

# **ESCOLA DE EQUITACÃO DO EXÉRCITO**

**1º TEN PMERJ THOMAZ NELSON WOOD CONRADO**

**POSSIBILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO BIOGÁS COMO ALTERNATIVA  
ENERGÉTICA EM UNIDADES MILITARES HIPOMÓVEIS DAS PMs E DO  
EXÉRCITO BRASILEIRO.**

**Rio de Janeiro**

**2020**

1° TEN PMERJ THOMAZ NELSON WOOD CONRADO

**POSSIBILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO BIOGÁS COMO ALTERNATIVA  
ENERGÉTICA EM UNIDADES MILITARES HIPOMÓVEIS DAS PMs E DO  
EXÉRCITO BRASILEIRO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Escola de  
Equitação do Exército como requisito parcial para a  
obtenção de título de pós-graduado em Equitação  
Acadêmica.

Orientador: 1° TEN CAV CALVIN TOSTA MAZZONI  
CAMPOS

**Rio de Janeiro**

**2020**

**THOMAZ NELSON WOOD CONRADO**

**POSSIBILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO BIOGÁS COMO ALTERNATIVA  
ENERGÉTICA EM UNIDADES MILITARES HIPOMÓVEIS DAS PMs E DO  
EXÉRCITO BRASILEIRO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Escola de  
Equitação do Exército como requisito parcial para a  
obtenção de título de pós-graduado em Equitação  
Acadêmica.

**COMISSÃO AVALIADORA**

**CALVIN TOSTA MAZZONI CAMPOS – 1º Ten Cav**

Orientador

---

Avaliador

---

Avaliador

**Rio de Janeiro**

**2020**

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

(Josué 1:9)

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida e ter me dado forças tanto para a realização desta obra bem como para a conclusão do Curso de Instrutor de Equitação;

A minha esposa Mariana Conrado pela paciência, amor e dedicação ao nosso casamento em virtude das dificuldades que encaramos juntos nesse ano de Escola, não será esquecido;

Ao meu filho Giovani Conrado pela compreensão às horas que deixei de estar ao seu lado nesses primeiros meses de vida para me dedicar a este projeto e Curso;

Aos meus pais Pedro Conrado e Soraya Conrado por sempre acreditarem em mim desde a infância, época do saudoso Colégio Militar até as batalhas encaradas agora em vida adulta;

Aos colegas de turno pela camaradagem e amizade, que essas não se encerrem no findar de novembro;

Ao meu orientador Calvin Tosta Mazzoni Campos, centauro 350, pelo apoio e pelas cobranças, pois sem elas esta obra não ficaria a altura de tal militar;

Aos professores e a todos os colaboradores (pessoas e instituições), principalmente os integrantes do LADEq, que colocaram alguns tijolos nessa sólida e grande casa que construimos ao longo do ano. Todos tiveram seu grau de importância para que a missão fosse cumprida com êxito. Força e Honra! .

## RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de apresentar, aos gestores públicos responsáveis direta ou indiretamente por unidades hipomóveis das Polícias Militares e do Exército Brasileiro, a possibilidade de reduzir custos de uma maneira geral, fazendo um uso correto dos dejetos dos animais que é a sua principal ferramenta de trabalho, o cavalo. Para isso é demonstrado aspectos técnicos e econômicos da produção de energia elétrica através do Biogás, gerado pelos biodigestores, que se utilizam do esterco em um tratamento anaeróbico que resulta nessa transformação. Na parte técnica o trabalho foca na destinação correta da matéria orgânica (esterco) em prol do meio ambiente, na escolha mais adequada de biodigestores para a produção do biogás em um ambiente urbano e as etapas dessa transformação. Já no aspecto econômico estudou-se a viabilidade dessa fonte renovável de energia ser empregada nas unidades de cavalaria tendo por base a quantidade de dejetos/mês produzidas por elas. Bem como na possibilidade monetária atribuída ao biofertilizante e crédito de carbono, sendo esses produtos secundários desse processo de biodigestão. No que tange a meio ambiente analisaremos a quantidade de gases causadores do efeito estufa que deixarão de ser jogados na atmosfera terrestre, colocando o processo no nicho de fontes de energia limpa. A metodologia usada foi a de pesquisas exploratórias e descritivas, baseando-se em pesquisas de livros e artigos publicados, para facilitar a compreensão no estudo e desenvolvimento deste trabalho.

**Palavras-Chaves:** Biogás, Biodigestor, Biofertilizante, Crédito de Carbono e Geração de Energia.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to present, to public managers directly or indirectly responsible for military police units and the Brazilian Army, the possibility of reducing costs in general, making the correct use of animal waste, which is their main tool the horse. For this, technical and economic aspects of the production of electric energy through Biogas, generated by biodigestors, which use manure in an anaerobic treatment that results in this transformation, are demonstrated. In the technical part, the work focuses on the correct destination of organic matter (manure) in favor of the environment, on the most appropriate choice of biodigestors for the production of biogas in an urban environment and the stages of this transformation. In the economic aspect, the feasibility of this renewable energy source being used in cavalry units was studied, based on the amount of manure / month produced by them. As well as in the monetary possibility attributed to the biofertilizer and carbon credit, these products being secondary to this process of biodigestion. Regarding the environment, we will analyze the amount of greenhouse gases that will no longer be released into the Earth's atmosphere, placing the process in the niche of clean energy sources. The methodology used was exploratory and descriptive research based on research published books and articles, to facilitate understanding in the study and development of this work.

**Keywords:** Biogas, Biodigester, Biofertilizer, Carbon Credit and Power Generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regimento de Polícia Montada 9 de Julho.....	11
Figura 2 – Regimento de Polícia Montada Cel Enyr Cony dos Santos.....	11
Figura 3 – 2º Regimento de Cavalaria de Guarda - Regimento Andrade Neves.....	12
Figura 4 – Escola de Equitação do Exército – Escola Marechal Ancora.....	12
Figura 5 – Emissão dos gases do efeito estufa no Brasil nos últimos 30 anos.....	14
Figura 6 – Estrumeira do Regimento de Polícia Montada 9 de Julho.....	15
Figura 7 – Estrumeira do Regimento de Polícia Montada Cel Enyr Cony dos Santos.....	15
Figura 8 – Estrumeira do 2º Regimento de Cavalaria de Guarda.....	16
Figura 9 – Estrumeira da Escola de Equitação do Exército.....	16
Figura 10 – Princípio de funcionamento do biodigestor.....	19
Figura 11 – Biodigestor Modelo Indiano.....	22
Figura 12 – Biodigestor Modelo Chinês.....	23
Figura 13 – Biodigestor Modelo Canadense.....	24
Figura 14 – Biodigestor Modelo Batelada.....	25
Figura 15 – Fases da produção do biogás.....	28
Figura 16 – Exemplo de biofertilizante.....	33
Figura 17 – Manejo do biofertilizante em plantação de capim.....	34
Figura 18 – Ciclo do Crédito de Carbono.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem dos gases que compõem o Biogás.....	29
Tabela 2 – Produção de 1 m <sup>3</sup> de Biogás derivado de algumas matérias primas.....	29
Tabela 3 – Equivalência de 1m <sup>3</sup> de biogás para os demais combustíveis de origem fóssil.....	30
Tabela 4 – Estimativa de produção de estrume dos solípedes do RPMont/CECS.....	37
Tabela 5 – Dieta Padrão dos Equinos do RPMont/CECS.....	38
Tabela 6 – Resultado da análise do estrume e capim.....	39
Tabela 7 – Despesa com GLP no ano de 2019 pelo RPMont/CECS.....	40
Tabela 8 – Gasto com a remoção de dejetos equinos em 2019.....	41
Tabela 9 – Gasto com energia elétrica em 2018 do RPMont/CECS.....	41
Tabela 10 – Tempo de Retenção da Matéria Orgânica.....	42
Tabela 11 – Proporção dejetos água.....	43



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UMont – Unidade Montada;

RPMont/CECS – Regimento de Polícia Montada Coronel Enyr Cony dos Santos;

OM – Organizações Militares;

PMERJ – Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro;

CFAP – Centro de Formação e Aperfeiçoamento de Praças;

LADeEq – Laboratório de Análise de Desempenho de Equinos;

GLP – Gás Liquefeito do Petróleo;

CST – Concentração de Sólidos Totais;

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica;

N – Nitrogênio;

O – Oxigênio;

H – Hidrogênio;

K – Potássio;

P – Fósforo;

CH<sub>4</sub> – Gás Metano;

H<sub>2</sub>S – Gás Sulfídrico;

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono;

CH<sub>3</sub>COOH – Ácido Acético;

RCE – Reduções Certificadas de Emissões;

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;

Tco<sub>2e</sub> – Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente;

GNV – Gás Natural Veicular;

UMV – Unidade Médico Veterinária;

SV – Sólidos Voláteis;

RAN – Regimento Andrade Neves;

PME – Plano de Mobilização Energética;

RCE – Reduções Certificadas de Emissões;

MS – Matéria Seca;

ASA – Matéria Seca Parcial;

ASE – Matéria Seca Total;

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	10
<b>1.1 CONTEXTO</b>	10
<b>1.2 DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS E HIPÓTESES PARA SOLUÇÕES</b>	12
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	13
1.3.1 OBJETIVO GERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3.3 JUSTIFICATIVA	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	16
<b>2.1 BIODIGESTOR</b>	16
2.1.1 Conceituação	16
2.1.2 Funcionamento	17
2.1.3 Tipos de Biodigestores	19
2.1.4 Modelos de Biodigestores	20
2.1.4.1 Modelo Indiano	20
2.1.4.2 Modelo Chinês	22
2.1.4.3 Modelo Canadense ou de Fluxo Tubular	24
2.1.4.4 Modelo Batelada	24
<b>2.2 BIOGÁS</b>	26
2.2.1 História do Biogás	26
2.2.2 Formação do Biogás	27
2.2.3 Composição	28
2.2.4 Fatores que Influenciam na Produção do Biogás	30
2.2.5 Purificação e Armazenamento do Biogás	31
<b>2.3 BIOFERTILIZANTE</b>	32
<b>2.4 CRÉDITO DE CARBONO</b>	34
<b>3. METODOLOGIA</b>	355
<b>3.1 Método</b>	355
<b>3.2 Técnica</b>	36
<b>3.3 Procedimentos</b>	36
3.3.1 Pesquisa sobre a produção de estrume do RPMont/CECS	36
3.3.2 Pesquisa sobre a composição do estrume quantificado no item 3.3.1 e composição mineral do capim angola presente no EEC/RPMont	38
3.3.4 Levantamento das despesas do RPMont/CECS amortizáveis com o uso do biogás	40
<b>4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS</b>	42
<b>4.1 DIMENSIONAMENTO</b>	42
<b>5. CONCLUSÃO</b>	45
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	46
<b>ANEXO I</b>	50
<b>ANEXO II</b>	51

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTO

Com o crescimento populacional e a aceleração da atividade econômica em todo o planeta, principalmente após a revolução industrial ocorrida nos séculos XVIII e XIX, a necessidade de consumo de **ENERGIA** explode no mundo todo. Com isso a produção energética com base em **combustíveis fósseis** (petróleo, gás natural, carvão mineral...) chegou a patamares nunca antes alcançados, tendo como consequência a emissão de toneladas de gases causadores do **efeito estufa** (monóxido de carbono, metano, sulfídrico, dentre outros) agravando o **aquecimento global** (elevação da temperatura dos oceanos e da atmosfera terrestre).

Uma alternativa aos combustíveis de origem fóssil são as **fontes renováveis de energia**, que geram a chamada **energia limpa**. Tal alcunha devido às matérias prima que originam tal energia serem encontradas facilmente na natureza, as fontes mais conhecidas são energia solar, que é captada através de painéis fotovoltaicos, energia eólica, oriunda da força do vento captada pelos “cata ventos” e por último a **biomassa**. Esta, que é a razão do nosso estudo, pode ser convertida em energia através das câmaras de fermentação conhecidas como **biodigestores**.

Somados a estas questões temos a correta destinação dos **resíduos sólidos**, que á grosso modo, é tudo aquilo que chamamos de lixo produzido pelo homem ou pela natureza, que possui um reaproveitamento, diferente do **rejeito** que é quando não há mais essa possibilidade. No Brasil a luz da **Lei Federal nº 12.305/2010** também conhecida como **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, que tem por objetivo nortear as responsabilidades dos municípios, estados e união, empresas e pessoas físicas na Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. O tratamento adequado desses resíduos se faz fundamental para a **preservação do meio ambiente**, evitando a poluição de rios, lençol freático e atmosfera, o que também afeta diretamente a **saúde Humana**.

Hoje, o setor agropecuário brasileiro, bem como as pequenas e médias propriedades rurais, utiliza-se dos resíduos sólidos denominados pela legislação de “Agrossilvopastoris” que é a biomassa oriunda dos **dejetos de animais (esterco bovino, suíno, equino, etc)**, culturas da agroindústria (bagaço da cana) e da silvicultura (fertilizantes e insumos) para a geração de energia através da **decomposição dessa matéria orgânica** que gera o **biogás e o biofertilizante** através dos **biodigestores**.

Sabe-se que no Brasil, em diversas instituições nas esferas federal e estadual, existem **Unidades Montadas** (UMon) a exemplo dos **RCG (Regimentos de Cavalaria de Guarda) no Exército Brasileiro** e dos **RPMont (Regimentos de Polícia Montada) nas Polícias Militares**, também conhecidas como unidades **Hipomóveis**, onde o principal ator de sua operacionalidade é o **CAVALO**. Ele se encontra em grande quantidade nessas OM (Organizações Militares) chegando à efetivos de aproximadamente 400 solípedes em uma só unidade. Um dos desafios destes estabelecimentos é o **manejo adequado do resíduo desses equinos** que diariamente se acumula nas estrumeiras, o que levanta a hipótese de reaproveitá-los na geração de energia através dos biodigestores. Segue abaixo ilustrações das estruturas de algumas dessas unidades Hipomóvel:



Figura 01 – Regimento de Polícia Montada 9 de Julho, em São Paulo-SP



Figura 02 – Regimento de Polícia Montada Cel Enyr Cony dos Santos, em Rio de Janeiro-RJ



Figura 03 – 2º Regimento de Cavalaria de Guarda, Regimento Andrade Neves, em Rio de Janeiro-RJ



Figura 04 – Escola de Equitação do Exército, Escola Marechal Ancora, em Rio de Janeiro-RJ

## 1.2 DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS E HIPÓTESES PARA SOLUÇÕES

- I. Diariamente são produzidas toneladas de matéria orgânica pelos solípedes das Unidades Montadas de todo o país, e no RPMont/CECS, localizado na capital Fluminense, não é diferente. Essa biomassa em contato com a atmosfera libera gases causadores do efeito estufa, além de poluir o solo atingindo rios e o lençol freático, o que é prejudicial ao meio ambiente. Esse tipo de OM pode realizar, por conta própria ou por meio de **parcerias**, a **correta destinação destes resíduos** por meio de compostagem e/ou biodigestores;
- II. Assim como qualquer estabelecimento público, essas OM demandam de energia elétrica para toda sua estrutura, bem como gás de cozinha (GLP) para os ranchos (refeitórios) e combustível para suas viaturas (automóveis). Já há algumas décadas



existe tecnologia para a **conversão do Biogás, gerado pelos biodigestores**, que é uma fonte de energia renovável, em **energia elétrica, térmica e veicular** através da decomposição da matéria orgânica, o que enquadra o **esterco de equinos**;

- III. A demanda aos **honorários públicos** para manter-se uma unidade montada do porte do RPMont/CECS não é baixa. Além dos gastos convencionais com energia elétrica, água, alimentação, combustível, dentre outros, há também o gasto com os **180 equinos da PMERJ** estabelecidos nesta unidade. Animais que também se alimentam, consomem água e energia elétrica, fora as despesas veterinárias. Com a **conversão do esterco em energia**, há possibilidade de se **reduzir esse custo**.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a possibilidade da implantação de um **biodigestor no RPMont/CECS** para a **produção de biogás**, utilizando o esterco equino como substrato, como **alternativa energética** para suprir parte da demanda elétrica de toda sua estrutura física.

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**Dimensionar a quantidade de esterco equino** produzido diariamente e mensalmente pelo RPMont/CECS, bem como analisar a sua composição molecular, para **definir o modelo de biodigestor** mais adequado a ser construído de acordo com esta demanda de dejetos;

**Analisar** uma possível **substituição** de forma total ou parcial da **utilização do GLP** (Gás Liquefeito do Petróleo) **por biogás** (oriundo do esterco equino) no fogão industrial da cozinha do rancho (refeitório);

**Utilizar o biofertilizante** (adubo natural) oriundo do biodigestor, para **aumentar a produtividade das “capineiras”** do Esquadrão Escola de Cavalaria (subunidade do RPMont/CECS) bem como melhorar sua carga nutricional;

**Mensurar as despesas do RPMont/CECS** em 2019 no que tange a gastos com energia elétrica, compra de GLP (Gás Liquefeito do Petróleo) e remoção dos resíduos dos solípedes. Áreas que podem ser direta ou indiretamente afetadas, gerando uma economia, com a utilização do biodigestor e do biogás;

**Enaltecer a imagem da PMERJ** frente à sociedade demonstrando a preocupação da instituição com as **causas ambientais** no que tange a destinação correta dos resíduos sólidos bem como coloca-la em alinhamento com as diretrizes da Lei federal nº 12.305/2010 (Plano Nacional de Resíduos Sólidos);

**Construir um biodigestor de pequeno porte** com materiais facilmente encontrado no comercio, principalmente em lojas de material de construção. E coloca-lo em funcionamento para converter o biogás em energia térmica e biofertilizante.

### 1.3.3 JUSTIFICATIVA

Nas ultimas décadas, com á **intensa utilização dos combustíveis de origem fóssil** devido ao crescente desenvolvimento da indústria e da sociedade como um todo, gerou um sentimento de preocupação do ser Humano com o meio ambiente. Voltando as discussões para a **utilização das fontes renováveis de energia**, também conhecidas como energia limpa, como alternativa, **visando á redução da emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera terrestre**. Bem como o reaproveitamento dos resíduos sólidos de uma forma adequada com o intuito de reduzir a poluição de rios, solo e lençol freático.

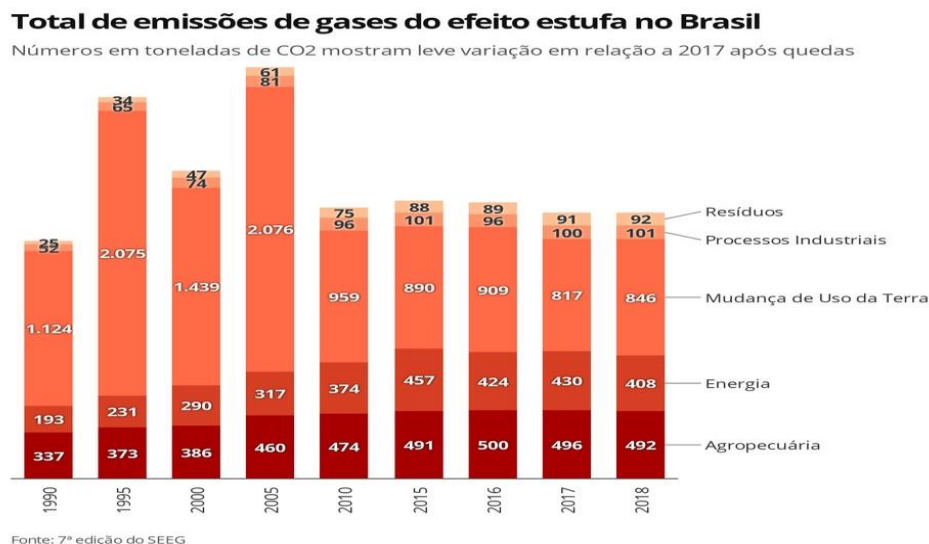


Figura 05 – Emissão de gases do efeito estufa no Brasil nos últimos 30 anos

Tendo em vista a grande quantidade de cavalos existentes nos Regimentos de Cavalaria e conseqüentemente, á enorme quantidade de estrume produzida por mês por esses animais, este trabalho visa realizar um estudo sobre um melhor aproveitamento do esterco

produzido por essas unidades, utilizando-o como matéria prima para a geração de energia elétrica, térmica e biofertilizante. Para isso fazendo uso de uma câmara de decomposição de matéria orgânica intitulada Biodigestor. Segue abaixo imagens das estrumeiras de algumas unidades de Cavalaria no Brasil:



Figura 06 – Estrumeira do Regimento de Polícia Montada 9 de Julho, São Paulo-SP



Figura 07 – Estrumeira do Regimento de Polícia Montada, Rio de Janeiro-RJ





Figura 08 – Estrumeira do Regimento Andrade Neves, Rio de Janeiro-RJ



Figura 09 – Estrumeira da Escola de Equitação do Exército, Rio de Janeiro-RJ

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 BIODIGESTOR

#### 2.1.1 Conceituação

O biodigestor é um projeto de engenharia que consiste em um reservatório fechado que em seu interior possui um ambiente onde ocorre um processo bioquímico denominado digestão anaeróbia (ausência de oxigênio), que tem como resultado a formação

de biofertilizantes e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono (MAGALHÃES, 1986)

**Sua finalidade é acelerar a decomposição da matéria orgânica** que nada mais é do que todo tipo de resíduo que apodrece, por exemplo: lixo orgânico municipal, esterco de animais, restos da agricultura (silagem de milho, bagaço da cana de açúcar e etc), resto de comida e etc, criando um ambiente ideal para o desenvolvimento da cultura microbiana responsáveis pela digestão anaeróbica da biomassa (COMASTRI, FILHO 1981). **Essa decomposição é realizada por bactérias metanogênicas** e é um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos que quebram a matéria orgânica até que se transformam em gases (Biogás) e Biofertilizante (FARRET, 1999; NOGUEIRA 1986). Então, o Biodigestor, dará as condições ideais para que essas bactérias trabalhem de uma maneira mais efetiva para acelerar esse processo de decomposição.

**O biodigestor é uma ferramenta viável na maioria das propriedades rurais e urbanas** de criação ou trabalho com animais, principalmente suínos, bovinos, caprinos e equinos, por possuir um **aproveitamento triplo: saneamento, produção de fertilizante e energia.**

### 2.1.2 Funcionamento

Primeiramente busca-se um ambiente anaeróbio para que bactérias anaeróbias realizem a fermentação da matéria orgânica. Basicamente precisa-se de um tanque de entrada de material orgânico e dependendo do tipo desse material, exemplo, resíduos de animais, necessita-se de um segundo recipiente para a higienização, para que se tenha um melhor aproveitamento no processo de fermentação.

Nos fermentadores é onde ocorrerá o processo de decomposição anaeróbia acelerada, em seu interior existem misturadores, medidores de temperatura e PH, controle de oxigênio dentre outros aparatos para que ela ocorra da maneira mais eficiente possível. É nessa etapa que teremos a produção do biogás, que é a mistura do gás carbônico e gás metano.

Importante salientar que dependendo do tipo de matéria orgânica que alimenta o biodigestor, teremos quantidades variadas, ao final do processo, desses gases. Tanto na quantidade gerada como na composição dele, tendo mais taxas de concentração de carbono ou de metano. Recomenda-se que antes de alimentar o biodigestor tenha-se a noção do potencial de geração de biogás que seu substrato possui, sabendo assim a quantidade gerada em metros

cúbicos de biogás por tonelada de matéria orgânica. No **Anexo I** temos a relação da produção de biogás por toneladas de matéria prima e ainda sua porcentagem de gás metano.

O tipo e a eficiência da tecnologia do biodigestor afeta a quantidade de biogás que será gerada. Exemplo, se um substrato tem um potencial de gerar 500 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada, não quer dizer que ele vá gerar toda essa quantidade, podendo haver maior ou menor quantidade de perdas durante o processo dependendo da tecnologia utilizada. Como veremos mais adiante existem vários tipos de biodigestores com tecnologias variadas, os mais comuns são os biodigestores chineses, indianos, canadense e alemão.

Após a biodigestão, a matéria orgânica é quase que totalmente transformada em gás e em biofertilizante, que é a parte líquida, que pode ser utilizado como adubo orgânico para a agricultura. Vale salientar que nem todo substrato pode ser, ao final do processo, utilizado com adubo orgânico, á de se fazer uma análise química no biofertilizante antes de emprega-lo como adubo.

O biogás é direcionado a um motor que através da combustão (queima do gás) irá rotacionar o eixo de um gerador que produzirá energia elétrica que poderá ser utilizada para os mais diversos fins. Gerador este que também produzirá energia térmica, a partir do momento em que o mesmo precisa ser resfriado. Sendo bastante utilizado para aquecimento de casas, piscinas, processos industriais e etc.

Há ainda a possibilidade de purificar o biogás, ou seja, separar o metano do gás carbônico utilizando o primeiro como gás combustível para veículos automotores.

Sintetizando; o material orgânico que adentra os fermentadores, e dependendo do tipo de tecnologia utilizada, pode ser reutilizado de três formas: de biogás convertendo-o em energia elétrica e energia térmica, metano puro sendo convertido em gás combustível e finalmente em biofertilizante para ser utilizado como adubo orgânico. Segue a baixo a figura 01 para facilitar o entendimento.

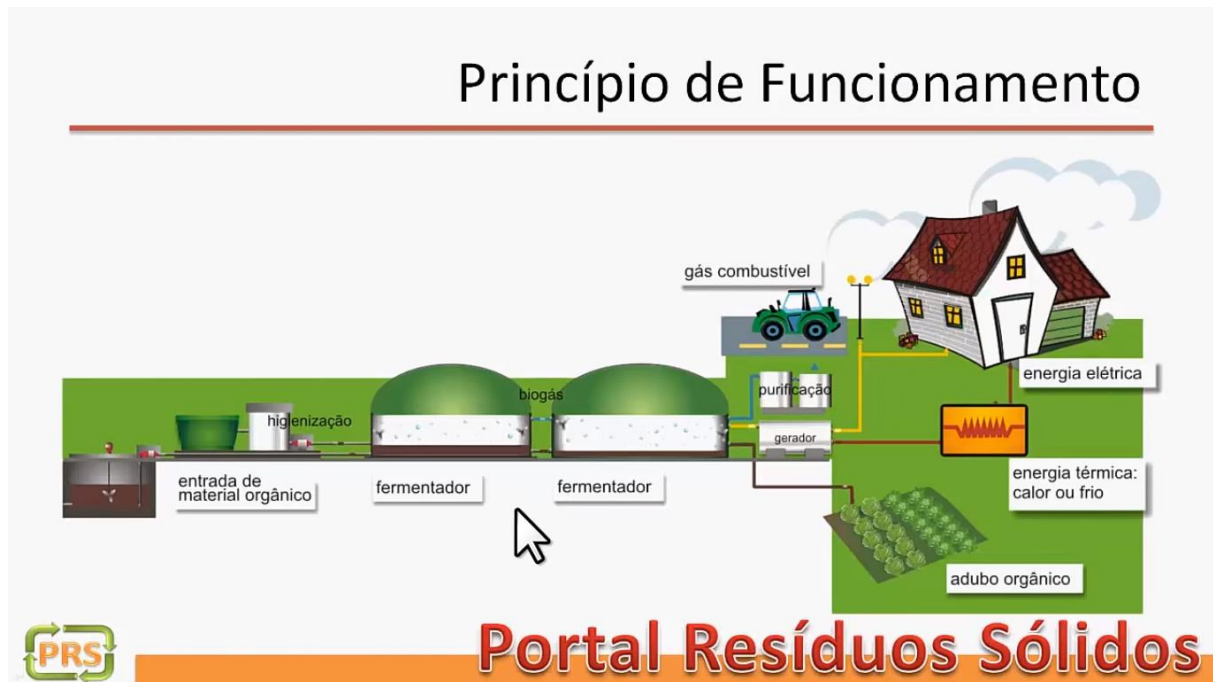


Figura 10 – Princípio de funcionamento de um biodigestor.

### 2.1.3 Tipos de Biodigestores

Os biodigestores normalmente são divididos em dois tipos, o de **alimentação contínua** onde é alimentado periodicamente em curtos intervalos de tempo (diariamente, dia sim dia não) e o de **alimentação única (Batelada)**, onde se alimenta uma única vez durante o ciclo de decomposição. Também podem ser divididos em **biodigestores verticais** (majoritariamente construídos de alvenaria) e **horizontais** (feitos com membrana plástica maleável de PVC).

Existem diversos modelos de biodigestores de alimentação contínua, sendo a diferença entre eles o modelo de construção e operação. Estes projetos realizam a carga e a descarga do material orgânico pelo **princípio de vasos comunicantes** ou através de bombas hidráulicas. **A alimentação não é de forma constante, mas em intervalos regulares de tempo** (DE LIMA, 2008). **A concentração de sólidos totais (CST) deve ser de 8% para evitar a obstrução do tubo de carga e facilitar a circulação da biomassa.** Em geral, biodigestores deste modelo são ideais para atender propriedades que produzem dejetos em curtos períodos de tempo, por exemplo, suinocultura (NOGUEIRA, 1986; SGANZERLA, 1983)

**Os biodigestores tipo batelada recebe de uma única vez toda a quantidade de resíduos orgânicos a ser tratado.** Essa biomassa permanece no interior de sua câmara de

fermentação até que o ciclo de digestão anaeróbia esteja completo. O fim da produção de biogás indica que o ciclo estará completo e o biodigestor poderá fazer a troca da matéria orgânica (DE LIMA, 2008).

Para se escolher o melhor modelo/projeto de biodigestor e seu dimensionamento, é de se mensurar algumas variáveis como a quantidade e tipo de dejetos disponíveis, necessidade de energia, fertilizante e de tratamento de dejetos da propriedade.

## **2.1.4 Modelos de Biodigestores**

### **2.1.4.1 Modelo Indiano**

O primeiro modelo deste biodigestor foi construído em 1857 na cidade de Bombaim na Índia já tendo como objetivo a obtenção do Biogás para um hospital de hansenianos (leproso). Diversos autores apontam para Bombaim como o “berço” dos biodigestores, em 1950, Patel instalou ainda na Índia, o primeiro biodigestor de sistema de alimentação contínua (SGANZERLA, 1983, p. 8).

A Índia foi o primeiro país a instalar biodigestores em massa, em 1951 foi lançado um programa de governo incentivando a construção do biodigestor. Na época havia 1950 biodigestores no país, após 40 anos (1990) esse número chegou a 160 mil unidades. Esse é o modelo mais utilizado no Brasil devido a sua funcionalidade e baixo custo na construção.

Este é um tipo de biodigestor vertical de alimentação contínua e pressão constante, sua estrutura consiste em uma câmara de digestão, construída em geral abaixo do nível do solo (devido a pouca variação de temperatura), tendo em sua parte superior o acoplamento de uma campânula móvel de matéria impermeável e rígido que serve de tanque do biogás (gasômetro). Esta câmara pode ser feita de alvenaria, concreto ou aço e é dividida em: fundação, parede lateral inferior, parede lateral superior, campânula e “paredinha” (uma espécie de meio fio para evitar que algum material externo entre no biodigestor).

O gasômetro localiza-se sobre a biomassa em fermentação e pode ser construído em chapas de ferro, fibras de vidro ou até mesmo colocado uma caixa d'água, caso queira baratear a estrutura. A vantagem de construir o gasômetro em fibra de vidro é que este material não sofre a ação de agentes corrosivos como o gás sulfídrico presente na mistura gasosa. Caso seja construído em fibra de vidro, deve adicionar pesos sobre o mesmo afim de, aumentar a pressão do biogás. Seu formato é cilíndrico e com cobertura abaulada para evitar a

deposição de impurezas ou o acúmulo de água da chuva. E ainda temos o tubo guia, que estabiliza o gasômetro limitando seu movimento apenas para cima e para baixo.

Além da câmara de biodigestão anaeróbia o modelo indiano apresenta ainda mais duas estruturas: a caixa de entrada ou caixa de alimentação ou caixa de carga e caixa de saída ou caixa de descarga. A caixa de entrada tem a finalidade de fazer a homogeneização do substrato, a ideia é diluí-lo em água antes de adentrar a câmara principal do biodigestor para não entupir o tubo de carga (em PVC 150 mm) que leva o substrato, por gravidade, até o interior da câmara de fermentação. Esse procedimento busca alcançar a CST (Concentração de Sólidos Totais) que nada mais é que a proporção adequada de esterco/água, ideais, para o processo. Já a caixa de saída é o local de concentração da resultante concreta do processo de biodigestão da matéria orgânica, o Biofertilizante, que é conduzido através do tubo de descarga (em PVC 150 mm). Por fim temos um dispositivo responsável pela saída do biogás do interior do biodigestor, localizado na parte de cima da campanula, normalmente controlado por um registro.

A pressão de operação do modelo indiano é constante uma vez que, à medida que o volume de biogás produzido não é consumido o gasômetro se desloca verticalmente para cima, aumentando, assim, o volume da câmara de armazenamento de gás, portanto, mantendo a pressão no interior desta, constante. Como o gasômetro é disposto sobre o substrato, ou sobre um selo de água, as perdas na produção de biogás, durante o processo anaeróbico, são reduzidas.

Este modelo de digestor possui algumas vantagens; por ele estar abaixo do nível do solo sua temperatura é pouco variável ajudando assim no processo de fermentação, a temperatura elevada favorece a ação das bactérias (anaeróbias) e a sua queda provoca uma diminuição na produção de biogás. Por sua maior extensão ser vertical, o mesmo ocupa pouco espaço no terreno e ainda por estar abaixo do solo não necessita de cintas de concreto para reforçar as paredes do digestor, barateando o custo do projeto.

Dentre as suas desvantagens podemos destacar a cúpula (Campânula) que, além do seu custo que é elevado, quando for de metal, estará sujeito à corrosão. Para evitar tal processo é recomendável que se faça uma pintura com antioxidante na estrutura. E ainda, pode haver entupimentos entre a caixa de carga e a câmara de fermentação. E sua construção é indicada para locais altos, afastado do lençol freático, para não contaminá-lo em caso de vazamentos.

Seu funcionamento consiste em alimentações diárias ou periódicas pela caixa de entrada de um substrato composto de estrume e água. Com a entrada de novos substratos



também conhecido como Sólidos Voláteis (SV) essa mistura é empurrada para cima até ser deslocada para o outro lado da câmara de fermentação. Com a produção constante do biogás a pressão no interior da câmara aumenta devido ao peso da campanula do gasômetro e o substrato é empurrado para a caixa de saída. Para que isso ocorra é necessário que a caixa de saída esteja em um nível menor do que a caixa de entrada.

## MODELOS DE BIODIGESTORES

### Modelo Indiano:

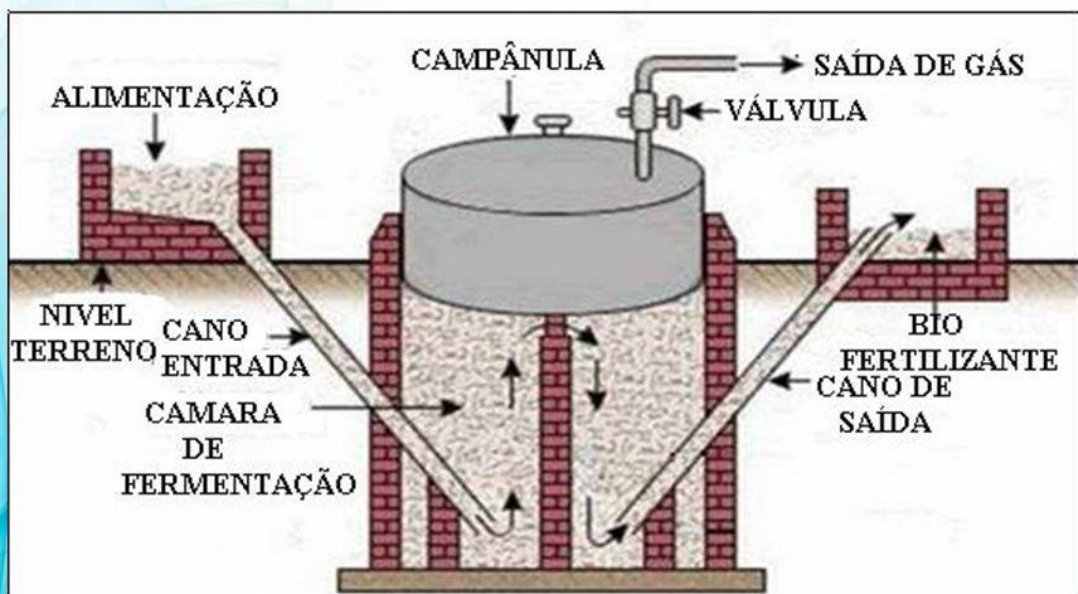


Figura 11 – Biodigestor tipo Indiano (Fonte:Fonseca et al.(2009))

### 2.1.4.2 Modelo Chinês

O biodigestor modelo Chinês, como o Indiano, possuem **alimentação contínua** e um sistema de fermentação vertical em uma câmara cilíndrica, teto abobado e impermeável destinado ao acúmulo do biogás. **Neste modelo dispensa-se o uso do gasômetro** em chapa de aço barateando o custo, no entanto, há possibilidade de ocorrer problemas de vazamento do

biogás caso a estrutura não seja firme, bem vedada e impermeabilizada. **Ele é recomendado para instalações de pequeno porte.**

O princípio de funcionamento deste digestor é comparada ao sistema da prensa hidráulica, onde, com a produção do biogás derivada da fermentação da biomassa o mesmo fica estacionado na parte superior da câmara de digestão. **Como a campânula é fixa, com o aumento da pressão interna desloca o efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída e no sentido inverso quando a pressão diminui.** Este tipo de biodigestor não é recomendado para projetos de grande escala (DEGANUTTI et al. 2002).

Este modelo tem a vantagem de possuir um baixo custo de construção comparado a outros modelos, ocupa pouco terreno e tem pouca variação de temperatura em seu interior, para isso, a cúpula também é feita em alvenaria, e estar estabelecido totalmente abaixo do nível do solo. No entanto possui algumas desvantagens, não podendo ser construído em qualquer tipo de solo, dando preferência aos mais compactados, não indicado para solos mais superficiais, fácil entupimento na tubulação da caixa de carga para a câmara de digestão. E ele não é recomendado para o acúmulo de gás, **sendo mais indicado para a produção de biofertilizante.**

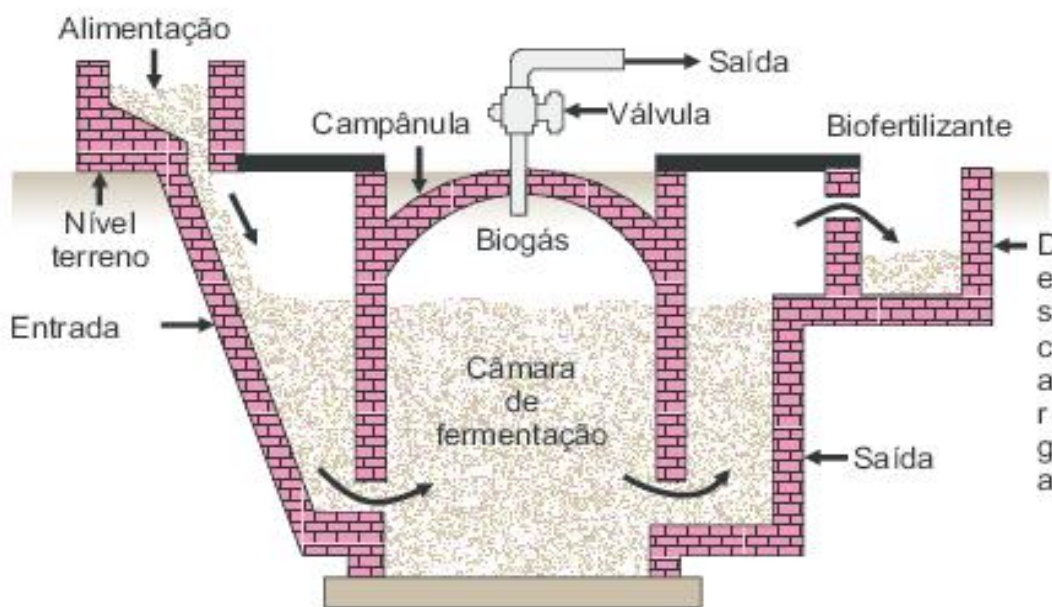


Figura 12 – Biodigestor modelo Chinês (Fonte:Fonseca et al.(2009))



### 2.1.4.3 Modelo Canadense ou de Fluxo Tubular

O modelo Canadense, também conhecido como biodigestor de fluxo tubular, se caracteriza por uma construção simplificada do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria com a largura maior que a profundidade, sendo hoje, a tecnologia mais utilizada dentre as demais, principalmente no Brasil, pois neste modelo de biodigestor o biogás pode ser enviado para um gasômetro separado, permitindo maior controle do biogás, reduzindo perdas durante o processo de produção (BARRERA, 1993).

Esse modelo se caracteriza pela abertura de valas no solo revestidas por uma manta plástica de PVC que também faz às vezes do gasômetro. Ele apresenta um custo mais reduzido porém tem menor durabilidade, podendo ocorrer vazamento de gás caso a manta sofra algum rasgo e é recomendado para uma alimentação contínua de dejetos.



Figura 13 – Biodigestor Modelo Canadense

### 2.1.4.4 Modelo Batelada

É um tipo de biodigestor de **construção** predominantemente **vertical** e com **alimentação periódica**. Segundo **Deganutti et. al. (2002)** trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Ele pode ser alimentado tanto por dejetos diluídos em água quanto resíduos vegetais sólidos, sendo usado, principalmente, para matérias orgânicas de decomposição lenta (NOGUEIRA, 1986) (SGANZERLA, 1983). Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é

abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, não necessitando das caixas e tubos de carga e descarga, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás.

Enquanto, os modelos chinês e indiano são recomendados para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, ou á todo momento. Como exemplo o nosso RPMont/CECS onde a lida com o cavalo é praticamente constante, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor. O modelo em batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja á biomassa fica a disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão.

No entanto, no momento de retirada do material já degradado, recomenda-se deixar cerca de **20% dele na câmara de fermentação**, pois **esse material servira de inóculo para a próxima batelada, ou seja, ira fornecer as bactérias necessárias para promover a fermentação do novo resíduo**. Á figura 13 mostra a representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor.

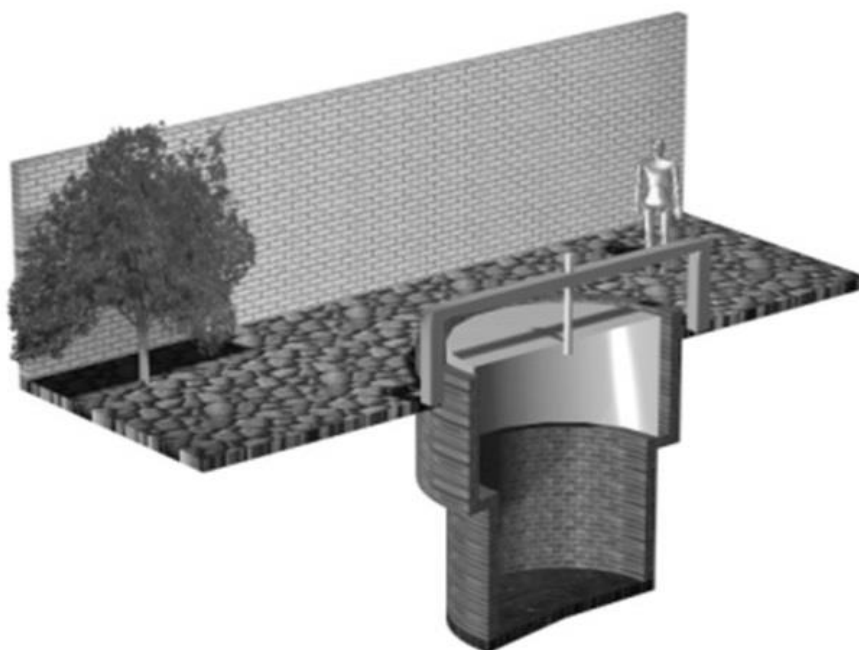


Figura 14: Biodigestor Modelo Batelada.

## 2.2 BIOGÁS

### 2.2.1 História do Biogás

Acredita-se que o Biogás fora descoberto no ano de 1667, pelo cientista britânico Thomas Shirley ao observar casualmente a proliferação de gases dos pântanos. No entanto somente em 1776 o físico italiano Alessandro Volta constatou a presença de metano nesse gás, que já era conhecido como “gás dos pântanos” (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999). Já no séc. XIX, Ulysses Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou uma fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35° C, conseguindo obter 100 litros de gás por metro cúbico de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar o trabalho de seu aluno à Academia das ciências considerou que essa fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (NOGUEIRA, 1986).

No séc. XX, os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão de uma forma mais consistente e com finalidades energéticas, utilizando como matéria prima esterco de animais, foi a China e a Índia nas décadas de 50 e 60. Sendo que esses países e outros desenvolveram seus próprios modelos de Biodigestores (NOGUEIRA, 1986).

Somente de 1960 a biodigestão anaeróbica, o que gera o biogás, passou a ser pesquisada com caráter mais científico, havendo então grandes progressos quanto à compreensão dos fundamentos do processo e também do desenvolvimento de biodigestores e equipamentos auxiliares (PECORA, 2006).

No cenário da crise do petróleo na década de 70, onde diversos países buscavam alternativas para sua substituição, esta tecnologia de digestão anaeróbica foi trazida ao Brasil. E em 1979 na Granja do Torto em Brasília, foi construído um dos primeiros biodigestores do país, vindo a estimular, na década seguinte o Programa de Mobilização Energética (PME) onde se incentivava a instalação de biodigestores de baixo custo nas propriedades rurais principalmente no Nordeste Brasileiro, vindo a ser o primeiro ciclo da utilização do biogás no país.

Em meados de dos anos 2000 ocorreu o segundo ciclo de produção e utilização do biogás no Brasil, já com uma tecnologia maior que a do primeiro ciclo os resultados foram mais satisfatórios, principalmente em propriedades rurais de criação de suínos de médio e grande porte onde a transformação do esterco suíno em biogás teve melhores resultados. Estima-se que cerca de 1000 (Mil) biodigestores foram construídos no Brasil entre 2005 e 2013, impulsionados, principalmente, pelo recém-criado crédito de carbono.

### 2.2.2 Formação do Biogás

É um processo basicamente realizado em 03 etapas. Na primeira, a matéria orgânica é convertida em moléculas menores pela ação de bactérias hidrolíticas e fermentativas. As primeiras transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos graxos, pela ação de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase. As bactérias fermentativas transformam esses produtos em ácidos solúveis (ácido propiônico e butírico), alcoóis e outros compostos (SOSA;CHAO; RIO, 2004).

Na segunda fase, as bactérias acetogênicas transformam os produtos obtidos na primeira etapa em ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrogênio e dióxido de carbono. Essas bactérias são facultativas, ou seja, elas podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. O oxigênio do material orgânico não aproveitado no processo aeróbio do sistema é utilizado para efetuar essas transformações (SOSA;CHAO; RIO,2004).

O metano é formado na última etapa da produção do biogás. As bactérias metanogênicas, que formam o metano, transformam o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) em metano e dióxido de carbono. Estas bactérias anaeróbias são extremamente sensíveis a mudanças no meio, como temperatura e pH. As bactérias produtoras do biogás são mesofílicas (se multiplicam bem entre temperaturas de 20 a 40 °C), vivem entre 35 a 45 °C e são sensíveis a alterações de temperatura. Variações bruscas de temperatura fariam com que as bactérias metanogênicas não sobrevivessem, o que acarretaria na diminuição considerável da produção de biogás (SOSA;CHAO; RIO, 2004).

Outro fator considerável é a acidez do processo, uma vez que as bactérias produtoras do metano sobrevivem numa faixa variável de pH entre 6,5 e 8,0. Assim, enquanto as bactérias constantes dos estágios um e dois da digestão anaeróbia produzem ácidos, as bactérias produtoras de metano consomem esses ácidos, mantendo o meio neutro (SOSA;CHAO; RIO, 2004).

O biogás liberado pelas bactérias anaeróbias é acumulado no gasômetro. Após um período da carga inicial, a produção de gás estará estabilizada e então se procede à recarga periódica do biodigestor (MORAES, 1980).

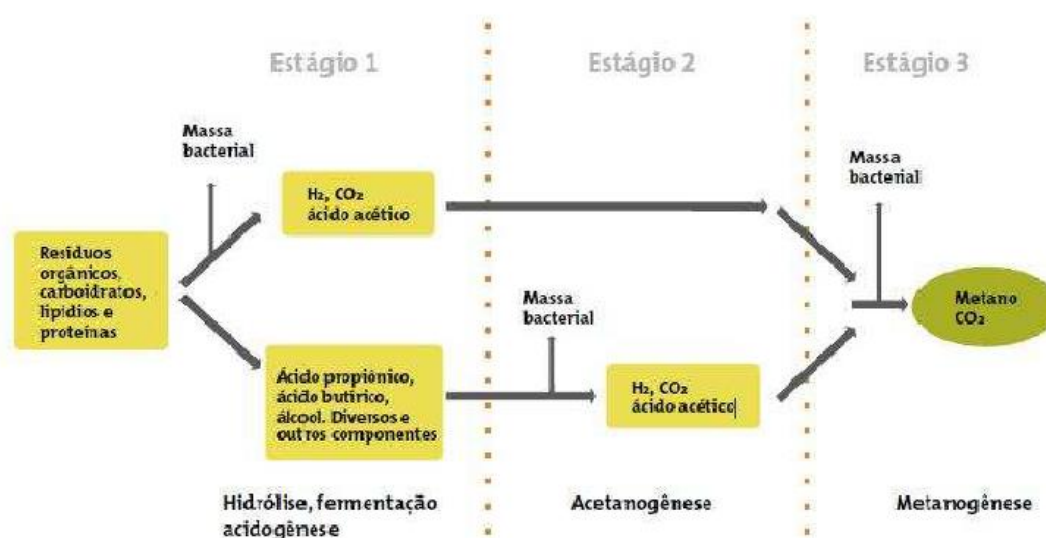


Figura 15 – Fases da produção do biogás.

### 2.2.3 Composição

O biogás é um composto gasoso, que é **constituído em média por 59% de gás metano (CH<sub>4</sub>), 40% de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e 1% de gases traço, entre eles o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S)** (BLEY, 2014). No entanto essa composição pode variar de acordo com o material orgânico utilizado e o tipo de tratamento anaeróbico que sofre em ambiente anaeróbico, pois a decomposição dessa matéria orgânica em contato com o ar (Oxigênio) apenas ira produzir o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (JUNIOR, 2000). Para saber a composição exata do biogás é necessário realizar análises para qualificação, seja com kits específicos ou pela cromatografia gasosa.

O poder calorífico do Biogás situa-se na faixa de 5000 a 7000 Kcal/m<sup>3</sup> variando em função do percentual de metano, grau de umidade e presença de impurezas (SILVA, 1981) então ele é diretamente relacionado com a quantidade de **gás metano CH<sub>4</sub>** existente na mistura. E por esse gás ser seu principal componente, **o biogás é incolor e inodoro** (PARCHEN, 1981), e é ele que dá a **característica inflamável** a mistura. O gás Sulfídrico (H<sub>2</sub>S), apesar de estar em pouca quantidade, se destaca pelo alto poder de corrosão sobre ligas metálicas, normalmente é esse gás que mais prejudica a estrutura de um biodigestor.

O biogás também apresenta Nitrogênio (N<sub>2</sub>), Hidrogênio (H<sub>2</sub>) e Oxigênio (O<sub>2</sub>) em sua composição, só que em quantidades ínfimas. Segue abaixo a **tabela 01** demonstrando a variação de porcentagens de gases do Biogás:

**Tabela 1 - Porcentagens dos gases do Biogás**

<b>Gases</b>	<b>Porcentagem</b>
Metano	55 - 65
Gás Carbônico	35 - 45
Nitrogênio	0 - 3
Hidrogênio	0 - 1
Oxigênio	0 - 1
Gás Sulfídrico	0 - 1

Fonte: (MAGALHÃES, 1986).

Na **tabela 02** apresentamos a equivalência de 1m<sup>3</sup> de biogás para as principais matérias primas utilizadas por pequenos e médios produtores colocadas no biodigestor para a decomposição desta matéria e produção do gás metano:

**Tabela 2 - Produção de 1 m<sup>3</sup> de Biogás derivado de algumas matérias primas**

<b>Biogás</b>	<b>Matéria-Prima</b>
<b>1m<sup>3</sup></b>	25 Kg de esterco bovino
	5 Kg de esterco de galinha
	12 Kg de esterco de suíno
	25 Kg de plantas
	20 Kg de lixo (Orgânico)
	<b>20 Kg de esterco equino</b>

Fonte: (BARREIRA, 2011)

Já na tabela 03 há um comparativo entre a equivalência de 1m<sup>3</sup> de biogás com os principais combustíveis de origem fóssil utilizados nos dias atuais, causadores do efeito estufa, para as mais diversas finalidades. Veremos mais a frente a importância desse tipo de informação para o **dimensionamento do biodigestor**, pois com base nesses dados é possível estabelecer a quantidade média de biogás para atender as principais fontes de consumo:

Tabela 3 - Equivalência de 1m<sup>3</sup> de biogás para os demais combustíveis de origem fóssil

Biogás	Combustíveis Usuais
1m <sup>3</sup>	0,61 L de gasolina
	0,57 L de querosene
	0,55 L de óleo diesel
	<b>0,45 Kg de gás liquefeito</b>
	0,79 L de álcool combustível
	1,54 Kg de lenha
	<b>1,43 kWh de energia elétrica</b>

Fonte: (DEGANUTTI, 2002)

#### 2.2.4 Fatores que Influenciam na Produção do Biogás

No interior do biodigestor a biomassa é processada por bactérias que são responsáveis pela produção do biogás e do biofertilizante de qualidade, mas para isso ocorrer de uma forma correta, deve-se criar um ambiente adequado para a atuação dessas bactérias (MAGALHAES, 1986). Segue abaixo os principais fatores que influenciam na produção do biogás:

- **Impermeabilidade ao ar:** As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbicas. Quanto mais ar (Oxigênio) houver no interior da câmara de decomposição menos metano (CH<sub>4</sub>) e mais dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) será produzido;

- **Natureza do substrato:** Os substratos nutritivos devem prover as fontes de alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular e os necessários às atividades enzimáticas. Particularmente os oligo-elementos, como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês, em fortes concentrações, esses elementos têm um efeito inibidor sobre o processo de fermentação. Por outro lado, os **elementos majoritários como o carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre, têm uma importância fundamental no rendimento dos gases de fermentação** (PECORA, 2006);

- **Composição dos resíduos:** Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Os principais nutrientes dos micro-organismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. **A principal fonte de nitrogênio está nas dejeções humanas e de animais**, enquanto os polímeros presentes

nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono. **A produção de biogás não é bem sucedida, se apenas uma fonte de material for utilizada** (JUNIOR, 2000);

- **Teor de água:** O teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total (JUNIOR, 2000);

- **Temperatura:** A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10 °C essa atividade é muito reduzida e acima de 65 °C as enzimas são destruídas pelo calor. Portanto, a faixa ideal para a produção de biogás é de 32 °C a 37 °C (bactérias mesofílicas) e de 50 °C a 60 °C (bactérias termofílicas) (JUNIOR, 2000);

- **pH:** as bactérias metanogênicas, que participam da produção do biogás, tem um bom rendimento na **faixa de pH entre 6,6 e 7,4**. Valores abaixo de 6,0 ou acima de 8,0 prejudicam de forma considerável a produção do mesmo, podendo inibir por completo a sua produção.

- **Tempo de retenção:** em média, para uma boa produção de biogás, a matéria deve permanecer no biodigestor de 10 a 20 dias para uma boa degradação, podendo variar de acordo com o tamanho do mesmo.

- **Agitação:** O processo destina-se a fazer com que os microrganismos entrem em contato íntimo com a matéria orgânica, para que haja uma produção eficiente de gás e uma melhor digestão da matéria orgânica (CRAVEIRO et al., 1982; NOGUEIRA, 1992).

### 2.2.5 Purificação e Armazenamento do Biogás

O principal objetivo da purificação do biogás é a eliminação das substâncias não combustíveis presentes nesse composto gasoso, resultando no:  **aumentando o poder calorífico, eliminação de gases corrosivos que vão danificar motores e componentes metálicos, e principalmente evitar a contaminação da atmosfera. A umidade, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) são elementos que devem ser retirados do biogás.** Como o gás carbônico tem caráter ácido pode ser absorvido em solução alcalinas de hidróxido de cálcio ou hidróxido de sódio. Esta reação forma carbonatos e bicarbonatos, evita a emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera (NOGUEIRA, 1986).

**O gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S)** tem um odor desagradável e **causa danos ao meio ambiente.** A queima do biogás como combustível sem remoção de H<sub>2</sub>S leva à formação de



dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), poluente tóxico que em altas concentrações na atmosfera **provoca chuva ácida** (de LIMA, 2008). A remoção do H<sub>2</sub>S do biogás pode ser feita através da reação com o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), fazendo-o passar por filtros com limalhas de ferro (HORIKAWA, et al., 2004).

Quando o consumo for maior que a produção de biogás pelo biodigestor, o **armazenamento tem a função de garantir a oferta deste para as diversas funções na qual o biogás pode ser canalizado**. Em grandes sistemas se utiliza altas pressões para armazenar o biogás, tendo como justificativa a diminuição do volume e estabilização da pressão para fazer uso comercial do mesmo.

O armazenamento pode ser feito de três maneiras: **baixa pressão, alta pressão e liquefação**. No sistema de baixa pressão o biogás é armazenado em balões de manta plástica a uma pressão de, aproximadamente, 2 atm, ou ainda em recipientes como “bombonas” ou galões imersos em água, nesses o sistemas de armazenagem tem o menor custo quando comparado com os outros dois métodos de armazenagem. **No armazenamento sob alta pressão o biogás é comprimido a 200 atm e estocado em cilindros especiais** (conforme o GNV) (de LIMA, 2008). O processo de liquefação tem o custo mais alto de armazenamento, é obtido pelo sistema de **criogenia** onde o metano se liquefaz em pressão ambiente a uma temperatura de -161°C (LUCAS JÚNIOR; SOUZA; LOPES, 2003).

### 2.3 BIOFERTILIZANTE

O material digerido no biodigestor pode apresentar varias aplicações, bem como, fonte de nutriente em culturas hidropônicas, adubo orgânico para tanques de piscicultura e o mais comum, como biofertilizante de solos (CRAVEIRO et al., 1982).

**O biofertilizante é a denominação dada ao resíduo aquoso de natureza orgânica que pode ser utilizado na fertilização do solo, sua origem vem da fermentação de resíduos vegetais e animais em biodigestores com a finalidade de se obter o biogás** (SOUZA;PEIXOTO;TOLEDO;1995).

**Este tipo de adubo apresenta varias características positivas, atuando na melhora das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo** (PRAKASAN et al., 1984). Seus benefícios perante o solo estão em proporcionar uma melhor estrutura e atividade microbiológica, maior retenção de umidade, fornecimento de nutrientes minerais como

nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), que melhoram a fertilidade do solo (CRAVEIRO et al., 1982).

O biofertilizante é rico em húmus e apresenta granulação mais fina, o que proporciona uma melhor incorporação junto ao solo, além disso, contém uma forma de nitrogênio mais prontamente utilizável pelas plantas, o nitrogênio amoniacal (NOGUEIRA, 1992).

Ele ainda contribui para aumentar o teor de húmus (matéria orgânica depositada no solo resultante da decomposição de restos de animais ou vegetais ou de seus subprodutos) no solo, melhorando as propriedades físicas e químicas, além de ajudar as atividades microbianas do solo, podendo ser aplicada diretamente na forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais de infraestrutura (CAMASTRI FILHO; 1981).

Proporcionando uma melhor estrutura e atividade microbiológica, maior retenção de umidade, fornecimento de nutrientes minerais, a porosidade do solo, permitindo maior penetração das raízes nas camadas mais fundas no perfil do solo (EMBRAPA, 2004), podendo ainda funcionar como corretor de acidez do solo (SGANZERLA, 1983).

Para uma melhor estabilização da matéria orgânica, melhorando o desempenho do biofertilizante, recomenda-se que o **Tempo de Retenção** do substrato no interior do biodigestor seja de **50 a 60 dias**.



Figura 16 – Exemplos de biofertilizantes.



Figura 17 – Manejo do biofertilizante em plantação de capim.

## 2.4 CRÉDITO DE CARBONO

Desde 1972 (Estocolmo-Suécia) governos de todo o planeta se reúnem em conferências para tentar dar soluções á causa energética global, evitando ao máximo a emissão do gás carbono na atmosfera terrestre. Dentre essas medidas, o crédito de carbono ou redução certificada de emissões criado em 1997 na assinatura do Protocolo de Kyoto propõe que a cada 1 (uma) tonelada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ou outros gases do efeito estufa equivalentes ao carbono que deixam de serem despejados na atmosfera gere 1 (um) crédito de carbono.

Crédito de carbono ou Reduções Certificadas de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução da emissão de gases do efeito estufa ou a captura dos mesmos. O calculo é feito pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões decorrentes das atividades do projeto de MDL. Nesse calculo incluem-se também as possíveis fugas.

Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono equivalente ( $\text{Tco}_2\text{e}$ ) corresponde a um crédito de carbono que pode ser negociando no mercado internacional. O cálculo da quantidade de toneladas de  $\text{CO}_2$  ou outros gases sequestrados ou que tenham as emissões reduzidas é feito por empresas especializadas de acordo com especificações de órgãos técnicos da Organização das Nações Unidas.

Alguns exemplos: a troca de uma tonelada de óleo diesel por biodiesel gera 3,5 toneladas de crédito, um hectare de floresta de eucalipto absorve aproximadamente 12 toneladas de gás carbônico por hectare anualmente, um grande aterro sanitário que utilize o metano produzido pela decomposição do material orgânico e o transforme em energia elétrica pode gerar milhões de toneladas de crédito de carbono por ano.



Figura 18 – Ciclo do Crédito de Carbono

Para efeito de cálculo, os créditos de carbono nos Certificados de Emissões Reduzidas são padronizados em toneladas de carbono equivalente. Isso ocorre porque os RCE levam em conta emissões de outros gases do efeito estufa, além do dióxido de carbono, como gás metano, óxido nitroso dentre outros.

Para calcular a quantidade de carbono equivalente, é necessário o conhecimento do poder destrutivo das moléculas de cada gás do efeito estufa. Este poder destrutivo é conhecido como Potencial de Dano Global (Global Warming Potential - GWP) e permite saber quanto de efeito estufa foi gerado pela emissão da mesma quantidade de cada um dos gases deste processo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Método

Foi empregado neste trabalho o método dedutivo tendo em vista que toda matéria orgânica decomposta em ambiente anaeróbico gera o biogás, e no caso, o esterco equino não foge a essa regra.

Método este auxiliado pelos pilares das pesquisas descritiva e exploratória. Onde no primeiro momento foi realizado um estudo mais amplo sobre o assunto, tendo como fonte de conhecimento os livros, trabalhos pretéritos (artigos científicos, monografias, projetos, dentre outros) e vídeos nas plataformas digitais. Agregando o maior numero de informações possíveis para elevar a afinidade do pesquisador sobre o tema. Na sua grande maioria, a pesquisa exploratória envolve levantamento bibliográfico, entrevistas e análises de exemplos que facilitem a compreensão do assunto (GIL, 2007).

Posteriormente foi realizada algumas pesquisas exploratórias para levantar dados quantitativos e qualitativos sobre a composição e produção dos dejetos equinos do RPMont/CECS e bem como sobre as despesas da unidade que podem ser afetadas diretamente pela produção do biogás.

## **3.2 Técnica**

Devido á necessidade de se calcular a quantidade de matéria orgânica disponível diariamente e mensalmente para “alimentar” o biodigestor, foi realizado um levantamento, por amostragem, da quantidade de estrume produzido pelos equinos do RPMont. Bem como, para aferir a qualidade deste resíduo para a geração do biogás, foi realizada uma análise da composição molecular pelo laboratório da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro com o auxilio da LADEq (Laboratório de Desempenho de Equinos) localizado na Escola de Equitação do Exército.

## **3.3 Procedimentos**

### **3.3.1 Pesquisa sobre a produção de estrume do RPMont/CECS**

O objetivo desta pesquisa é termos uma noção da quantidade de matéria orgânica que é produzida pelos cavalos do RPMont/CECS para assim, viabilizarmos o melhor tipo de biodigestor que atenda as necessidades energéticas desta unidade. Bem como avaliarmos a composição molecular dessa matéria orgânica, buscando concentrações que facilitem a “metanogênese” (Produção do gás metano).

Diante de um plantel de 180 solípedes o método utilizado para se chegar a uma quantidade de estrume mais fidedigna possível foi à amostragem. Na pratica, a pesquisa

consiste em estabular três cavalos (um de grande, um de médio e um de pequeno porte) por 01 (uma) semana e fazer a pesagem dos seus dejetos (livre de serragem) diariamente as 07h da manhã. Ao final fizemos uma média geral e multiplicamos pelo número de cavalos que se encontram nesta Unidade.

Em paralelo, com a ajuda primordial do LADEq, enviamos amostras dos dejetos ao laboratório de Zootecnia da Universidade Federal Rural Fluminense para análise mais detalhada dos componentes desta matéria orgânica e ainda os micro-organismos que habitam nela.

**Tabela 4 - Estimativa de produção de estrume dos solípedes do RPMont/CECS**

Solípede/Data	24/06	25/06	26/06	27/06	28/06	29/06	30/06	Média
<b>Magno</b>	<b>12,8</b> <b>kg</b>	<b>11,3</b> <b>kg</b>	<b>11,5</b> <b>kg</b>	<b>11,8</b> <b>kg</b>	<b>10,8</b> <b>kg</b>	<b>11,2</b> <b>kg</b>	<b>11,7</b> <b>kg</b>	<b>11,58</b> <b>kg</b>
<b>Luck Stricker</b>	<b>11,5</b> <b>kg</b>	<b>10,1</b> <b>kg</b>	<b>10,6</b> <b>kg</b>	<b>10,9</b> <b>kg</b>	<b>9,97</b> <b>kg</b>	<b>10,4</b> <b>kg</b>	<b>10,9</b> <b>kg</b>	<b>10,62</b> <b>kg</b>
<b>Militar</b>	<b>10,8</b> <b>kg</b>	<b>13,6</b> <b>kg</b>	<b>12,7</b> <b>kg</b>	<b>12,6</b> <b>kg</b>	<b>11,16</b> <b>kg</b>	<b>10,9</b> <b>kg</b>	<b>12,2</b> <b>kg</b>	<b>12,00</b> <b>kg</b>
<b>Média Final</b>								<b>11,40</b> <b>kg</b>
<b>Considerando 180 Cavalos</b>	<b>11,40 kg x 180 = 2.052 kg/dia</b> <b>2.052 kg x 30 = 61.560 kg/mês</b>							

De acordo com o resultado da pesquisa e tendo conhecimento do conteúdo da tabela 2 deste trabalho, **onde com 20 Kg de esterco de equino consegue-se produzir aproximadamente 1m<sup>3</sup> de biogás**. Hoje o potencial total de produção deste gás pelo RPMont/CECS é de:

<p>Pot Max Prod Biogás/mês = Qtd. de esterco / 20 kg</p> <p>Pot Max Prod Biogás/mês = 61.560 kg / 20 kg</p> <p>Resultado = <b>3.078 m<sup>3</sup> de biogás / mês ou 36.936 m<sup>3</sup> de biogás / ano ou 102,6 m<sup>3</sup> de biogás / dia.</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Os cavalos escolhidos para a pesquisa ingerem a dieta normal do RPMont/CECS que consiste nas seguintes pagas:

**Tabela 5 - Dieta Padrão dos Equinos do RPMont/CECS**

HORA	ALIMENTO
05H	Concentrado 2kg
09H	Alfafa 2kg
16H	Concentrado 2kg
18H	Feno Tifton 4kg

Fonte: UMV – EEC/RPMont

### **3.3.2 Pesquisa sobre a composição do estrume quantificado no item 3.3.1 e composição mineral do capim angola presente no EEC/RPMont**

O objetivo prático de avaliação da composição do alimento é aperfeiçoar e analisar a eficiência de utilização de alimentos para animais. Para isso, realiza-se uma amostragem do alimento em questão para a obtenção do valor nutritivo dos alimentos (CANESIM et al., 2012). A determinação de matéria seca é um procedimento em laboratório. A matéria seca é a porção do alimento onde estão todos os nutrientes, sendo a massa total descontada a umidade.

De acordo com Silva & Queiroz (2012), quando as amostras contem alto teor de umidade, é feita em estufa de circulação forçada com temperatura de 55°C, este método é utilizado para se evitar a perda de nutrientes por volatilização ou alteração. O tempo de secagem varia podendo chegar até 72 horas.

O material e o recipiente devem ser pesados antes de serem colocados na estufa. Após a secagem, o material é retirado da estufa e descansa por 1 hora, para que a sua umidade entre em equilíbrio com a do ambiente. Faz-se então a pesagem do recipiente mais a amostra seca ao ar (ASA).

Após a ASA a amostra é moída para a determinação da matéria seca em estufa (ASE). Esta análise é necessária nas amostras submetidas à pré-secagem ou que contenham mais de 80% de MS. A umidade é eliminada da amostra pela secagem em estufa a uma temperatura de 105°C por 16 horas. Após o tempo determinado retiram-se os cadinhos da estufa, colocando-os em dessecador durante 1 hora ou até esfriar. Pesam-se os cadinhos com

amostra em balança analítica com precisão de 0,0001g obtendo-se a amostra seca em estufa (ASE).

Com a determinação de ASA e ASE, conseguimos a informação da matéria seca total (MST). **A matéria seca (MS) é a fração do alimento excluída a sua umidade natural e onde estão contidos os nutrientes (carboidratos, proteínas, minerais, etc).**

A Matéria Mineral (MM) ou cinzas consiste no produto resultante após aquecimento da amostra, durante aproximadamente 4 horas ou até que ocorra a combustão total da matéria orgânica. Este aquecimento é realizado em temperaturas muito elevadas e promove a eliminação de todas as substâncias voláteis pelo calor; a matéria orgânica se transforma em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água. A determinação da MM fornece apenas uma indicação da riqueza de elementos minerais na amostra.

Para determinação da ASA e ASE tem-se:

- P1= peso do recipiente em gramas
- P2= peso do recipiente + amostra (g)
- P3= peso do recipiente+ am. seca (g)

$$\%ASA = \frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \times 100$$

$$\%ASE = \frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \times 100$$

$$\%Matéria\ seca\ total = \frac{(ASA \times ASE)}{100}$$

**Tabela 6 Resultado das análises das amostras de estrume e capim**

<b>Amostras</b>	<b>% ASA</b>	<b>% ASE</b>	<b>% MST</b>	<b>% MM / MS</b>
Capim Angola	21,91	90,43	19,81	11,85
Marco Polo	22,90	92,74	21,24	9,32
O21	31,47	91,86	28,91	16,05
917	25,81	92,14	23,78	18,25
999	33,34	92,11	30,71	12,92



### 3.3.4 Levantamento das despesas do RPMont/CECS amortizáveis com o uso do biogás

No ano de 2019 o Regimento de polícia Montada/CECS, assim como qualquer outra unidade da PMERJ, gerou algumas despesas para manutenção das suas atividades de policiamento montado dentre outras.

Segue abaixo algumas tabelas de despesas do ano de 2018 e 2019 do RPMont/CECS:

**Tabela 7 - Despesa com GLP no ano de 2019 pelo RPMont/CECS**

<b>Mês</b>	<b>Gasto</b>
Janeiro	xxxxxxxxxx
Fevereiro	R\$ 5.933,60
Março	R\$ 2.769,23
Abril	R\$ 1.005,95
Maio	R\$ 1.866,29
Junho	R\$ 3.375,66
Julho	R\$ 2.098,92
Agosto	R\$ 1.917,44
Setembro	R\$ 2.821,66
Outubro	R\$ 2.462,01
Novembro	R\$ 2.389,07
Dezembro	R\$ 1.445,29
<b>Total</b>	<b>R\$ 28.085,12</b>

Fonte: 4ª Seção do RPMont/CECS

Para a tabela abaixo devemos considerar a cada 05 toneladas (01 caçamba) um gasto de R\$ 498,00.

Tabela 8 - Gasto com a remoção de dejetos equinos em 2019

Mês	Numero de Caçambas	Gasto
Janeiro	12 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 5.976,00
Fevereiro	16 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 7.968,00
Março	18 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 8.964,00
Abril	08 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 3.984,00
Maio	15 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 7.470,00
Junho	11 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 5.478,00
Julho	13 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 6.474,00
Agosto	06 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 2.988,00
Setembro	18 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 8.964,00
Outubro	13 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 6.474,00
Novembro	12 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 5.976,00
Dezembro	16 Caçambas de 5m3 (5 ton.)	R\$ 7.968,00
<b>Total</b>	<b>158 Caçambas/ano – 790 ton.</b>	<b>R\$ 78.684,00</b>

Fonte: 4ª Seção do RPMont/CECS

Tabela 9 - Gasto com energia elétrica em 2018 do RPMont/CECS

Mês	Despesa
Janeiro	R\$ 23.317,03
Fevereiro	R\$ 21.849,61
Março	R\$ 24.329,65
Abril	R\$ 25.972,36
Maio	R\$ 23.476,89
Junho	R\$ 19.000,71
Julho	R\$ 19.724,38
Agosto	R\$ 19.489,76
Setembro	R\$ 18.731,33
Outubro	R\$ 23.084,30
Novembro	R\$ 21.014,28
Dezembro	R\$ 19.514,65
<b>Total</b>	<b>R\$ 259.504,95</b>

Fonte: 4ª Seção do RPMont/CECS

## 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

### 4.1 DIMENSIONAMENTO

Para que se inicie a construção de um biodigestor, antes é preciso dimensioná-lo, para isso algumas informações são primordiais na busca da correta dimensão da câmara de fermentação e das demais estruturas deste projeto de engenharia. **O tipo de resíduo sólido:** dejetos animal, descarte da agroindústria, ou esgoto urbano, dentre outras biomassas é uma informação fundamental; assim como, **a disponibilidade deste resíduo** obtida diariamente ou de forma cíclica. Por último, mas não menos importante, deve-se estabelecer o **objetivo a ser cumprido pelo Biodigestor**.

Tendo em mãos essas informações e ciente das três funções básicas de um biodigestor: **estabilizar a matéria orgânica (saneamento)**, eliminando assim organismos patogênicos do seu substrato, focando na maior qualidade do biofertilizante. **Produção do Biogás**, focando na produção de energia ou uma **função híbrida**, que atende satisfatoriamente a produção do biogás mantendo a qualidade do biofertilizante. Segue abaixo uma tabela contendo o **Tempo Médio de Retenção**, para se cumprir um dos três objetivos do Biodigestor:

Tabela 10 - Tempo de retenção da matéria orgânica

Função do Biodigestor	Tempo de Retenção
Apenas estabilizar a matéria orgânica	50 a 60 dias
Apenas produzir o Biogás	10 a 20 dias
<b>Produzir Biogás e estabilizar a matéria orgânica</b>	<b>30 dias (Recomendado)</b>

Além do tempo de retenção hidráulica, a diluição do dejetos em água, também é uma informação oportuna no momento do dimensionamento do digestor. **Fatores como, diluição dos dejetos**, nutrição dos animais com ração de baixa conversão alimentar, usos de antibióticos e detergentes, capacitação do pessoal responsável pela operação dos sistemas, tem influência direta no tratamento de dejetos (KUNZ, 2005).

Segue a baixo uma tabela da proporção dejetos/água do substrato de alguns animais para uma melhor fermentação do mesmo:

Tabela 11 Proporção Dejeito/Água

Animal	Dejeito (Kg)	Água (L)
Suínos	1 Kg	1 L
Bovinos	4 Kg	5 L
Aves	1 Kg	3 L
<b>Equinos</b>	<b>1 Kg</b>	<b>1 L</b>

Antes de entrarmos no dimensionamento propriamente dito, é importante nos cercamos de algumas informações que nos auxiliarão nesta missão. O conhecimento das necessidades de biogás para atender as principais fontes de consumo, conforme **ANEXO I**, é de interesse elementar para produtores rurais e gestores públicos na construção do biodigestor.

O dimensionamento de um biodigestor é a grande incógnita que produtores/criadores rurais e engenheiros ambientais precisam quantificar para se ter um resultado satisfatório na degradação da matéria orgânica e a consequente produção do biogás e biofertilizante. Em se tratando da decomposição de dejetos de origem animal, existem algumas variáveis a se considerar.

O volume de um biodigestor deve ser proporcional á quantidade de **produção diária de dejetos e do tempo de retenção hidráulica** que o substrato necessita ficar no interior da câmara de fermentação para se produzir o biogás e o biofertilizante, levando em consideração a necessidade energética da propriedade (OLIVEIRA, 2004).

**Para sabermos a quantidade diária de dejetos utilizados no biodigestor antes é preciso saber a necessidade diária de m<sup>3</sup> de biogás por dia dos nossos equipamentos (ANEXO I), o potencial de produção de biogás do dejeito utilizado (ANEXO I) e ainda a equivalência do biogás para as demais fontes de energia (TABELA 3), assim podemos dimensiona-lo vide o exemplo abaixo.**

Para atendermos à necessidade dos seguintes equipamentos: **05 chuveiros a gás totalizando 50 banhos/dia (50 x 0,20 m<sup>3</sup> = 10m<sup>3</sup>); 01 fogão industrial que faz refeições para 100 pessoas por dia (100 x 0,42 m<sup>3</sup> = 42 m<sup>3</sup> equivalente a 19kg de GLP)**, sabendo que 1m<sup>3</sup> equivale a 0,45Kg de GLP então uma botija de 13kg equivale a aproximadamente 29 m<sup>3</sup> de biogás, conforme tabela 3. Assim ficamos com uma demanda de 10 m<sup>3</sup> de biogás para atender os chuveiros e 42 m<sup>3</sup> para atender o fogão industrial. **Totalizando 52 m<sup>3</sup> de biogás/dia.**

Como nossa matéria prima é o esterco de equinos, onde aproximadamente **a cada 20 Kg produzimos 1m<sup>3</sup>, necessitaremos de 1.040 Kg (20kg x 52 m<sup>3</sup>)** de esterco adicionados

no biodigestor diariamente para conseguirmos atender a necessidade dos equipamentos acima citados. Lembrando que essa quantidade de estrume deverá ser **diluída em 1.040L** de água antes de ser adicionada a câmara de fermentação.

Segundo a pesquisa realizada no RPMont/CECS, expressa na TABELA 04 deste trabalho, a **quantidade média diária de produção de estrume é de 2.052 Kg/dia** considerando todo o plantel desta unidade de 180 solípedes. No caso necessitaremos de 50,7% da produção de esterco desta unidade.

Agora, avançamos à segunda parte do dimensionamento, onde calcularemos o Volume Útil do biodigestor, tomando por base o modelo Indiano. **O volume útil é igual ao volume interno menos o volume da parede divisória ( $VU = VI - Vol. Parede divisória$ ).** Já sabendo que a necessidade diária de biogás é de  $52m^3$  o potencial do dejetos é de  $0,05m^3/Kg$  e a carga diária necessária considerando uma diluição em água para se atingir 8% de sólidos totais. Desta forma dividindo a necessidade diária ( $52m^3$ ) pelo potencial do dejetos ( $0,05m^3/Kg$ ) temos a quantidade de dejetos introduzidos diariamente no biodigestor, que é justamente 1.040kg como visto mais acima somados a 1.040L de água, dando um peso total a mistura de 2.080Kg/dia.

Oliver, et al. (2008), descreve que o volume do biodigestor poder ser calculado pela fórmula abaixo:

**Fórmula para cálculo do Volume do Biodigestor**

$VB = VC \times TRH$ <p> <math>VB = \text{volume biodigestor (m}^3 \text{)}</math>  <math>VC = \text{volume de carga diária (m}^3/\text{dia)}</math>  <math>TRH = \text{tempo de retenção hidráulica (dias)}</math> </p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Concluimos que o Volume Útil do Biodigestor é igual ao Volume da Carga Diária multiplicado pelo Tempo de Retenção Hidráulica da mistura, que no caso é 30 dias. Colocando em números temos:  $VB = 2.080 \times 30 = 62.400 \text{ L}$ .**

**O Volume Bruto deste modelo de biodigestor é igual ao Volume Útil mais 10%. Então multiplicamos  $62.400 \times 1,1$  chegando a marca de 68.640L, o que equivale a aproximadamente  $68,5m^3$  de biodigestor.**

Agora, com essas informações em mente, dependendo do modelo a ser utilizado, o engenheiro terá que estipular as dimensões do biodigestor avaliando principalmente o local e

espaço disponível para a construção do mesmo. O local destinado á instalação da câmara de fermentação deve ser de fácil acesso durante todo o ano, próximo ao local de coleta dos dejetos e do local de consumo do biogás (CRAVEIRO et al., 1982).

**O terreno que deve ser construído o biodigestor deve apresentar uma pequena declividade** para facilitar o escoamento do biofertilizante, deve-se evitar áreas sujeitas a inundações e distante de lençóis de água (CRAVEIRO et al., 1982).

Segue abaixo a tabela 11 onde é demonstrado as dimensões de um biodigestor de lona (fluxo tubular) conforme seu volume bruto:

## 5. CONCLUSÃO

Embora haja um custo para a implantação do biodigestor, seu uso apresenta uma possível solução para o problema da destinação dos resíduos equinos nas unidades de Cavalaria Hipo do Brasil. Além de ser o protagonista de uma fonte de energia limpa, **o Biogás, sendo ele uma alternativa energética que em algumas situações pode substituir o uso dos combustíveis fósseis e ainda ser a única energia renovável que transforma um passivo ambiental em ativo econômico.**

A viabilidade operacional do trabalho não foi apresentada, no entanto, o alinhamento a legislação vigente na figura do Plano Nacional de Resíduos Sólidos que atende pela alcunha de **Lei Federal nº 12.305/2010**, a **redução considerável de esterco que é recolhida por empresa terceirizada**, bem como a **diminuição da compra de GLP** (Gás Liquefeito do Petróleo) para o rancho dessas Organizações Militares, poderá proporcionar um **impacto positivo no custo dessas Unidades para os Estados e União.**

Ambientalmente falando os resultados também foram positivos, pois a queima do gás metano, impedindo que o mesmo seja lançado na atmosfera terrestre **minimizando desta forma a emissão de gases do efeito estufa** e ainda a eliminação de agentes patogênicos da matéria orgânica utilizada, no caso esterco, **evita a propagação de doenças entre os animais, os seres humanos e ainda a contaminação do solo e lençóis freáticos.**

Outro fator positivo é a utilização do biofertilizante nas “capineiras” do Esquadrão Escola de Cavalaria localizado nas dependências do CFAP, **melhorando a composição mineral do capim angola**, já plantado neste esquadrão, **além de aumentar a produtividade do mesmo.** O que beneficia diretamente os cavalos do esquadrão, principalmente os que são

acometidos pela síndrome cólica onde o trato intestinal destes animais se encontram mais sensíveis a alimentos mais concentrados.

O acionamento de alguns equipamentos como fogão industrial e sistema de aquecimento de água utilizou-se uma **quantidade mediana de biogás, comparado ao potencial máximo de produção desta energia renovável pelo RPMont/CECS**. Tendo em vista que as atividades em que os animais estão envolvidos, como o próprio policiamento montado e o sistema de manejo na qual são submetidos (semi-estabulado) perde-se uma considerável quantidade de esterco que é expelido pelos animais quando não estão nas baias.

A dificuldade de obtenção de dados técnicos para a composição molecular do estrume colhido dos cavalos do RPMont/CECS, e ainda para a disposição mineral da amostra de capim do Esquadrão Escola de Cavalaria, apresentou lacunas que poderão ser preenchidas com **futuras pesquisas** mais aprofundadas como: **manejo alimentar e rotinas dos equinos das Unidades de Cavalaria; obtenção de financiamento/parceria da iniciativa privada para a instalação de biodigestores nas unidades que possuem equinos no âmbito da PMERJ**, verificando se há um retorno positivo para a Instituição e sociedade.

Concluo, com partes dos objetivos atingidos, que esta pesquisa poderá trazer impactos positivos na gestão financeira das unidades de cavalaria, pois **trabalhando de uma maneira sustentável, pode-se amortizar parte das despesas com o aproveitamento do material orgânico (Biomassa) que sempre esteve presente em seu cotidiano, os dejetos dos cavalos**. Bem como, vejo de forma positiva, o alinhamento das Unidades de Cavalaria com a Diretriz do Governo Federal, no que tange a destinação correta de resíduos sólidos no Brasil, que trará benefícios para a saúde dos animais, dos agentes públicos e preservação do meio ambiente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BARRERA, P. – **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**, 2003.

CALDAS, M.A.R.; DE OLIVEIRA, L.C.E.; GASTÃO, M.M. **Manual para apresentações de trabalhos acadêmicos e dissertações**. 4<sup>a</sup> ed. Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro, 2017.

CANESIN, R.C.; FIORENTINI, G.; BERCHIELLI, T.T. **Inovações e desafios na avaliação de alimentos na nutrição de ruminantes**. Rev. bras. saúde prod. anim. vol.13 no.4 Salvador Oct./Dec., 2012.

CAPATAN, D. C; CAPATAN, A; ROSSET, N. R; HARZER, J. H. **Análise da viabilidade financeira da produção de biogás através de dejetos de equinos**. 26f. Custos e agronegócio on-line v. 8, n. 4 – Out/Dez – 2012. [www.custoseagronegocioonline.com.br](http://www.custoseagronegocioonline.com.br);

CARVALHO, R. R.; CARVALHO, C.A.B.; ZANELLA, P.G.; FILHO, S. T.C.; DUARTE, F. O.; SANTANA, G. L. **Teores de matéria seca, proteína bruta e matéria mineral de pastos de capim-estrela (Cynodon nlemfuensis cv. Florico) manejados sob frequências e severidades de desfolha na primavera e verão**. Congresso Brasileiro De Zootecnia. 2014.

CLASSEN, P.A.M; LIER, J.B.; STAMRS, A.J.M. – **Utilization of biomass for supply of energy**, 1999.

COMASTRI FILHO, J. A.. **Biogás: independência energética do pantanal mato grossense**. Corumbá: EMBRAPA - CNPSA, 1981. 53 p. (9).

CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S.. **Manual de biodigestores rurais**. São Paulo: Ipt, 1982. 61 p.

DEGANUTTI, R.; PALHACCI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R. – **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**, 2002.

DE LIMA, Heleno Quevedo; **Sustentabilidade Energética e Ambiental do Sítio Ecológico FALKOSKI**, Novo Hamburgo, Janeiro 2008;

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: UFSM, 1999.

HORIKAWA, M.S.; Rossi, F.; Gimenes, M.L.; Costa, C.M.M.; da Silva, M.G.C. **Chemical absorption of H<sub>2</sub>S for biogas purification**. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 21, No. 03, pp. 415 - 422, July - September 2004.



JUNIOR, A. B. C. – **Simulação do comportamento de um resíduo modelo em aterro sanitário e estudo da evolução bio-físico-química**, 2000.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Biodigestores: avanços e retrocessos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2004. 5 p. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod\\_artigo=9](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=9)>. Acesso em: 28 ago. 2011.

LUCAS JÚNIOR, Jorge de; SOUZA, Cecília de Fátima; LOPES, Jose Dermeval Saraiva. **Construção e Operação de biodigestores**. UNESP: Jaboticabal, 2003;

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**, 1986;

MORAES, M. J. – **Manual de instruções para o usuário do biogás**, 1980.

NOGUEIRA, L. A. H.. **Biodigestão: A alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1992. 93 p.

PARCHEN, C. A. P. – **Algumas informações sobre manejo de esterco de bovinos e suínos**, 1981.

PATERSON, Mark; FNR; KUHN, Werner. **Guia prático do Biogás, Geração e Utilização**. 5º ed. 236 p. Gülzow, 2010.

PECORA, Vanessa – **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP** – Estudo de caso, 2006.

PRAKASAN, K.; Carvalho R. FILHO, J. V.; PERAZZO NETO, A.. **Tecnologia do Biogás**. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1984. 94 p.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestor, uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SILVA, Normando Alves da. **Manual técnico e operação de biodigestores modelo chinês**. EMATER: Brasília, 1981.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa-MG: UFV, 2002. 235 p.

SOSA, R.; CHAO, R.; RÍO, del J. – **Aspectos Bioquímicos y Tecnológicos del Tratamiento de Residuales Agrícolas con Producción de Biogás**, 2004.

SOUZA, J. S. I.; Peixoto, A. M.; Toledo, F. F. – **Enciclopédia Agrícola Brasileira**, 1995.

## ANEXO I

Tabela 1 de produção de biogás em m<sup>3</sup> por tonelada de matéria prima

<b>Matéria – prima</b>	<b>m<sup>3</sup>/tonelada</b>	<b>Porcentagem % de CH<sub>4</sub></b>
Esterco de Suíno	560 - 460	50
Esterco de Bovino	360 - 270	50 - 60
Esterco de Equino	560 - 460	Variável
Esterco de Aves	620 – 520	Variável
Esterco de Ovinos	350 – 250	50
Capim Fresco	630	70
Casca de Arroz	650	Variável
Folhas de Arvore	290 - 210	58
Folhas de Parreira	280 – 260	Variável
Palhas	340	59

Fonte: Nogueira, 1986, pag. 55.

Tabela 2 Necessidade de biogás para o funcionamento de equipamentos

<b>Equipamento</b>	<b>Necessidade de biogás</b>
<b>Fogão</b>	<b>0,42 m<sup>3</sup>/dia/pessoa</b>
Geladeira a gás	2,1 m <sup>3</sup> /dia
Iluminação	0,08 m <sup>3</sup> /lâmpada/hora
<b>Aquecimento de água</b>	<b>0,20 m<sup>3</sup>/banho</b>
Aquecimento de pintinhos	0,22 m <sup>3</sup> /campânula/hora
Acionamento de motores	0,45 m <sup>3</sup> /HP/hora

Fonte: Construção e Operação de Biodigestores, CTP Multimídia.

Tabela 3 Dimensionamento do Biodigestor

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>C1(m)</b>	<b>Largura L1(m)</b>	<b>C2(m)</b>	<b>Largura L2(m)</b>
3,0	1,0	3,5	1,2	3,0	0,7
7,0	1,0	6,0	2,0	4,8	0,8
15,0	1,4	7,0	2,5	5,5	1,0
20,0	1,5	8,0	3,0	6,0	1,0
30,0	1,5	10,0	3,5	8,0	1,5
100,0	2,0	15,0	5,0	13,0	3,0
200,0	2,5	19,0	6,0	16,0	4,0
300,0	3,0	21,0	7,0	18,0	5,0

## ANEXO II

**Fluxograma de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás:**

