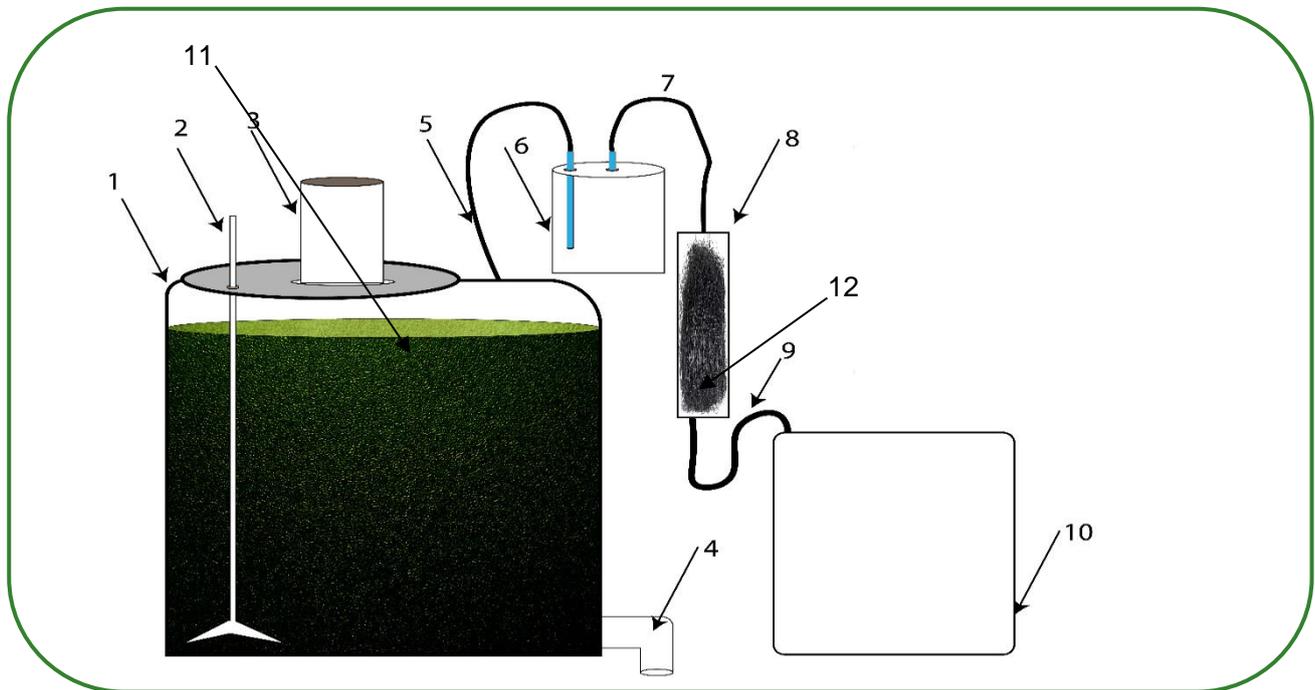
1 m<sup>3</sup> de biogás ----- 2,2 kWh

0,3224 m<sup>3</sup>/dia ----- X

$$X = \frac{0,322 \text{ m}^3/\text{dia} \times 2,2 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}} = X = 0,7093 \text{ kWh/dia} \times 30 = 21,279 \text{ kWh/ Mês}$$

### 5.5 Proposta do modelo de biodigestor e seu sistema de filtros

A Figura xvi abaixo representa a proposta do modelo de um biodigestor contínuo e seu sistema de filtros para a Purificação do Biogás, para implantação na Granja da FAVET-UEM.



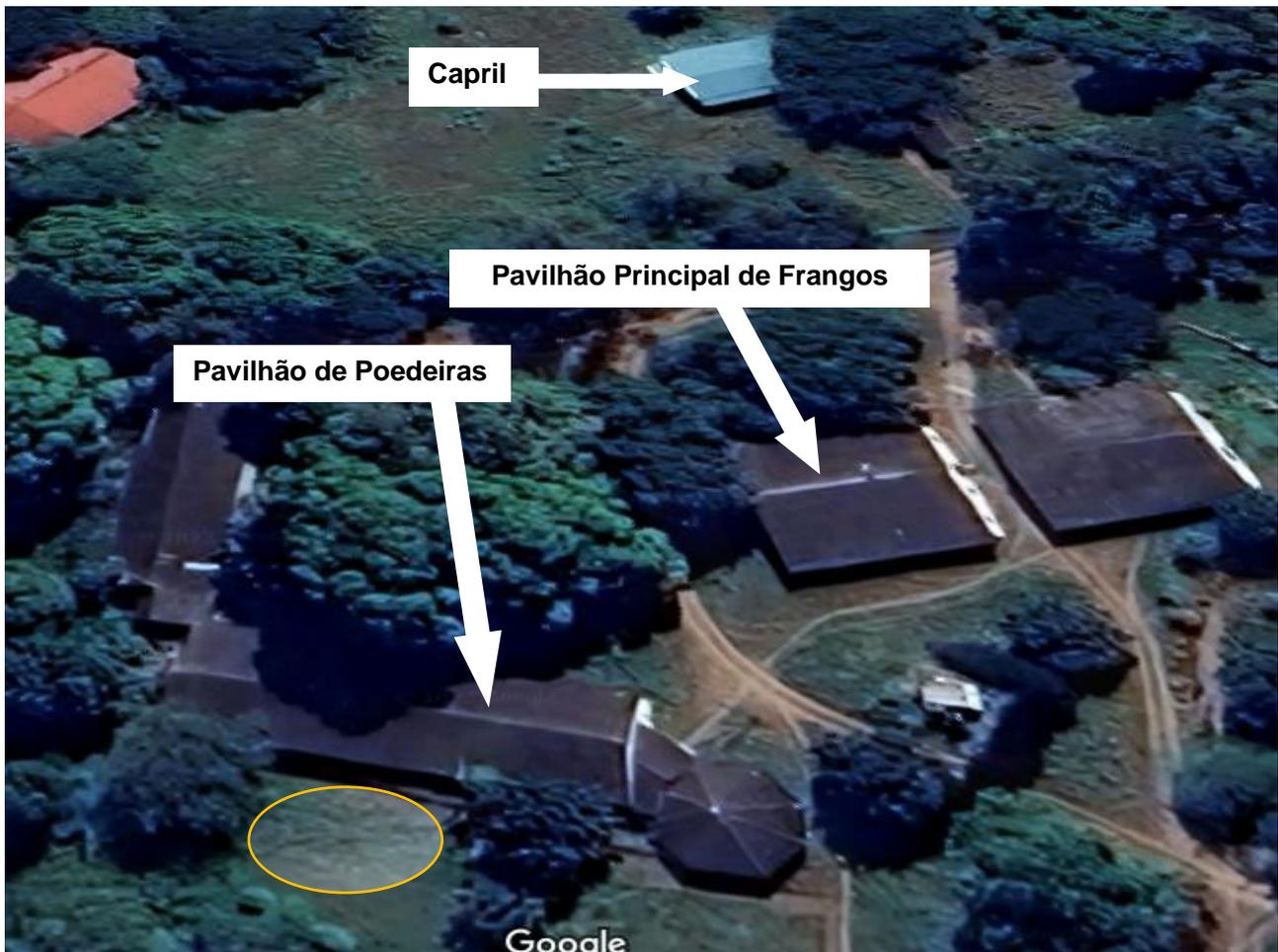
**Figura xvi:** Proposta do modelo do Biodigestor e seu sistema de purificação de biogás (filtros)

**Fonte:** Autor (2023)

#### Legenda:

1. Biodigestor;
2. Agitador;
3. Tubo de entrada do substrato;
4. Tudo de saída do Biofertilizante;
5. Condutor do Biogás;
6. Filtro 1 – Hidróxido de sódio e água;
7. Condutor de gás (Metano e sulfídrico);
8. Filtro 2 – Palha-de-aço;
9. Condutor do Biogás Purificado;
10. Gasômetro (armazenamento do Biocombustível).
11. Espaço de Cabeça (*Head space*);
12. Palha-de-aço.

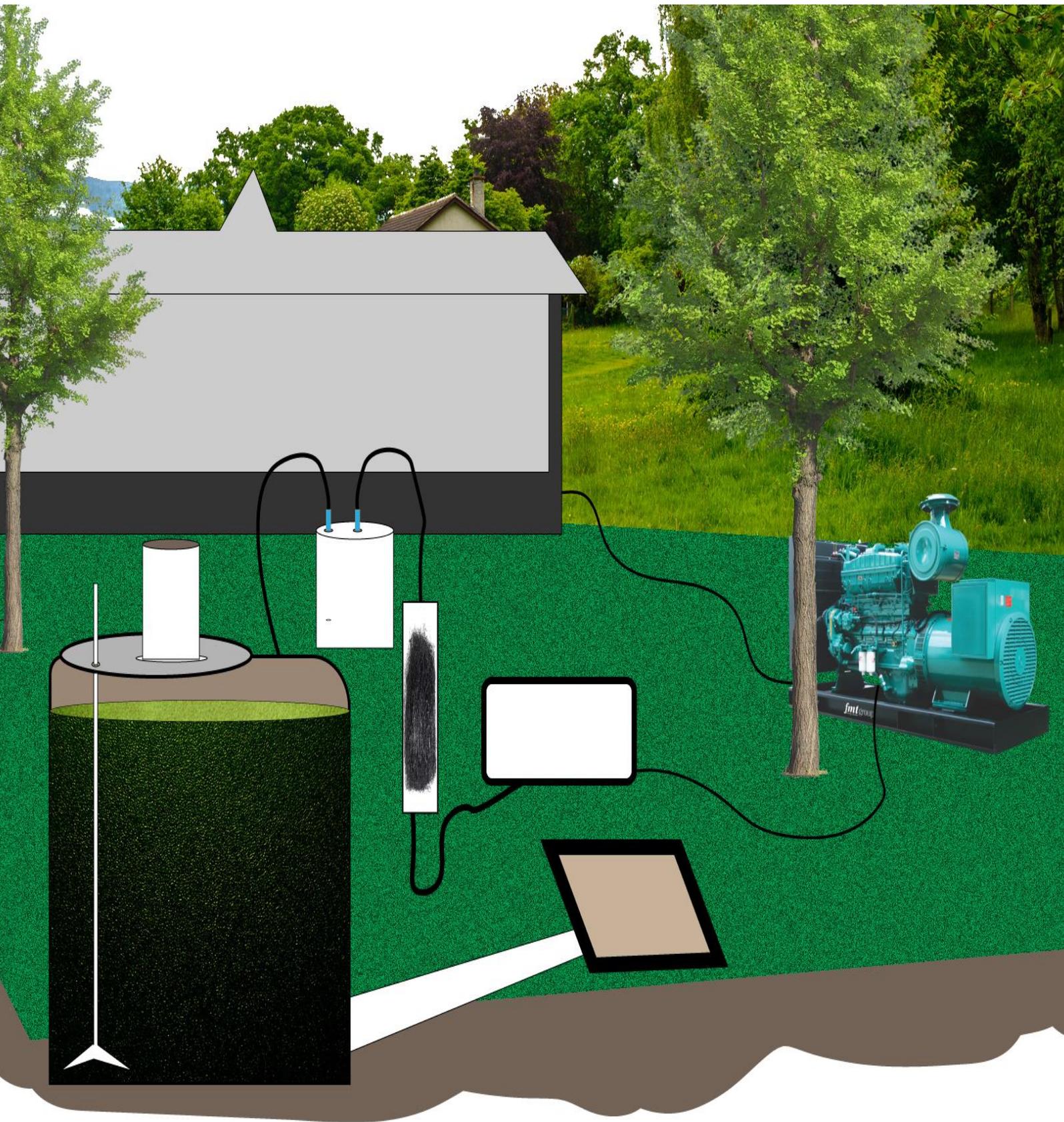
De modo Geral, a proposta é implantar o biodigestor por detrás do pavilhão de poedeiras (assinalado a amarelo na foto), (Fig. xvii).



**Figura xvii:** Vista aérea da granja e o local proposto para instalação do biodigestor

**Fonte:** Google Maps (2023)

A figura xviii abaixo, apresenta o esquema de como poderia estar disposto o biodigestor e seus componentes.



**Figura xviii:** Ilustração da disposição do biodigestor e seus componentes

**Fonte:** Autor (2023)

## 6 DISCUSSÃO

O presente trabalho tinha como finalidade dimensionar um biodigestor para a Granja da Faculdade de Veterinária. Para tal numa primeira fase foram feitos ensaios para avaliar a capacidade de produção destes resíduos em particular; nesta pré-experiência, para uma quantidade de 3 kg, houve diferença na produção de biogás para cada substrato utilizado.

Comparando os substratos isoladamente em todos os meses do experimento, os excrementos de poedeiras e a cama de frango tiveram uma produção maior, uma média de 3,075 L e 2,675 L, respectivamente, e os excrementos de caprinos foram os que menos quantidade de Biogás produziram, tendo-se obtido uma média de 1,025 L, porém, a mistura dos substratos produziu uma quantidade maior, uma média de 4,475 L nas mesmas condições de avaliação.

Estes resultados podem ser comparados com os resultados obtidos por Oliver *et al.* (2008) no seu trabalho, que utilizou uma quantidade de 100 kg de esterco de poedeiras, cama de frango e caprinos, tendo obtido resultados de 10 m<sup>3</sup>, 9 m<sup>3</sup> e 4 m<sup>3</sup>, respectivamente, e no trabalho de Baungratz *et al.* (2013), 1 kg dos mesmos resíduos, resultou respectivamente em 0,1; 0,09 e 0,06 m<sup>3</sup> de biogás, mostrando claramente diferença na produção de biogás nos excrementos de poedeira em relação aos apresentados neste trabalho e no de Oliver *et al.* (2008).

Segundo MIDAU (2012), estas diferenças de produção podem estar relacionadas com factores como: o pré-tratamento; a temperatura; o tamanho das partículas; o tempo de retenção hidráulica e a relação carbono/nitrogénio dos excrementos. Avaliando o factor pré-tratamento, todos resíduos passaram pelo processo, como forma de reduzir o tamanho das partículas antes da introdução destes no biodigestor, por forma a facilitar a biodegradabilidade pelas bactérias, como defende Gonçalves (2018) que partículas menores possuem uma maior área de contacto com os microrganismos, aumentando a eficiência de produção de biogás.

Durante os meses de avaliação também se verificou que o tempo de retenção hidráulica (TRH) dos ensaios apresentou variações nos diferentes substratos, esta variação pode ter sido influenciada pela temperatura e também pela granulometria dos resíduos. Visto que, os resíduos de caprinos apresentaram um tempo de retenção hidráulica maior (de 9 dias), e baixa produção, em comparação à cama de frango (TRH de 5 dias) e excrementos de poedeiras (TRH de 6 dias), estas diferenças podem estar relacionadas com o tamanho das partículas, visto que, resíduos que apresentam partículas maiores (Excrementos de caprinos), apresentam um tempo de retenção Hidráulica maior em relação aos resíduos que apresentam partículas menores (excrementos de poedeiras e cama de frango), defendem Santos *et al.* (2023) e Karlsson *et al.* (2014).

Um outro factor que pode estar relacionado ao TRH dos resíduos estudados neste trabalho, é a temperatura. Freitas (2011), acredita que temperaturas baixas podem reduzir a produção de biogás devido a inibições na actividade microbiana. No mesmo contexto, Heberle (2013), sustenta que, em temperaturas mais altas, a digestão microbiana ocorre com maior velocidade, resultando em maior eficiência do processo.

Notou-se também uma relação entre a temperatura ambiente e a produção de Biogás nos ensaios realizados, sendo que os meses de Setembro; Outubro; Novembro e Dezembro a média da produção foi respectivamente de, 3,65 L (32°C), 3,1 L (30°C), 3,05 L (29°C) e 2,05 (27°C). Esta relação é sustentada por Gonçalves (2018) defendendo que as faixas de temperatura óptimas que favorecem a biodigestão anaeróbica variam de 20-40°C, na faixa mesofílica, e 40-60°C, na faixa termofílica, tendo o presente experimento operado à temperatura mesofílica que variou de 27–32°C. Este factor é demonstrado por Ricordi *et al.* (2008) e Silveira *et al.* (2014), que usaram a cama de frango em diferentes períodos, o primeiro realizou-se a temperaturas baixas (abaixo de 24°C) e com uma produção de biogás de 0,0025 m<sup>3</sup>/kg, e o segundo, realizou a temperaturas mais elevadas (acima de 30°C) e obteve uma produção de biogás de 0,032 m<sup>3</sup>/kg.

A mistura dos resíduos, co-digestão de vários substratos, usada no experimento teve maior produção de biogás. Karlsson *et al.* (2014) explica que a co-digestão de diferentes materiais apresenta melhor resultado, pois gera maior quantidade de biogás do que se for adicionado ao biodigestor apenas um tipo de substrato. E nos resultados deste trabalho, quando misturados os três resíduos (cama de frango, excrementos de caprinos e de poedeiras) obtiveram uma produção maior em todos meses.

E a explicação para este resultado, é que os substratos quando são misturados, têm maiores probabilidades de conter todos os componentes importantes para o crescimento microbiano. A mistura pode, por exemplo, proporcionar melhor relação C/N. Além disso, se o substrato é complexo promove, o crescimento de vários tipos de microrganismos no biodigestor, acrescenta Khanal *et al.* (2019) explicando que, o excesso de carbono, como no caso dos resíduos vegetais, resulta na acumulação de CO<sub>2</sub> no biogás, enquanto matérias-primas ricas em nitrogénio, como urina, resíduos dos matadouros e esterco de suínos e aves, podem levar ao acúmulo de amónia no biodigestor e as relações C/N adequadas no digestor podem ser alcançadas pela co-digestão destas matérias-primas.

A biodigestão anaeróbica utilizando os biodigestores é de grande importância, possuindo diversas vantagens, pois para além de minimizar os problemas de poluição ambiental, também oferece os subprodutos da biodigestão, o biogás e o biofertilizante, de grande importância para o sector agrário. Além disso, promove benefícios sociais e económicos significativos; como defende Amaral *et al.* (2019), o biogás gera economia de GLP, óleo *diesel* e lenha, além da redução na demanda da produção e distribuição de energia eléctrica.

Com os resíduos presentes na Granja e objecto de estudo neste trabalho, foi possível dimensionar um biodigestor de 28 m<sup>3</sup> de volume que poderá produzir um total de 0,3224 m<sup>3</sup> ~ 322,4 Litros de biogás diariamente, o tipo de biodigestor proposto é o contínuo, isto porque a quantidade de resíduos produzida regularmente permite a alimentação contínua do mesmo.

A Granja da FAVET-UEM, se beneficiará desta tecnologia sustentável, pelo facto de ela permitir o máximo aproveitamento dos recursos locais, a poupança com a compra de energia, além da redução dos impactos da poluição incluindo a produção de gases de efeito de estufa.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que:

- Os excrementos (principalmente os excrementos de Poedeiras e a cama de Frango) disponíveis no local de estudo, tornam viável a produção sustentável de biogás;
- A temperatura e o tipo de substrato influenciaram de forma directa na produção de biogás nos protótipos experimentados, tendo-se notado variações quantitativas entre os diferentes substratos em todos os meses de avaliação, e os substratos em si, também tiveram variações durante o período de avaliação;
- Com os resíduos disponíveis na granja da FAVET-UEM, tornou possível o dimensionamento de um biodigestor de 28 m<sup>3</sup>, capaz de produzir uma quantidade de 0,3224 m<sup>3</sup> ~ 322,4 Litros de biogás diariamente, ao mesmo tempo que o biofertilizante será canalizado para as machambas e os bancos forrageiros;
- A instalação de um biodigestor na Granja da Faculdade de Veterinária, trará vantagens diversas, pois serão reaproveitados os resíduos produzidos localmente, para benefício interno, reduzindo assim os riscos de proliferação de agentes e vectores de doenças, salvaguardando o meio ambiente pela redução da poluição atmosférica.

## 8 RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho permite deixar as seguintes recomendações:

- Pelos estudos globalmente feitos é um facto que a produção do biogás traz reduções importantes nos gastos com a aquisição de energia eléctrica na rede convencional de fornecimento, entretanto é importante que a Faculdade de Veterinária faça uma avaliação quantitativa dos ganhos com o projecto;
- Que a Faculdade de Veterinária aposte na instalação do biodigestor pelos benefícios a si associados, começando por efectuar um estudo projectivo do investimento necessário;
- Para todos os cursos leccionados na Faculdade de Veterinária, é importante incluir na formação aspectos relacionados ao tratamento e reaproveitamento dos resíduos agro-pecuários para aumentar a sensibilidade a protecção ambiental e a um consumo racional.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Alves, A. M. 2017.** *Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico.* Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil : s.n., 2017.
2. **Alves, Marceluci de Oliveira, et al. 2014.** *Biodigestores – fonte renovável de energia.* Unicesumar - Centro Universitário de Maringá. Maringá - Paraná : s.n., 2014.
3. **Amaral, A.C, et al. 2019.** *Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e cstr a partir de dejetos suíno.* Florianópolis Hotel Oceania Park Hotel : s.n., 2019.
4. **Anis, Cintia Ferreira, et al. 2020.** Viabilidade econômica para implantação de um biodigestor: uma alternativa para o pequeno produtor rural suinocultor. Dezembro de 2020.
5. **Araújo, Alyna R. Antunes de, et al. 2018.** Dimensionamento de um biodigestor rural para o assentamento Trangola. *V Congresso Brasileiro dos Engenheiros sem fronteiras.* 2018.
6. **Araújo, Ana Pula Caixeta. 2017.** *Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico.* Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia : s.n., 2017. Monografia .
7. **Baungratz, Karina Lais, et al. 2013.** *Produção de biogás a partir de biomassa residual.* Universidade Federal do Paraná . Campus Palotina : Acta Iguazu, Cascavel, 2013.
8. **Bezerra, Keyla Luiza Pereira, et al. 2014.** Uso de biodigestores na suinocultura. Setembro de 2014, Vol. V.11, n. 05, pp. p. 3714– 3722.
9. **Bioenergy. 2017.** Bogas business model. *Mercados Renovables S.R.L.* [Online] Maio de 2017. <http://mercadosrenovables.com.ar/pages/view/5/bioenergy>.
10. **Brasil, Nilza Martins de Queiroz Xavier, Neto, Alberto Bentes Brasil e Ferreira, Cícero Paulo. 2019.** *Tecnologia dos Biodigestores: Experiências de Pesquisa e Extensão no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará.* 1ª ed. s.l. : Epgraf, 2019.
11. **Camilo, Nyara Chandoha. 2017.** *Suinocultura e o potencial energético do biogás no município de São Miguel do Iguçu - PR.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira. MEDIANEIRA : s.n., 2017. p. 80, Dissertação.
12. **Canever, Victor Bruno. 2017.** *Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo.* Universidade Estadual do Oeste do Paraná. PARANÁ - BRASIL : s.n., 2017.
13. **Castro, Marina. 2016.** *Sistemas de produção animal em regiões de montanha em Portugal.* Instituto Politécnico. Bragança : s.n., 2016. pp. 127-147.

14. **Coelho, Pedro. 2012.** engquimicasantosp. *engquimicasantosp blog de engenharia Química* . [Online] 27 de Julho de 2012. [Citado em: 11 de 07 de 2023.] <https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>.
15. **Cremones, Paulo André, et al. 2013.** Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. Março de 2013, p. 15.
16. **Deganutti, Roberto, et al. 2013.** *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campinas : s.n., 01 de 06 de 2013.
17. **Filho, Antônio Paulo Pestana e Souza, Ivan Fernandes de. 2019.** Energia renovável a partir de um biodigestor indiano. *Fatec Botucatu*. 2019.
18. **Freitas, Monique Beatriz de. 2011.** *Gestão da produção de energia por biodigestores na Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos e seus integrados*. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia. Santa Catarina : s.n., 2011. TCC (graduação).
19. **Frigo, Késia Damaris de Azevedo, et al. 2015.** Biodigestores: seus modelos e aplicações. *Acta Iguazu, Cascavel*. 2015, Vol. V.4, n.1, pp. 57 - 65.
20. **Gonçalves, Aryelton Dias, et al. 2018.** *Dimensionamento e análise da viabilidade técnica e econômica de um biodigestor tubular*. Instituto Federal de Minas Gerais. Minas Gerais : s.n., 2018.
21. **Gonçalves, Mariana Nalesso. 2018.** *Os efeitos da temperatura na produção de biogás em biodigestores*. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia - MG : s.n., 2018. Dissertação.
22. **González, Thiago. 2015.** *Purificação de biogás e identificação de equipamentos para geração de energia elétrica, térmica e veicular*. Núcleo de Projetos e Tecnologias, Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás-ER. Rio de Janeiro : s.n., 2015. Apresentação.
23. **Guilherme, A. P. 2020.** Biodigestão anaeróbia. *Portal do Biogas*. [Online] PORTAL DO BIOGÁS/ GRUPO EMA, 2020. [Citado em: 12 de 06 de 2022.] <https://www.portaldobiogas.com/wp-content/uploads/2018/02/Biodigestor-no-sitio-1.jpg>.
24. **Gussul, Milton Graciete Manuel de. 2018.** *Avaliação do comportamento térmico de pavilhões de produção de frangos em Moçambique*. Departamento de engenharia rura, universidade de Évora - escola de ciências e tecnologias. Évora : s.n., 2018. p. 89, Dissertação - Mestrado em Engenharia Agronômica.

25. **Heberle, Alan Nelson Arenhart. 2013.** *Biogas gerado a partir de lodo de estacao de tratamento de efluentes suplementado com oleo vegetal residual.* Centro universitario univates . Lajeado : s.n., 2013. p. 61, Trabalho de Conclusão de Curso II.
26. **Hendrickx, S.C.J., Maute, F.R. e Cunhete, D. 2015.** Caracterização dos sistemas de produção e comercialização das carnes vermelhas no sector familiar nos corredores de Maputo e Limpopo em Moçambique: Resultados do Estudo de Base. 2015.
27. **Ibelli, Guilherme. 2021.** Portal do Agronegocio. [Online] Scot consultaria, 01 de 03 de 2021. [Citado em: 02 de 06 de 2023.] <https://www.portaldoagronegocio.com.br/energias-renovaveis/outros/artigos/biodigestores-sustentabilidade-e-economia>.
28. **Jorge, L., H., A. e Omena, E. 2012.** *Biodigestor. Dossiê Técnico.* SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões : s.n., 2012.
29. **Júnior, Eutrópio Luiz Brandão, et al. 2018.** Queima Inadequada de Resíduos Sólidos Domésticos, Principais Gases Tóxicos e Manifestações Clínicas: Uma Revisão de Literatura. *id online - revista multidisciplae e psicologia.* 2018.
30. **Junior, João Carlos Sarri. 2020.** *Utilização da cama de frango de aviários para geração de energia elétrica através do biogás.* Universidade Federal. Palmas - TO : s.n., 2020. Dissertação .
31. **Junqueira, Sérgio Luís Coelho Diniz. 2014.** Geração de energia através de biogás proveniente de esterco. Agosto de 2014, p. 55.
32. **Karlsson, Tommy, et al. 2014.** *Manual básico de biogás.* Lajeado : Univates, 2014.
33. **Khanal, Samir Kumar, Nindhia, Tjokorda Gde Tirta e Nitayavardhana, Saoharit. 2019.** Chapter 11 - Biogas From Wastes: Processes and Applications. [A. do livro] Mohammad J. Taherzadeh, et al. *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches.* s.l. : Elsevier, 2019.
34. **Kunz, Airton, Steinmetz, Ricardo Luis Radis e Amara, André Cestonaro do. 2019.** *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.* 1ª edição. s.l. : Concórdia: Sbera:, 2019.
35. **Lima, Fernanda Siqueira, Neto, José Mariano da Silva e Silva, José Nilton. 2016.** Dimensionamento de planta de produção de biogás utilizando biodigestor do tipo sertanejo. 2016.
36. **Lutosa, Gleidson Neres e Medeiros, Ícaro Hendrix Borges de. 2014.** *Proposta de um biodigestor anaeróbio modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos.* Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia. Brasília : s.n., 2014. p. 72, Monografia.

37. **Macharia, Francis Njoroge. 2015.** Biogas Production for Domestic Use. 2015.
38. **Mariana, Frossard Gambati, et al. 2022.** Biodigestor anaeróbio: alternativa para tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Abril de 2022.
39. **Metz, Hugo Leonardo. 2013.** *Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos.* Universidade Federal de Lavras. Lavras -MG : s.n., 2013. Monografia.
40. **MIDAU, A. 2012.** *A laboratory investigation of the effects of water content and waste.* University of the Witwatersr and Johannesburg. Faculty of Engineering and the Built Environment : s.n., 2012.
41. **Mkt. 2020.** Tipos de biodigestor: entenda o funcionamento e qual é o melhor para você. *emasjr.com.br*. [Online] 16 de Março de 2020. <https://emasjr.com.br/blog/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>.
42. **Okamura, Layssa Aline. 2013.** *Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2013. p. 110, Dissertação (Mestrado).
43. **Oliveira, Patrícia Perondi Anhão. 2015.** Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física.* São Carlos - SP : Embrapa Pecuária Sudeste, 2015, pp. 623-634.
44. **Oliver, A. de P.M, Souza Neto, A de A. e Quadros, D. G. de., 2008.** Manual de Treinamento em Biodigestão. Fevereiro de 2008.
45. **Pereira, Lucimar costa, et al. 2018.** Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. *Revista Brasileira de energias renováveis.* 2018.
46. **Queiroz, Escola Superior de Agricultura Luiz de. 2013.** LEB 244 – Recursos Energéticos e Ambiente. *Biodigestores.* 2013.
47. **Ricordi, Vanessa Gentil, Terres, Laerte Reis e Martins, Jorge Luiz. 2008.** *Influencia do volume de água sobre o potencial hidrogeniônico na digestão anaeróbia da cama de frangos de corte.* Universidade Federal de Pelotas. 2008. Congresso de Iniciação Científica.
48. **Santos, João Guilherme Pereira Vicente e Oliveira, Andressa de. 2023.** *Produção de gás metano através da biodigestão de resíduos domésticos.* 2023.
49. **Sarmiento, Zito Rigo Sarmiento, et al. 2015.** Aproveitamento do potencial energético da cama de frango para uso na atividade avícola. *Xi congresso nacional de excelência em gestão.* 2015. Área temática: Gestão Ambiental & Sustentabilidade.

50. **Schmidt, Verônica. 2018.** *Gestão Ambiental na Produção Animal - Resíduos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil : s.n., 14 de Março de 2018.
51. **Silveira, Mariane Abreu, et al. 2014.** *Produção de biogás em biodigestores de tamanho reduzido abastecido com cama-de-aviário*. Maranhão : Acta Tecnológica, 2014. n. 2.
52. **Souza, Marcos Venícios Novaes de e Kunz, Airton. 2012.** *Dispositivo Indicador de Troca de Filtro para Biogás (Embrapa Biogás TF-01.)*. 20 de 04 de 2012.
53. **Steinmetz, Ricardo. 2018.** *Os modelos de biodigestores e bases para seu dimensionamento*. Brasil : embrapa: Suínos e Aves, 2018.
54. **Torres, Aline, Pedrosa, João Felipe e Moura, Johnson Pontes de. 2013.** Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. 04 de 06 de 2013.
55. **Tripathi, Nikhil e Bansal, Gaurav Chawla & Tarang. 2013.** Upgradation Of Biogas Using Combined Method Of Alkaline Water Scrubbing And Adsorption Through Carbon Molecular Sieve. *International Conference on Global Scenario in Environment and Energy*. 14-16 de Março de 2013.

## ANEXOS

## ANEXO 1: EDIFÍCIO PRINCIPAL DA FACULDADE DE VETERINÁRIA - UEM



A1. Figura ilustrando a Vista Frontal do Edifício Principal da Faculdade de Veterinária - UEM

## ANEXO 2: ENTRADA PRINCIPAL DA GRANJA DA FAVET-UEM



A2. Figura referente entrada Principal da Granja da Faculdade de Veterinária - UEM

### ANEXO 3: LOCAIS DE RECOLHA DA MATÉRIA-PRIMA



#### ANEXO 4: LOCAL DE PROCESSAMENTO DO EXPERIMENTO

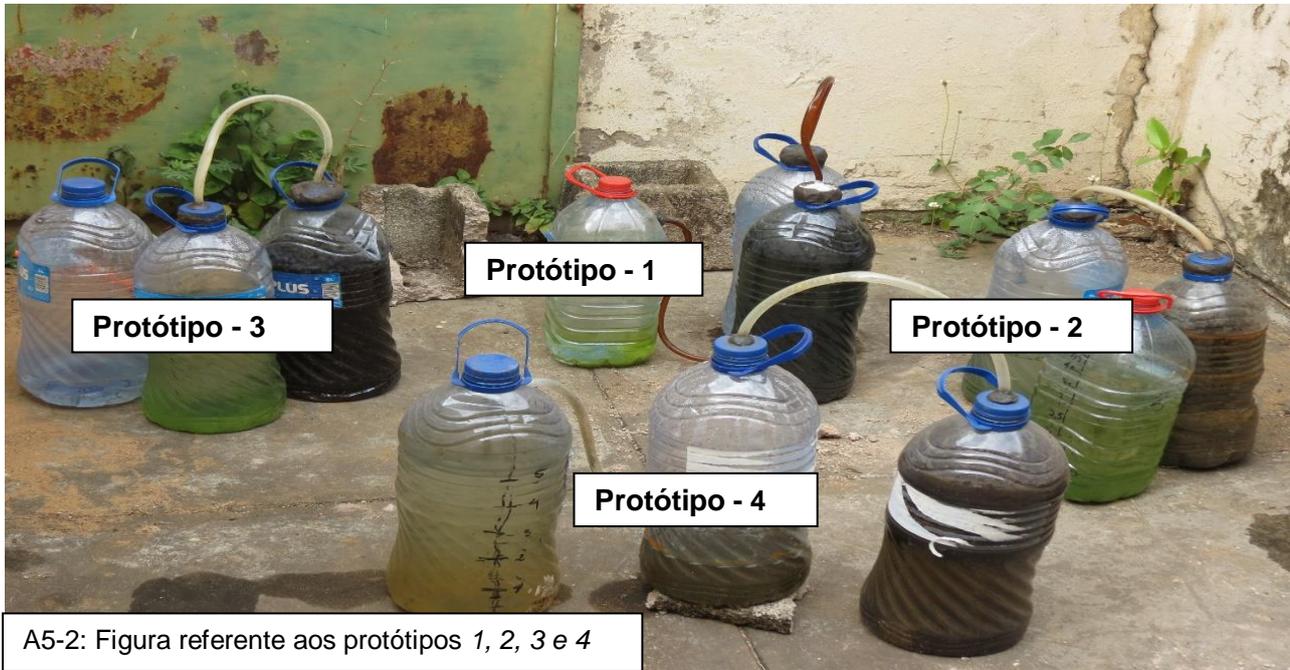


A4: Figura referente ao local da montagem dos ensaios e processamento do experimento

#### ANEXO 5: EXPERIÊNCIAS REALIZADAS



A5-1: Figura referente a Preparação e Montagem das Garrafas para Ensaio



## ANEXO 6: ALIMENTAÇÃO DO MINI-BIODIGESTOR



A6: Figura referente á alimentação do Mini-Biodigestor