

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

TAYGUARA SOARES DE ANDRADE



**GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR RESÍDUO  
ORGÂNICO BOVINO**

VITÓRIA - ES  
OUTUBRO/2017

TAYGUARA SOARES DE ANDRADE

## **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR RESÍDUO ORGÂNICO BOVINO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Tayguara Soares De Andrade**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

---

***Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara Farias Fardin***  
**Orientadora**

---

***Prof. Dr. Paulo J. M. Menegáz***  
**Coorientador**

---

***Aluno: Tayguara Soares de Andrade***

VITÓRIA - ES  
OUTUBRO/2017

TAYGUARA SOARES DE ANDRADE

## **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR RESÍDUO ORGÂNICO BOVINO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Tayguara Soares de Andrade**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 06, de outubro de 2017.

### **COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Profa. Dr<sup>a</sup>. Jussara Farias Fardin**

**UFES**

**Orientadora**

---

**Prof. Dr. Eng. Walbermark Marques dos Santos**

**UFES**

**Examinador**

---

**Prof. Ms.C. Odair de Barros Junior**

**UFES**

**Examinador**

VITÓRIA - ES  
OUTUBRO/2017

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Jussara Farias Fadin por apoiar a escolha do tema e incentivar o desenvolvimento do trabalho.

Aos técnicos do LCEE por auxiliarem na realização das pesquisas.

À UFES por buscar sempre a excelência nos serviços à comunidade acadêmica e à sociedade.

Aos técnicos das Bibliotecas central e do centro tecnológico por ajudarem na reserva de toda literatura necessária para desenvolver esse projeto.

À minha família por me dar suporte e apoio para conseguir superar mais esse desafio

## **RESUMO**

O crescimento significativo do rebanho bovino no Brasil, devido ao aumento do consumo e exportações, acaba por gerar uma grande quantidade de resíduo orgânico, ampliando problemas ambientais quando não tratados de forma adequada. Em nossos dias existe uma grande preocupação com as questões relacionadas a produção de energia, destaca-se, portanto, a utilização desse resíduo orgânico como fonte de energia renovável. Dentre as tecnologias de conversão da biomassa em energia, damos uma atenção especial aos biodigestores.

A utilização da biomassa como fonte de energia alternativa tem se mostrado muito eficiente na substituição do petróleo e com grande benefício, pois além de utilizar resíduo orgânico para produção de energia, ainda contribui para a preservação do meio ambiente.

Neste trabalho vai ser estudado a produção de energia através da biomassa gerada por dejetos sólidos animais, em especial esterco bovino, em uma propriedade rural no interior do Espírito Santo. Será analisado o potencial energético e será feito o dimensionamento do sistema para que seja capaz de transformar esse resíduo orgânico em energia elétrica.

Palavras-chave: Biodigestor, produção de dejetos pela pecuária, Biogás, Metano, Produção de eletricidade.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Oferta de potência de geração elétrica no Brasil.....                                      | 4  |
| Figura 2 – Potencial máximo de biogás de resíduos da indústria, agroalimentar, pecuária e outros..... | 9  |
| Figura 3 – Composição química do biogás .....   | 10 |
| Figura 4 – Biodigestor modelo indiano corte frontal .....   | 13 |
| Figura 5 – Modelo de biodigestor canadense .....  | 13 |
| Figura 6 – Modelo de biodigestor Chinês .....   | 14 |
| Figura 7 – Modelo de biodigestor indiano.....   | 15 |
| Figura 8 – Esquemático de um biodigestor canadense.....   | 15 |
| Figura 9 – Esquemático de um biodigestor chinês .....   | 16 |
| Figura 10 – Esquemático de um biodigestor indiano .....   | 17 |
| Figura 11 – Equivalência energética do biogás .....   | 20 |
| Figura 12 – Esquemático de uma unidade geradora de eletricidade utilizando biogás.....                | 20 |
| Figura 13 – Modelo do biodigestor orçado para implementação .....                                     | 30 |
| Figura 14 – Modelo do biodigestor orçado para implementação .....                                     | 30 |
| Figura 15 – Modelo do biodigestor orçado para implementação.....                                      | 30 |
| Figura 16 – Relatório gerado pelo plantel .....   | 32 |
| Figura 17– Relatório gerado- potencial de biogás bruto .....  | 32 |
| Figura 18– Relatório gerado detalhando a composição química.....                                      | 33 |
| Figura 19 – Relatório gerado fazendo a equivalência energética com outras fontes de energia .....     | 33 |
| Figura 20 – Relatório gerado estimando a quantidade diária de eletricidade.....                       | 34 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Dados do Rebanho Bovino nos Principais Produtores Mundial.....   | 3  |
| Tabela 2 – Composição química de diversos resíduos de origem animal (valores médios sobre base seca) Matéria..... | 5  |
| Tabela 3 – Porcentagem de sólidos totais e voláteis para distintas espécies pecuárias.....                        | 5  |
| Tabela 4 – Parâmetros físicos e químicos do esterco bovino .....  | 6  |
| Tabela 5 – Composição variável de gases no metano .....   | 7  |
| Tabela 6 – Rendimento de esterco (incluso água) em biogás e fertilizantes .....                                   | 19 |
| Tabela 7– Consumo médio de biogás por motores.....  | 21 |
| Tabela 8 – Equivalência energética por m <sup>3</sup> de biogás para aquecer 6.148,98 kcal .....                  | 21 |
| Tabela 9 – Uso doméstico de gás base 5/6 pessoas.....   | 21 |
| Tabela 10 – Porcentagem média de material seco no esterco.....  | 26 |
| Tabela 11 – Relação esterco/água para 7,8 e 9% de conteúdo sólido.....  | 26 |
| Tabela 12 – Produção de gás por dejetos de animais semiestabulado.....  | 26 |
| Tabela 13–Média de consumo de biogás para vários fins .....   | 27 |
| Tabela14– Orçamento do equipamento para montagem da planta.....   | 30 |
| Tabela15– Remunera da Caderneta de Poupança.....  | 36 |
| Tabela16– Comparativo entre os indicadores da poupança e do projeto.....  | 37 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAEE Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas

GEE Gases de Efeito Estufa

PVC Policloreto de Polivinila

UFES Universidade Federal do Espírito Santo

LCEE Laboratório de Computação da Engenharia Elétrica

MME Ministério de Minas e Energias

USDA United States Department of Agriculture

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ST Sólidos totais

DQO Demanda química de oxigênio

THR Tempo de retenção hidráulica.

MCI Motor de combustão interna



## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| HP               | Horse-power          |
| T                | Tempo (horas)        |
| m <sup>3</sup>   | metros cúbicos       |
| Ph               | potencial hidrogênio |
| Kwh              | Quilowatt-hora       |
| cv               | cavalo vapor         |
| CH <sub>4</sub>  | Metano               |
| CO <sub>2</sub>  | Dióxido de carbono,  |
| N <sub>2</sub>   | Nitrogênio           |
| H <sub>2</sub>   | Hidrogênio           |
| O <sub>2</sub>   | Oxigênio             |
| H <sub>2</sub> S | gás sulfídrico       |
| MW               | megawatts            |
| GW               | giga watts           |
| kW               | Quilowatt            |
| kcal             | Quilocaloria         |
| kJ               | Quilo joule          |

## SUMÁRIO

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1                             |
| 1.1 Objetivo geral.....   | 3                             |
| 1.2 Objetivos específicos .....   | 3                             |
| 2 EMBASAMENTO TEÓRICA.....  | 3                             |
| 2.1 Biomassa .....  | 3                             |
| 2.1.1 A Biomassa e a energia .....  | 4                             |
| 2.1.2 Composição química da biomassa animal .....                                   | 5                             |
| 2.2 O Biogás.....   | 6                             |
| 2.2.1 Composição química e seu processo: .....                                      | 8                             |
| 2.2.2 Benefícios ambientais da Digestão Anaeróbica: .....                           | 10                            |
| 2.2.3 Vantagens da digestão anaeróbica: .....                                       | 11                            |
| 2.3 O biodigestor.....  | 11                            |
| 2.3.1 Características dos Biodigestores.....  | Erro! Indicador não definido. |
| 2.3.2 O biodigestor Canadense.....  | 13                            |
| 2.3.3 Biodigestor Chinês .....  | 14                            |
| 2.3.4 Biodigestor Indiano .....   | 16                            |
| 2.4 Fatores que afetam a biodigestão anaeróbia .....                                | 18                            |
| 2.5 Dimensionamento do biodigestor .....  | 19                            |
| 2.6 Geração de eletricidade usando biogás .....                                     | 21                            |
| 2.7 Análise da viabilidade econômica .....  | 23                            |
| 3. ESTUDO DE CASO .....   | 25                            |
| <b>3.1 Fazenda Carneiro.....</b>  | 25                            |
| 3.1.1 Projeto .....   | 25                            |
| 3.1.2 Estudo.....   | 25                            |
| <b>3.2 Simulação .....</b>  | 32                            |
| 3.2.1 O CH <sub>4</sub> biogás Simulator .....                                      | 32                            |
| 3.2.2 Relatório da Simulação .....  | 32                            |
| <b>3.2.3 Comparações entre os cálculos e o resultado obtido pelo software .....</b> | 35                            |
| <b>3.3 Análise de viabilidade econômica do Projeto .....</b>                        | 35                            |
| 4. Conclusão .....  | 38                            |
| 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....   | 38                            |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6. Referências Bibliográficas .....</b> | <b>39</b> |
|--|-----------|

## 1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos utilizou-se combustíveis minerais e derivados de petróleo como principais fontes de energia no mundo, porém com o aumento dos problemas políticos, econômicos e ambientais pelo qual o mundo tem passado nas últimas décadas, criou-se uma grande necessidade de se investir na produção de energia sustentável. Mudanças climáticas, assim como emissão de gases de efeito estufa (GEE), ainda são problemas atuais que estão alterando as características físico-químicas da atmosfera e comprometendo o equilíbrio natural da biosfera e da qualidade de vida no Planeta. A busca por fontes renováveis e menos poluentes surge como alternativa para reverter, controlar e mitigar os problemas apresentados.

A produção de eletricidade no Brasil, segundo o boletim do Ministério de Minas e Energia, janeiro de 2017, possui uma grande dependência das Hidroelétricas (incluindo a importação de Itaipu) com 67,9% e dos combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral, os quais representam 16,6 % da matriz elétrica do país. Já a biomassa representa cerca de 9%, e a energia eólica próxima a 6,5%. Evidencia-se com isso a grande dependência das Hidroelétricas, expondo o país a sérios problemas quando ocorre grandes períodos com falta de chuva, nos reservatórios das Hidroelétricas.

A ausência de chuva nas regiões que concentram as hidrelétricas tem-se mostrado um grande problema na produção de eletricidade, forçando a inserção de termoeletricas para compensar a queda na produção elétrica, com isso o preço do kW tende a se elevar, ocorrendo um aumento significativo da emissão de gases poluentes.

Nesse contexto ocorre uma crescente busca por novas e menos poluentes formas de produção de energia, uma dessas novas fontes é a biomassa.

Pode ser considerada biomassa todos os materiais que têm a propriedade de se decompor por efeito biológico, ou seja, pela ação das bactérias, como exemplos de biomassa temos: madeira, esterco, resíduos agrícolas, resto de alimentos, a biomassa é capaz de gerar gases que podem ser convertidos em energia elétrica.

Dentre os principais métodos de conversão da biomassa pode-se citar liquefação, pirólise, gaseificação e combustão. A gaseificação é a transformação de matéria-prima sólida ou líquida em combustível gasoso ou matéria-prima química útil e conveniente que pode ser queimada para liberar energia ou usada para a produção de produtos químicos de valor agregado, O processo de gaseificação adiciona hidrogênio e tira o carbono da matéria-prima para produzir gases com uma relação hidrogênio-carbono (H / C) mais alta (Basu,2010).

Um dos subprodutos extraído da biomassa é justamente o biogás, que possui um

grande poder calorífico o que o torna uma boa opção para produção de eletricidade. O biogás pode ser produzido pela decomposição da biomassa por bactérias metanogênicas, a quantidade produzida depende de alguns fatores como, pH, temperatura, relação carbono/nitrogênio. Pode-se dizer que é um aproveitamento da luz solar, que utiliza para isso, resíduo orgânico animais e ou vegetal, tais como: excrementos animais, plantas aquáticas, folhagens e gramas, restos de alimentos, cascas de cereais, resíduos residências e industriais entre outros.

Nesse processo de obtenção de eletricidade através da biomassa se faz necessário a utilização da tecnologia dos biodigestores para tratamento e aproveitamento dos resíduos orgânicos, residenciais ou mesmo industriais. Os biodigestores são equipamentos de fabricação simples que permite a conversão da biomassa em gás e adubo, nele ocorrem a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio, gerando principalmente o gás carbônico e o metano, com alto poder de combustão, o que possibilita ser usado como combustível de automóveis, fonte de energia térmica em processos industriais ou mesmo para produzir energia elétrica.

No Brasil existe um constante aumento do rebanho bovino, para produção de leite ou mesmo para o consumo da carne, o que leva ao aumento significativo da quantidade dejetos produzidos. Essa biomassa quando elaborada de forma adequada pode se tornar uma importante alternativa para produção de energia renovável.

Segundo a USDA/FAO o rebanho bovino no Brasil alcançou 226,03 milhões de cabeças em 2016, em termos efetivos de animais, ocupando o segundo lugar na produção de bovinos no mundo ficando atrás apenas da Índia que possui um rebanho superior a 303 milhões de cabeças.

Segundo o IBGE censo 2015 publicado em 29/09/2016 os maiores rebanhos bovinos do Brasil localizam-se em Mato Grosso (líder com 28,592 milhões de cabeças, 13,5% do gado nacional), Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Pará. A tabela 1 nos mostra o Ranque de produção de bovinos no mundo.

**TABELA 1 - Dados do Rebanho Bovino nos Principais Produtores Mundial.**

| <b>Rebanho bovino, em milhões de animais</b> |                |             |          |
|--|----------------|-------------|----------|
| <b>Mundo 998,31</b>                          |                |             |          |
| <b>Rank</b>                                  | <b>País</b>    | <b>2017</b> | <b>%</b> |
| 1  | Índia          | 303,35      | 30,39%   |
| 2  | Brasil         | 226,03      | 22,64%   |
| 3  | China          | 100,08      | 10,03%   |
| 4  | Estados Unidos | 93,50       | 9,37%    |
| 5  | União Européia | 89,25       | 8,94%    |
| 6  | Argentina      | 53,51       | 5,36%    |

**FONTE: USDA/FAO.**

Esse projeto proporciona o estudo, dimensionamento e analisar econômica de resíduo orgânico bovino como alternativa para produzir eletricidade capaz de suprir a demanda em uma propriedade rural, sendo utilizado como matéria prima resíduo orgânico animal, uma vez que a matéria prima em questão é abundante e não aproveitada, além de contribuir com a preservação do meio ambiente. Trazendo conhecimento e discussões a respeito deste tema.

### **1.1 Objetivo geral**

Estudar o aproveitamento de dejetos orgânicos animais, especialmente dos bovinos, como fonte de biomassa para a obtenção de energia elétrica, por meio de um processo de biodigestão através da decomposição por bactérias metanogênicas.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Estudo da geração de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis, em especial, a biomassa.
- Dimensionamento do potencial energético através das características energéticas do esterco bovino, como biomassa.
- Análise da viabilidade econômica de geração de energia através da biomassa usando dejetos animais (esterco) em biodigestores.
- Dimensionar o sistema de geração de energia a ser instalada no local.

Para esse projeto foi escolhido a sítio Fazenda Carneiro, município de Santa Tereza, interior do estado do Espírito Santo com uma área estimada de 18 ha e um rebanho de 40 animais entre engorda e lactação.

## **2 EMBASAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 Biomassa**

Biomassa é toda matéria orgânica proveniente de plantas, animais e microrganismos capaz de ser decomposta por bactérias metanogênicas, na ausência de oxigênio. Segundo Basul (2010), A biomassa também inclui gases e líquidos recuperados da decomposição de materiais orgânicos não fossilizados e biodegradáveis.

### 2.1.1 A Biomassa e a energia

As reservas finitas das fontes de energia não renováveis como petróleo, gás natural, carvão mineral, que sofreram um processo de milhões de anos de decomposição orgânica para serem formados, ou mesmo minerais como urânio, aliado ao uso intenso, pela humanidade, na produção de energia, criam um panorama nada animador sobre o futuro da matriz energética do mundo. As pesquisas na busca por combustíveis renováveis e menos poluentes ao meio ambiente têm sido desenvolvidas por vários países do mundo e uma que vem crescendo com bons resultados está na área da biomassa, com a produção de energia usando biogás obtido através de biodigestores.

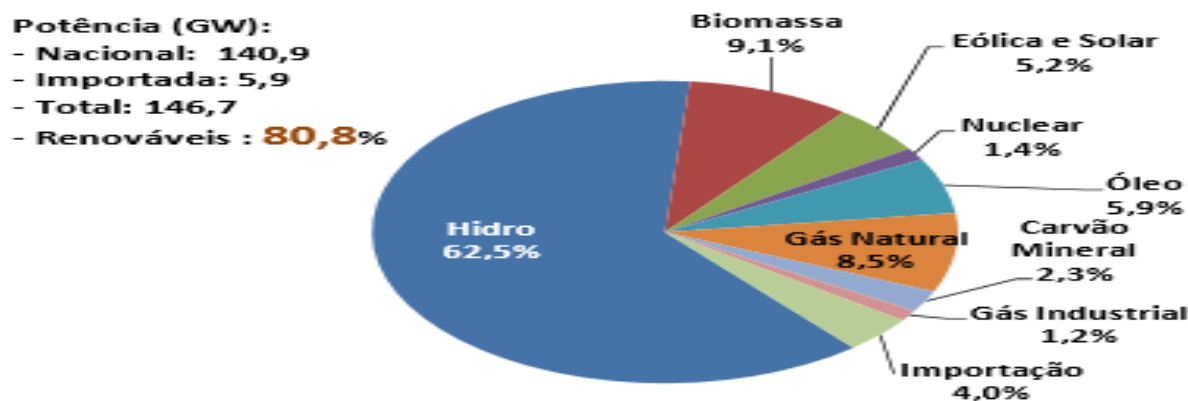
O resíduo orgânico bovino possui uma alta densidade energética, portanto tem um grande potencial para produção de energia elétrica, além de ser uma matéria prima farta, principalmente no Brasil, por possuir um grande rebanho bovino, a Tabela 2 fornece a composição química de diversos resíduo orgânico animal.

**TABELA 2: Composição química de diversos resíduos de origem animal (valores médios sobre base seca).**

| MATÉRIA prima  | Lipídios (%) | Proteínas (%) | Celulose Hemicelulósica (%) | Lignina (%) | Cinza (%) |
|----------------|--------------|---------------|-----------------------------|-------------|-----------|
| <b>Bovino</b>  | 3,23         | 9,05          | 32,49                       | 35,57       | 19,66     |
| <b>Suíno</b>   | 11,50        | 10,95         | 32,39                       | 21,49       | 23,67     |
| <b>Aves</b>    | 2,84         | 9,56          | 50,55                       | 19,82       | 17,23     |
| <b>Equino</b>  | 2,70         | 5,00          | 40,50                       | 35,00       | 17,80     |
| <b>Ovino</b>   | 6,30         | 3,75          | 32,00                       | 32,00       | 25,95     |
| <b>Caprino</b> | 2,90         | 4,70          | 34,00                       | 33,00       | 26,40     |

Fonte: Varnero, 2011.

O Brasil é hoje um grande produtor e consumidor de biomassa para produção de energia, conforme apresentado na figura1. O clima, assim como a vasta extensão territorial contribuem para o crescimento dos agronegócios brasileiro.



**Figura 1 - Oferta de potência de geração elétrica no Brasil.**

Fonte: MME (05/2016).

O aperfeiçoamento de novas tecnologias, assim como a necessidade de preservação do meio ambiente possibilita, a biomassa, em um futuro próximo um papel de destaque na produção de energia.

Dentre os principais tipos de biomassa para produção de eletricidade destacam-se a casca de arroz, casca de coco verde, eucalipto, pellets de madeira, ouriço da castanha, dejetos animais (bovinos, suínos, aves) resíduos urbanos e industriais.

### 2.1.2 Composição química da biomassa animal

Segundo Miranda (2006), o desenvolvimento da bovinocultura trouxe consigo a produção de grandes quantidades de dejetos, os quais pela falta de disposição e tratamento adequados têm se transformando em uma das maiores fontes poluidoras, causando vários problemas para o produtor, a comunidade e também ao meio ambiente.

A composição bioquímica desses resíduos favorece ao desenvolvimento de bactérias que atuam na atividade anaeróbica. A Tabela 3 fornece porcentagens de sólidos totais (sólidos que permanecem após a evaporação da água após aquecimento entre 103°C -105°C) e sólidos voláteis (é a parte do ST que se perde após calcinação a 600°C

**TABELA 3: Porcentagem de sólidos totais e voláteis para distintas espécies pecuárias.**

| Resíduo          | ST (%)             | SV (%) |
|------------------|--------------------|--------|
| Chorume de porco | 3-8 <sup>1</sup>   | 70-80  |
| Esterco bovino   | 5-12 <sup>1</sup>  | 75-85  |
| Estrume          | 10-30 <sup>1</sup> | 70-80  |

<sup>1</sup> Segundo diluição Fonte: Steffen et ao (1998).

Segundo Primavesi (2007), a pecuária contribui para a emissão de: metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre outros, na atmosfera, os populares gases de efeito estufa (GEE).

Segundo HESS (1979), os dejetos de animais quando lançados no meio ambiente sem que haja um devido tratamento podem contaminar cursos d'água, devido à precipitação de água da chuva, ou mesmo pela disposição direta, no solo ou nos rios, da água dos estábulos sem tratamento. As principais formas de poluição por dejetos são poluição biológica, física e físico-química, (PARCHEN, 1981). A poluição biológica ocorre pela deposição dos dejetos diretamente nos rios e seus afluentes aumentando com isso a quantidade de material orgânico



(nutrientes) e propiciando um aumento considerável de algas, causando eutrofização dos rios e conseqüentemente morte da vida aquática, (PARCHEN, 1981).

Segundo MARGULIS, (1990), a poluição física ocorre pelas modificações de cor, turbidez e alterações de temperatura do meio aquático. A poluição físico-química fica evidenciada na alteração do pH, da pressão osmótica bem como na tensão superficial das águas, a tabela 4 nos mostra os parâmetros físicos e químicos do esterco bovino

Além de todos esses problemas a poluição dos rios pode ainda causar condições adequadas para desenvolvimento de vetores transmissores de doenças.

**TABELA 4- Parâmetros físicos e químicos do esterco bovino.**

| <b>Parâmetros (unidade)</b>   | <b>Teores</b> |
|-------------------------------|---------------|
| pH                            | 7,3           |
| Cinza (%)                     | 74,0          |
| Matéria seca (%)              | 20            |
| Matéria orgânica (g/kg)       | 154           |
| Nitrogênio total (%)          | 1,84          |
| Relação C/N                   | 7/1           |
| Fósforo Total (%)             | 5,10          |
| Potássio (%)                  | 2,85          |
| Cálcio (%)                    | 10,80         |
| Magnésio (%)                  | 0,60          |
| Alumínio (%)                  | 0,0           |
| Enxofre (%)                   | 0,36          |
| Ferro (%)                     | 0,30          |
| Manganês (g/dm <sup>3</sup> ) | 290,0         |
| Cobre (g/dm <sup>3</sup> )    | 54,0          |
| Zinco (g/dm <sup>3</sup> )    | 800,0         |
| Boro (g/dm <sup>3</sup> )     | 140,0         |
| Sódio (%)                     | 0,25          |

**FONTE: MARGULIS, (1990).**

## **2.2 O Biogás**

É um combustível de grande poder calorífico, cujo valor energético flutua entre 5000 kcal e 7000 kcal, resultante da fermentação anaeróbia de material orgânico, chamado de biomassa. A composição desse gás varia de acordo com o tipo de material orgânico, a Tabela 5 mostra a composição típica do biogás e as proporções de metano e dióxido de carbono (Farret, 2014). O biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável capaz, quando aproveitado, de impulsionar as atividades agropecuárias dos pequenos e médios produtores além de contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa no planeta, contribuindo para aumentar a sustentabilidade, tanto na indústria quanto na agropecuária.

**TABELA5: Composição variável de gases no metano.**

| GÁS COMPONENTE                | PERCENTAGEM |
|-------------------------------|-------------|
| Metano (CH <sub>4</sub> )     | 60 a 70%    |
| Carbônico (CO <sub>2</sub> )  | 30 a 40%    |
| Nitrogênio (N)                | Traços      |
| Hidrogênio (H)                | Traços      |
| Sulfídrico (H <sub>2</sub> S) | Traços      |

**Fonte: Farret, Felix A. (2014).**

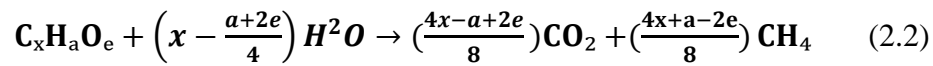
Das fontes renováveis de produção de energia, sem dúvida a biomassa, produtora do biogás, é uma das que mais contribuem para a conservação do meio ambiente, pois além diminuir a quantidade de gases causadores do efeito estufa jogados na atmosfera ainda contribui para a não poluição dos solos e nem dos rios e lençóis freáticos. Isto ocorre porque o biogás é produzido a partir da biomassa contida nos dejetos orgânicos e ou restos de materiais vegetais (urbanos, industriais e agropecuários) e em esgotos.

Nesse processo, a biomassa passa do estado sólido para o gasoso devido à ação de bactérias e micro-organismos que decompõem a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico (sem ar).

A Equação 2.1 nos mostra o processo global de geração do biogás podendo ser resumida como:



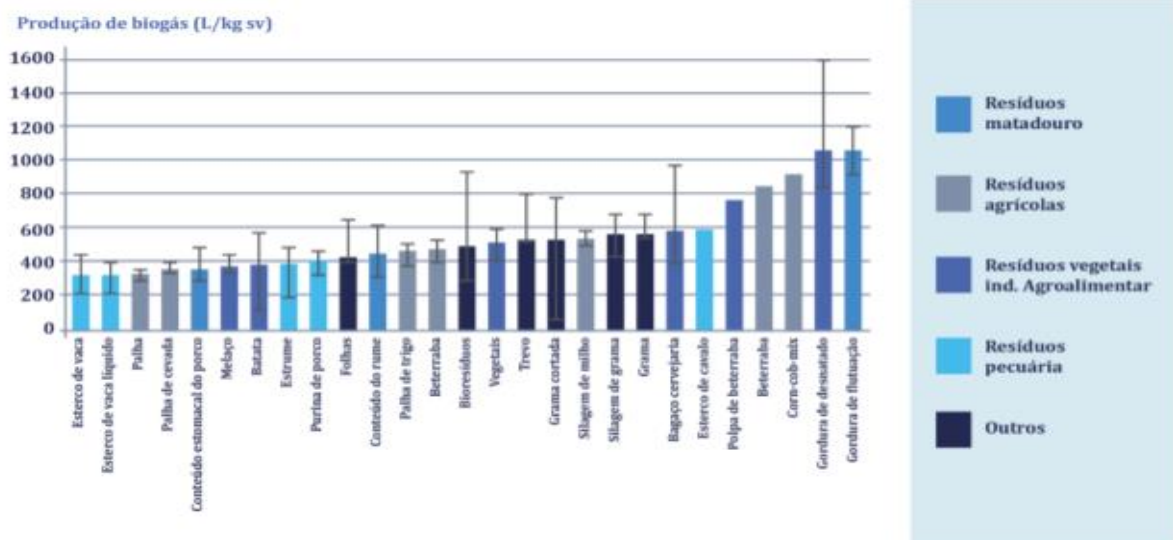
A Produção do biogás em uma digestão anaeróbica depende da composição da biomassa. Pela estequiometria na Equação 2.2 abaixo pode-se ter uma aproximação:



As letras x, a, e, são respectivamente os valores 6, 12, 6 que é justamente a proporção do composto orgânico a ser degradado.

Segundo esta equação, pode-se deduzir que por cada kg de DQO (demanda química de oxigênio), que é a quantidade necessária para oxidar os compostos, além de ser uma medida do conteúdo total de matéria orgânica, sem diferenciar entre o que será convertido pelos microrganismos e o que não será, isso é, para a degradação anaeróbica completa de 1kg de DQO, teoricamente se obtém 0,35 m<sup>3</sup> de metano, medidos em condições normais. Conhecendo a composição em volume de biogás, pode-se determinar o volume que será gerado (Marañón E., et al, 1998), na Figura2 podemos observar a proporção de biogás por kg de sólidos voláteis

**Figura 2: Potencial máximo de biogás de resíduos da indústria, agroalimentar, pecuária e outros.**



Fonte: Ainia, Probiogás 2010.

### 2.2.1 Composição química e seu processo:

De acordo com ONUDI, 2014, o biogás é composto basicamente por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), portanto é um gás que pode contribuir com o aquecimento global, se jogado livremente na atmosfera, porém, quando utilizado para produção de energia essa biomassa será aproveitada e convertida em energia e fertilizante, diminuindo a agressão a natureza.

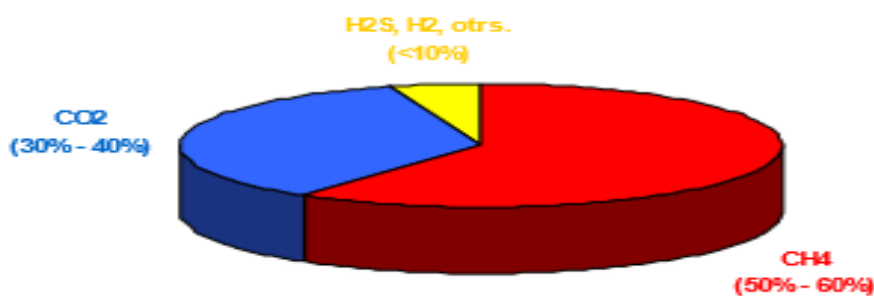
Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2016), as usinas de produção de energia movidas a biomassa da produção agropecuária produziram 10,5% a mais que o mesmo período do ano anterior, gerando 722,6 Megawatts (MW) médios, houve também um aumento das plantas movidas a biomassa do Sistema Interligado Nacional (SIN) alcançando uma produção em torno de 11,5 GW em março de 2016, algo em torno de 9,7% a mais que no ano anterior.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2017), 201 usinas geraram com bagaço de cana 5.572 MW. No Brasil todo, 394 usinas geraram 10.594 MW, colocando São Paulo hoje como o principal produtor de biogás no Brasil.

O metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, combustível que, quando entra em combustão, apresenta uma chama azul-lilás e pequenas manchas vermelhas, não deixando fuligem e diminuindo a poluição. O poder calorífico do biogás depende da quantidade de metano em sua composição, variando entre 5000 e 7000 Kcal/m<sup>3</sup>(Farret, 2014). O gás sulfídrico é um componente do biogás que apresenta um odor muito forte, sendo então necessário passar por um filtro para que ele seja removido do biogás.

Segundo Magalhães (1986), os gases carbônicos e sulfídricos merecem um tratamento especial pois são considerados como o principal problema na viabilização do armazenamento e na produção de energia, interferindo especialmente na qualidade do biogás, promovendo corrosão do sistema de condução do gás até sua transformação como fonte de energia elétrica ou térmica. O biogás está constituído principalmente por metano (50-60%) e dióxido de carbono (30-40%) e, em menor proporções, por nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, compostos orgânicos voláteis e sulfureto de hidrogênio. A composição média está na Figura 3: sem cheiro, altamente

**Figura3: composição química do biogás.**



**Fonte: Observatório de energias renováveis para América Latina e o Caribe (ONUDI)**

O processo de obtenção do biogás divide-se basicamente em 3 fases distintas:

Na fase 1 os carboidratos e lipídios são transformados por bactérias em ácidos graxos, glicose e aminoácidos.

Na fase 2 os ácidos graxos, glicose e aminoácidos produzidos na fase anterior são transformados por bactérias propion-bactéria, bactérias acetogênicas e bactérias acidogênicas, formando ácidos orgânicos, acetato, dióxido de carbono e hidrogênio.

Na fase 3 as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos para produzir metano  $\text{CH}_4$  e o dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ .

Na última fase tem-se um cuidado especial com as bactérias, pois nessa fase elas são responsáveis pela velocidade das reações.

### **2.2.2 Benefícios ambientais da Digestão Anaeróbica:**

A digestão anaeróbica promove muitos benefícios ao meio ambiente, quando realizada de forma adequada, alguns desses benefícios estão listados abaixo:

- Reduz o potencial contaminante dos resíduos orgânicos. Estes resíduos constituem um dos elementos mais contaminantes do meio ambiente.
- Reduz a contaminação de solos e água.
- Reduz as emissões de gases de efeito estufa.
- Tem benefícios adicionais ao cumprir com os objetivos do Protocolo de Kyoto.
- Menor potencial de contaminação dos lodos obtidos no processo.
- Os nutrientes dos lodos obtidos são mais suscetíveis de ser absorvidos pelas plantas e, assim, evitar a lixiviação do solo.
- Reduz os odores dos lodos agrícolas.
- Permite a gestão adequada dos resíduos.
- Evita a proliferação de insetos.
- Em regiões rurais, evita a derrubada de árvores para serem utilizadas como combustível.

### 2.2.3 Vantagens da digestão anaeróbica:

Apesar de ser um sistema extremamente simples a digestão anaeróbica possui várias vantagens no processo de conversão da biomassa para o biogás, abaixo algumas das mais importantes:

- A umidade dos resíduos não é um problema.
- Vários resíduos podem ser tratados de maneira conjunta (codigestão).
- Seu consumo energético é muito inferior ao dos processos aeróbicos.
- Produz-se no processo um gás combustível que pode ser facilmente aproveitado.
- Além do biogás produz, por exemplo, o biofertilizante que assim como biogás é resultante do processo de digestão anaeróbica.
- São sistemas simples e fáceis de administrar.
- Há uma ampla gama de tecnologias. As mais simples para o meio rural de países em desenvolvimento têm baixo custo.
- No âmbito rural, melhora-se a economia familiar ao produzir energia e o investimento é baixo. É um investimento a longo prazo e a manutenção é barata.

### 2.3 O biodigestor

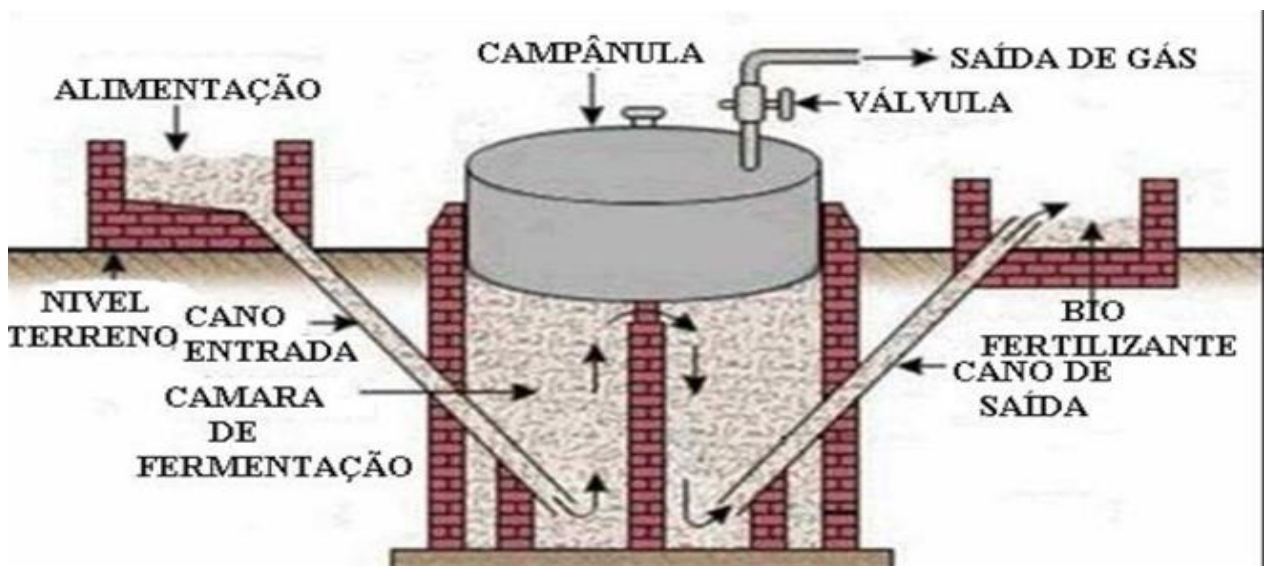
O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. O biofertilizante pode ser usado na preparação de solo para a plantação de culturas como feijão, milho e cana-de-açúcar. No Brasil, os biodigestores dentro do biodigestor que é totalmente fechado, sendo reaberto somente após a produção de biogás. Após a fermentação da biomassa, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado para um novo ciclo de produção de biogás. No modelo de produção contínua, o processo pode se desenvolver por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. A biomassa é colocada no biodigestor ao mesmo tempo em que o biofertilizante e o biogás são retirados. A figura 4 nos mostra um biodigestor em corte frontal onde é possível visualizar a entrada da biomassa, válvula, câmaras, tubulação, saída de gás.

Os modelos de biodigestores mais usados são: o canadense ou lagoa aberta, o indiano e o Chinês (Embrapa, 2008).

rurais vêm sendo utilizados, principalmente, para saneamento rural, tendo como subprodutos o biogás e o biofertilizante.

O biodigestor anaeróbico é um equipamento usado para a produção de biogás, que é uma mistura de gases produzida por bactérias que digerem matéria orgânica em condições anaeróbicas. Um biodigestor nada mais é que um reator químico em que as reações químicas têm origem biológica. Cada biodigestor tem uma característica. Existem os de produção descontínua e os de produção contínua. Na produção descontínua, a biomassa é colocada

**Figura 4: Biodigestor modelo indiano corte frontal.**



Fonte: INSTITUTO AEQUITAS.

### 2.3.1 Características dos Biodigestores

O biodigestor deve estar o mais próximo possível entre o ponto de coleta de esterco e a unidade geradora, preferencialmente em terrenos com declividade para facilitar o

recolhimento e a distribuição do biofertilizante, além disso, o piso dos biodigestores é projetado de forma a suportar a carga hidráulica sobre ele.

### 2.3.2 O biodigestor Canadense

O biodigestor modelo Canadense ou lagoa aberta é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás e evita o entupimento. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada. A figura 5 mostra um biodigestor modelo canadense em atividade.

**Figuras 5: - Modelo de biodigestor canadense.**



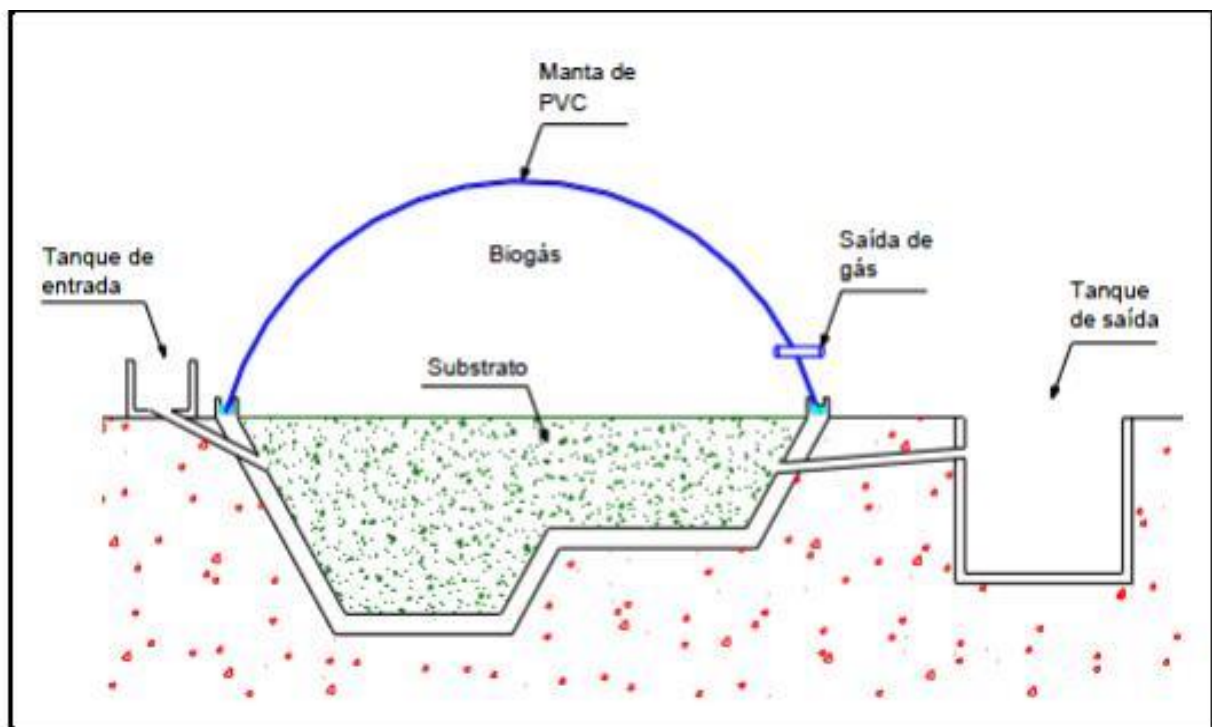
**Fonte: EMBRAPA, (2009).**



O Biodigestor modelo canadense caracteriza-se por possuir uma base retangular construída de alvenaria, onde é depositado a biomassa, a área de exposição ao sol, por ser horizontal, é bem maior que os modelos chinês e indiano, o que possibilita um aumento da produção e diminui a ocorrência de entupimento da tubulação, sua cúpula normalmente é feita de um material maleável, uma geomembrana sintética de Polietileno de alta densidade (PEAD) a Figura 8 mostra um esquemático do modelo canadense.

De acordo com FERNANDES, 2012, é mais usado em regiões quentes onde a temperatura ambiente ajuda a manter a temperatura no biodigestor em níveis adequados para a realização do processo de digestão anaeróbica.

**Figura 8 - Esquemático de um biodigestor canadense.**



**Fonte: NISHIMURA (2009)**

### 2.3.3 Biodigestor Chinês

O biodigestor modelo Chinês foi desenvolvido voltado para as pequenas propriedades rurais. É um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaços, este modelo tem o custo mais barato em relação aos outros, pois sua cúpula também é feita em alvenaria. A figura 6 mostra um biodigestor modelo chinês construído

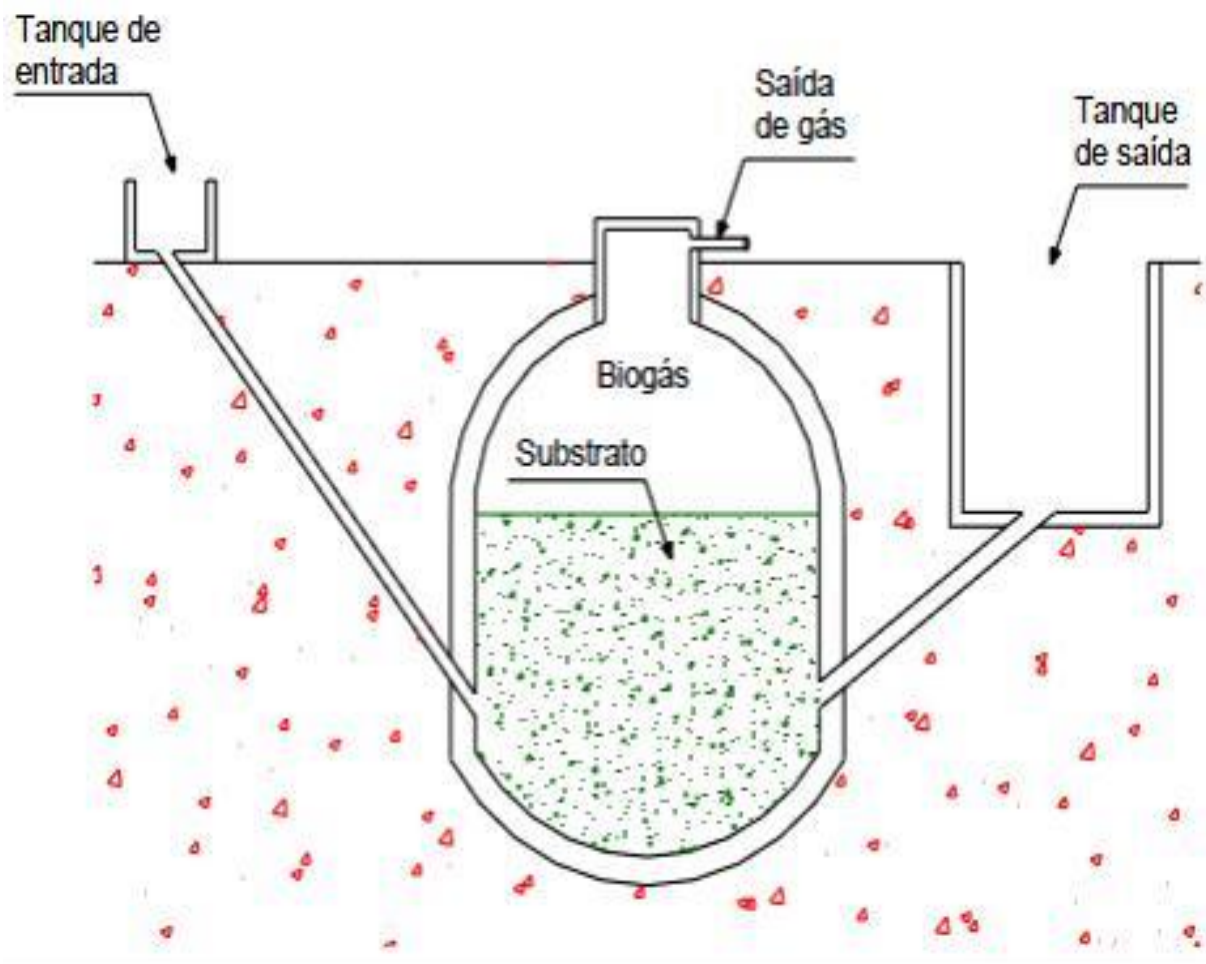
**Figura 6: - Modelo de biodigestor Chinês.**



**Fonte: EMBRAPA (2009).**

O Biodigestor modelo chinês difere fundamentalmente do indiano por não dispor de um gasômetro e, em decorrência disso, produz gás a uma pressão variável. Desse modo, o gás é armazenado no interior do próprio reator, sendo construído totalmente enterrado no solo. A Figura 9 mostra um esquemático do biodigestor modelo chinês.

**Figura 9: Esquemático de um biodigestor chinês.**



**Fonte: NISHIMURA (2009).**

O custo de construção do biodigestor modelo chinês é inferior ao do biodigestor modelo indiano, por não necessitar de gasômetro e utilizar materiais de menor custo e de fácil aquisição (NISHIMURA, 2009). Entretanto, esse biodigestor requer cuidados especiais na sua construção para evitar vazamentos, principalmente do biogás (NISHIMURA, 2009). Sabe-se que nesse biodigestor, quanto maior for a quantidade de gás no interior da câmara, maior será a pressão, fazendo com que o efluente se desloque para o tanque de saída, e em sentido contrário quando ocorre uma descompressão (FERNANDES, 2012).

### 2.3.4 Biodigestor Indiano

O biodigestor Indiano tem sua cúpula geralmente feita de ferro ou fibra. Nesse tipo de biodigestor, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Assim como o chinês, ocupa pouco espaço e a construção por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto. A Figura 7 é um exemplo do modelo indiano.

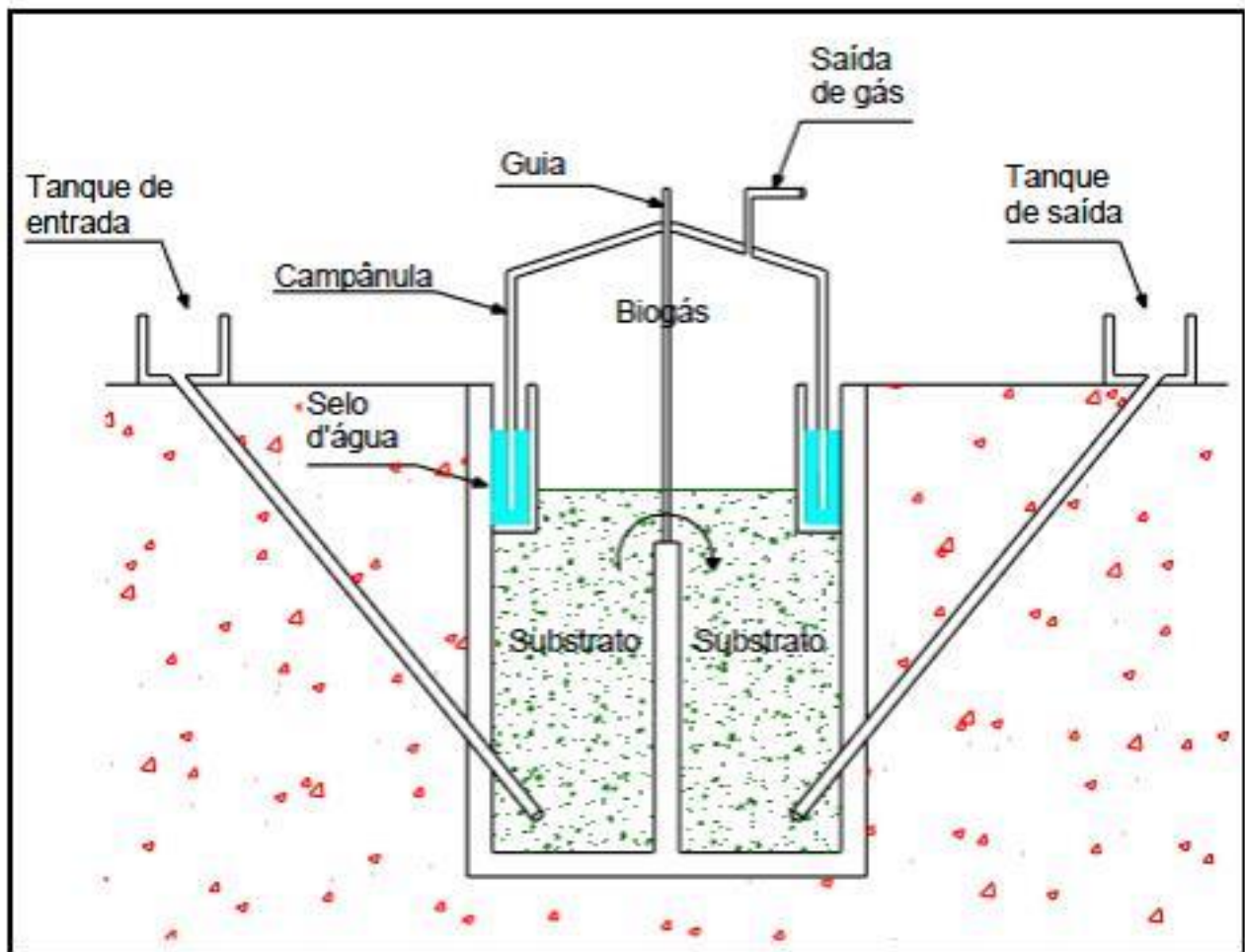
**Figura 7: Modelo de biodigestor indiano.**



**Fonte: EMBRAPA, (2009).**

O biodigestor modelo indiano normalmente tem sua cúpula feita de ferro ou fibra, nele ocorre um maior aproveitamento da temperatura do solo, pois sua construção é subterrânea e caracterizado por possuir gasômetro, o que facilita a identificação da quantidade de gás produzido, fazendo dele um biodigestor de pressão constante, e uma parede central que divide verticalmente o reservatório de fermentação em duas câmaras. Em uma metade é conectado o tubo de entrada e na outra metade o tubo de saída (NISHIMURA, 2009), construído com tijolos e revestido internamente por cimento e impermeabilizantes. A Figura 10 mostra o esquemático de um biodigestor indiano.

**Figura 10: Esquemático de um biodigestor indiano.**



Fonte: NISHIMURA (2009).

De acordo com Nishimura (2009), a função das duas câmaras é possibilitar a circulação do material em fermentação no interior do cilindro. A porção do substrato que entra no biodigestor vai para o fundo e, com o avanço do processo, fica menos densa, até cair para a outra metade da câmara. Para que o gás não escape, na parte superior do cilindro há uma campânula que flutua sobre o próprio substrato (biomassa) ou sobre um selo d'água. Assim, este mecanismo permite que a pressão no interior do biodigestor permaneça constante, mesmo com a variação do volume.

#### **2.4 Fatores que afetam a biodigestão anaeróbia.**

Para uma biodigestão anaeróbia eficiente deve-se controlar o pH entre 6 e 8, e ter uma homogeneização da temperatura para melhorar a distribuição dos produtos intermediários e finais no biodigestor e reduzir a camada de lodo na parte superior, aumentando com isso a produção.

Segundo Farret (2014), três condições devem ser observadas:

- Relação carbono/nitrogênio: O nitrogênio é essencial para formação e multiplicação de bactérias, porém em grande quantidade pode induzir a formação de amônia que com o aumento para a produção de biogás, já carbono é responsável pela geração de energia.
- Concentração de sólidos: Deve-se manter entre 7 e 9%, para que não ocorra formação de lodo na parte superior, facilitar a movimentação do material no digestor, obter uma boa produção de fermentação e permitir uma boa digestão.

O período de retenção do substrato no biodigestor é o tempo que decorre entre a entrada e a saída da biomassa no biodigestor, ou seja, o tempo de digestão. Geralmente esse tempo fica em torno de 20 a 50 dias, sabendo-se que o tempo ótimo de digestão ocorre quando o biofertilizante não apresenta na saída odor e presença de moscas.

A temperatura ideal para as bactérias metanogênicas são:

- Psicofílicas: ótimo crescimento a 20°C;
- Mesofílicas: ótimo crescimento a 35°C;
- Termofílicas: ótimo crescimento a 55°C.



A capacidade do biodigestor a ser instalado em uma propriedade rural é determinada em função do número de pessoas e de suas necessidades energéticas mínimas, em média tem-se que o uso de 4,5 m<sup>3</sup> de biogás é suficiente para iluminação e cozimento para uma família de 5 pessoas, portanto seriam necessários 11 bovinos adultos produzindo dejetos (esterco) para sustentar esse consumo diário.

## 2.5 Dimensionamento do biodigestor

Para o cálculo do volume do biodigestor, segundo SGANZERLA (1983), se faz através da multiplicação do volume de carga diária, que são o volume de dejetos acrescidos da mesma quantidade de água com o tempo de repouso no biodigestor. Através da Equação 2.3 calcula-se a capacidade que deve ter o biodigestor, a tabela 6 nos mostra alguns exemplos do rendimento do esterco (incluído a água) em biogás e biofertilizante

$$V_b = V_c * TRH \quad (2.3)$$

Sendo:

V<sub>b</sub>= volume do biodigestor.

V<sub>c</sub>= volume da carga (esterco + líquido).

THR= Tempo de retenção hidráulico

**TABELA6: Rendimento de esterco (incluso água) em biogás e fertilizantes.**

| Capacidade de produção/dia | Esterco bovino/dia | Biogás (CH <sub>4</sub> )/dia | Fertilizante Líquido (l) | Rendimento Biogás (CH <sub>4</sub> )/m <sup>3</sup> |
|----------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------|---|
| 2m <sup>3</sup>            | 60/70kg            | 1,4m <sup>3</sup>             | 52                       | 0,7m <sup>3</sup>                                   |
| 5m <sup>3</sup>            | 150/170kg          | 3,5m <sup>3</sup>             | 130                      | 0,7m <sup>3</sup>                                   |
| 10m <sup>3</sup>           | 300/340kg          | 7,0m <sup>3</sup>             | 260                      | 0,7m <sup>3</sup>                                   |
| 15m <sup>3</sup>           | 450/515kg          | 10,5m <sup>3</sup>            | 390                      | 0,7m <sup>3</sup>                                   |
| 20m <sup>3</sup>           | 600/690kg          | 14,0m <sup>3</sup>            | 520                      | 0,7m <sup>3</sup>                                   |
| 25m <sup>3</sup>           | 750/850kg          | 17,5m <sup>3</sup>            | 650                      | 0,7m <sup>3</sup>                                   |

Fonte: Emater/PR

Note que existe um coeficiente de rendimento de 0,7.

Conhecido a capacidade volumétrica do biodigestor temos então condições de estimar o espaço físico para sua construção.

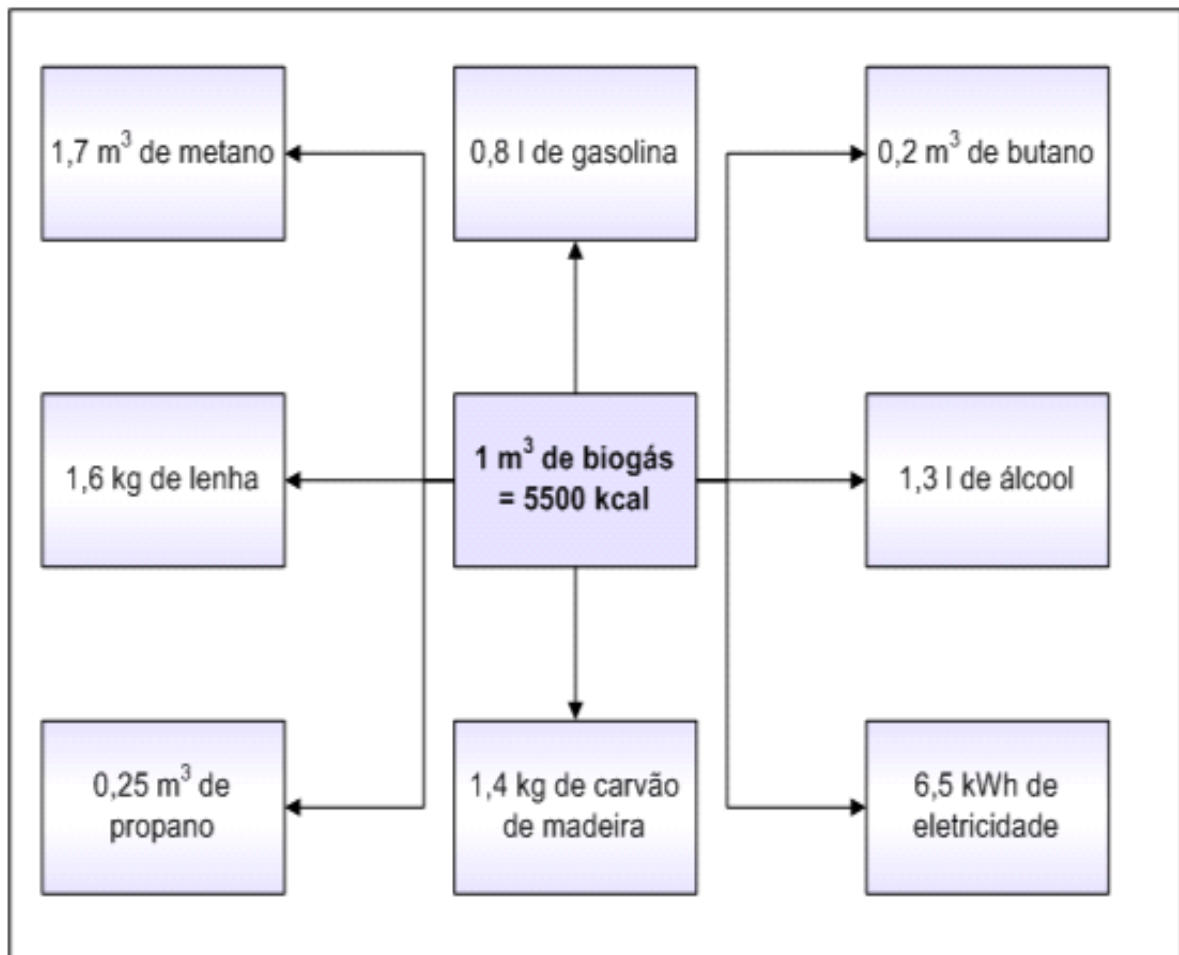
De acordo com IEHAM (2008), um biodigestor com capacidade volumétrica de 30 m<sup>3</sup> do tipo canadense por exemplo deve possuir algo em torno de 1,5 m de profundidade, com 8 m de comprimento por 1,5 m de largura na base menor, e 10 m de comprimento por 3,5 m de largura na base maior, entrada e saída de material orgânico com diâmetro de 150 mm para conexão com canos de PVC, saída de biogás com 9 mm de diâmetro, um purificador, composto químico acondicionado em material plástico utilizado para a retirada, tratamento ou

purificação do componente corrosivo do biogás, o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), para proteção dos equipamentos que processam o biogás, medidor de vazão para o biogás, equipamento específico para gases com baixa pressão como o biogás, lona de armazenamento, bomba de biogás de 15 W utilizada para pressurizar o biogás na rede de abastecimento de gás e um gerador de 1200 W.

Segundo COLDEBELLA et al. (2006) são necessário 0,4751 m<sup>3</sup> de biogás para gerar 1 kWh de energia.

A Figura 11 faz algumas comparações entre o biogás e outras fontes de energia, como gasolina, álcool entre outros.

**Figura11: Equivalência energética do biogás (60% de metano).**

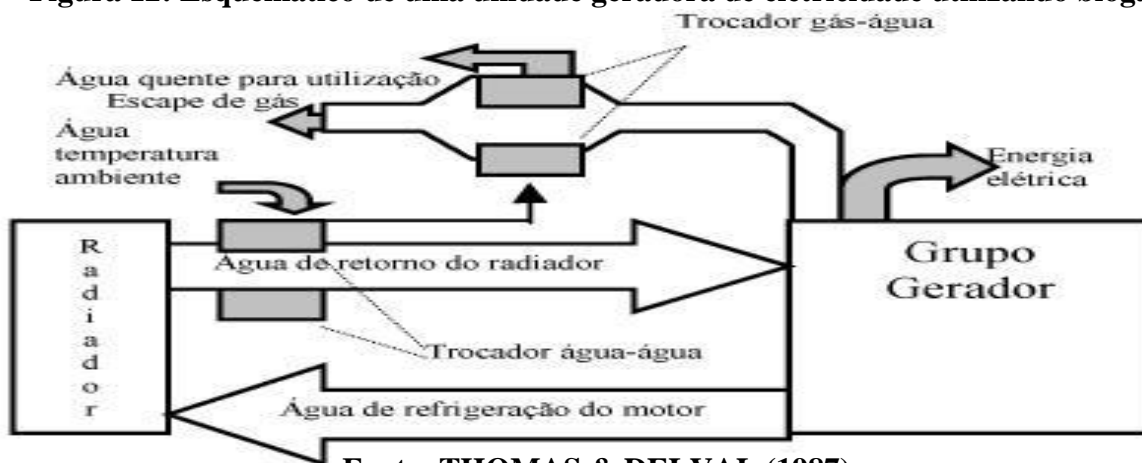


**Fonte: WALSH et al (1988) & CCE (2000).**

## 2.6 Geração de eletricidade usando biogás

Para a instalação de uma pequena central que utilize o biogás para produção de energia elétrica, com pequenas potências, dever-se acoplar um motor de combustão interna (MCI) a geradores de energia elétrica sendo que esses motores devem funcionar bem à base de gás, para acionarem geradores elétricos. A figura 12 apresenta uma unidade geradora padrão.

**Figura 12: Esquemático de uma unidade geradora de eletricidade utilizando biogás**



Fonte: THOMAS & DELVAL (1987)

Segundo Farret, Felix A (2014), os motores devem ser alimentados pelo biogás que foram produzidos no interior dos biodigestores, estes são acoplados à turbina, acionando o gerador e produzindo energia elétrica. A Tabela 7 nos mostra uma média de consumo do biogás de cada motor, mediante sua potência.

**TABELA7: Consumo médio de biogás por motores.**

| Motor (HP) | Consumo médio m <sup>3</sup> /h |
|------------|---------------------------------|
| 1,0        | 0,45                            |
| 2,0        | 0,92                            |
| 5,5        | 2,24                            |
| 9,0        | 3,16                            |

Fonte: Farret, Felix A (2014).

A Tabela 8 mostra que 1 m<sup>3</sup> consegue um total de 6.148,98 kcal e mostra a quantidade necessária de outros combustíveis, para alcançar a mesma quantidade de kcal.

A Tabela 9 mostra uma estimativa do consumo doméstico para uma residência com 5 ou 6 pessoas.



**TABELA 8: Equivalência energética por m<sup>3</sup> de biogás para aquecer 6.148,98 kcal.**

| Combustível  | Quantidades equivalentes |
|--------------|--------------------------|
| Gasolina     | 0,98 litros              |
| Álcool       | 1,34 litros              |
| Óleo cru     | 0,72 litros              |
| Gás natural  | 1,5 m <sup>3</sup>       |
| Carvão       | 1,51 m <sup>3</sup>      |
| Eletricidade | 2,21 kwh                 |

**Fonte: Farret, Felix A (2014).**

**TABELA 9: Uso doméstico de gás base 5/6 pessoas**

| Uso                       | Biogás                        |
|---------------------------|-------------------------------|
| Cozinha                   | 1,96 m <sup>3</sup>           |
| Banheira                  | 0,588 m <sup>3</sup>          |
| Chuveiro                  | 0,336 m <sup>3</sup>          |
| Refrigeração de alimentos | 2,800 m <sup>3</sup>          |
| Iluminação                | 0,140 m <sup>3</sup>          |
| Gasolina (combustível)    | 0,500 m <sup>3</sup> /cv/hora |

**Fonte: Farret, Felix A (2014).**

A Equação 2.4 pode ser utilizada para estimar o potencial energético para alta e média vazão.

$$PE = Q_{\text{biogás}} \cdot PCI_{\text{biogás}} \cdot N_{\text{gerador}} \cdot \frac{4,1868}{86.400} \quad (2.4)$$

Onde:

PE = Potência elétrica em (kW)

Q biogás = Vazão do biogás (m<sup>3</sup>/dia)

PCI = Poder calorífico inferior do biogás em (kcal/m<sup>3</sup>)

N gerador = Rendimento do gerador (%)

4,1868 = Fator de conversão " kcal" para "kj"

86.400 = Fator de conversão dias para segundos

Dessa forma podemos dimensionar os geradores para que não fiquem sobrecarregados.

Através da Equação 2.5 podemos estimar a produção elétrica anual, para essa estimativa deve ser considerado a eficiência mínima do reator (biodigestor) e o rendimento nominal do gerador

$$E = Q_{\text{biogás}} \cdot P_{C_{\text{biogás}}} \cdot N_{\text{gerador}} \cdot \frac{4,1868}{3600} \quad (2.5)$$

Onde:

E = Energia elétrica estimada em um ano (kWh)

3.600 = Fator de conversão para hora

## 2.7 Análise da viabilidade econômica

Ao se fazer um projeto de engenharia um dos mais importantes objetivos é a avaliar se o projeto é rentável, ou seja, vai trazer lucros ou não, mesmo os projetos mais bem elaborados podem simplesmente não ser viável economicamente, ou seja, podem não ser lucrativo, portanto é necessário usar indicadores de viabilidade econômica tais como: VPL, Payback, TMA e a TIR para ter certeza se esse projeto pode ou não ser executado.

O VPL (valor presente líquido), também conhecido como VAL (valor atual líquido) é uma fórmula matemática-financeira muito importante, pois é capaz de determinar o valor no presente das parcelas, recebíveis e pagamentos futuros descontado uma taxa de juros a ser considerada pela empresa e descontado o investimento inicial, esse método leva em conta o valor do dinheiro no tempo, além de considerar o custo do capital da empresa ou seja uma taxa de juros mínima, porém leva em conta valores absolutos. O VPL pode ser calculado pela Equação 2.5 listada abaixo.

$$VPL = PGTO \cdot \left( \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} \right) \quad VPL = -\text{investimento} + VP \text{ (vida útil da planta)} \quad (2.5)$$

$VPL > 0$  viável,  $VPL < 0$  inviável e  $VPL = 0$  indiferentes.

Onde:

PGTO = Parcelas ou pagamentos (mensais, anuais, bimestrais etc.)

VP = Valor do investimento inicial

A taxa de juros que será considerada para o cálculo do valor presente, é também conhecida como TMA (taxa mínima de atratividade), que pode ser uma taxa de investimento fixo da empresa ou mesmo estabelecidos para cada projeto individualmente pela empresa.

Outra ferramenta de análise de viabilidade econômica muito importante é o PAYBACK (tempo de retorno do investimento), que é simplesmente o prazo o qual a empresa consegue o

retorno do investimento inicial, ou seja, quando os ganhos se igualam ao investimento, é um método de cálculo extremamente simples que fornece uma ideia do grau da liquidez, que significa a velocidade que o capital investido retorna ao investidor e risco do projeto, que nada mais é do que a possibilidade do projeto não conseguir retornar o dinheiro investido, além de ser muito adequado a projetos que tem vida útil muito limitada.

Na Equação 2.6 tem-se a fórmula para o cálculo do PAYBACK.

$$\text{PAYBACK} = \frac{-\text{INVESTIMENTO INICIAL}}{\text{PAGAMENTOS POR PERÍODO}} \quad (2.6)$$

A TIR representa a taxa de retorno interna e é uma fórmula matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido. Em outras palavras, seria a taxa de retorno do investimento em questão.

A TIR é um dos indicadores essenciais em análises de retorno de projetos ou valoração de empresas, ou seja, analisa a viabilidade econômica dos projetos.

Observações:

- TIR pode ser obtida por processos iterativos de tentativa e erro
- Fluxo de Caixa Convencional, cujos investimentos antecedem as receitas líquidas (apenas uma inversão de sinal) tem uma única TIR
- Fluxo de Caixa Não Convencional, com mais de uma inversão de sinal, poderá ter mais de uma TIR.

Equação 2.7 para cálculo da TIR:

$$\text{VPL}=0 = \text{Investimento (Inicial)} + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t} \quad (2.7)$$

F = fluxo de caixa de cada período.

t = período em questão.

A análise é feita comparando o valor da TIR com a TMA podendo obter 3 resultados possíveis:

- TIR > TMA, logo o projeto é viável economicamente.
- TIR < TMA, logo o projeto não é viável economicamente.
- TIR = TMA, logo o projeto é indiferente para a execução.

A taxa mínima de atratividade, nesse caso, pode ser comparada por exemplo com o

investimento em uma caderneta de poupança pois essa é uma opção de fácil acesso, além de possuir uma alta liquidez.

A Equação 2.8 logo abaixo permite fazer a equivalência dos juros mensal para anual, o que em alguns casos pode poupar muito tempo e cálculos, para fazer a análise de viabilidade econômica.

$$(teq + 1) = (1 + i)^n \quad (2.8)$$

Onde:

teq = taxa de juros equivalente.

i = taxa de juros do período.

n = período para o qual quer a equivalência

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Fazenda Carneiro

##### 3.1.1 Projeto

A fazenda carneiro é uma pequena propriedade rural localizada na área rural do município de Santa Tereza, ES, está elaborando um projeto para estudar a viabilidade econômica para produção de energia elétrica a partir de biogás provenientes de um biodigestor para tratamentos de dejetos provenientes da pecuária, em especial leiteira.

No projeto estão previstos a construção de:

- Biodigestor com capacidade para a produção diária de dejetos.
- Sistema gerador para produção de energia elétrica

##### 3.1.2 Dados do Estudo

A Tabela 10 nos fornece uma média de material seco no esterco de algumas espécies.

**TABELA 10: - Porcentagem média de material seco no esterco.**

| Animal produtor | Matéria seca no esterco (%) |
|-----------------|-----------------------------|
| Bovinos         | 16,5                        |
| Equinos         | 24,2                        |
| Ovinos          | 34,5                        |
| Caprinos        | 34,8                        |
| Suínos          | 19,0                        |
| Aves            | 18,0                        |

**Fonte: Farret, Felix A. (2014).**

A Tabela 11 nos fornece uma relação de esterco / água para 3 porcentagens de conteúdo sólido, 7%, 8% e 9%

**TABELA 11: Relação esterco/água para 7,8 e 9% de conteúdo sólido.**

| Animal produtor | Sólidos<br>Preparação 7% | De | Sólidos<br>Preparação 8% | De | Sólidos<br>Preparação 9% | De |
|-----------------|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|
| Bovinos         | 0,74:1                   |    | 0,94:1                   |    | 1,20:1                   |    |
| Equinos         | 0,41:1                   |    | 0,49:1                   |    | 0,59:1                   |    |
| Ovinos          | 0,26:1                   |    | 0,30:1                   |    | 0,35:1                   |    |
| Caprinos        | 0,25:1                   |    | 0,30:1                   |    | 0,35:1                   |    |
| Suínos          | 0,58:1                   |    | 0,73:1                   |    | 0,90:1                   |    |
| Aves            | 0,64:1                   |    | 0,80:1                   |    | 1,00:1                   |    |

**Fonte: Farret, Felix A. (2014).**

A Tabela 12 mostra a quantidade de dejetos por animal semiestabulado (animais em regime de semiconfinamento) e a produção de gás a partir desses dejetos e a Tabela 13 nos indica uma média de consumo de biogás em alguns dispositivos

**TABELA 12: Produção de gás por dejetos de animais semiestabulado.**

| Material<br>(Esterco) | Kg de<br>Dejetos/dia | m <sup>3</sup> de gás/kg de<br>Dejetos | m <sup>3</sup> de<br>Gás/animal/dia |
|-----------------------|----------------------|--|-------------------------------------|
| Aves                  | 0,09                 | 0,055                                  | 0,0049                              |
| Bovinos               | 10,00                | 0,040                                  | 0,4000                              |
| Equinos               | 6,5                  | 0,048                                  | 0,3100                              |
| Ovinos                | 0,77                 | 0,070                                  | 0,0500                              |
| Suínos                | 2,25                 | 0,064                                  | 0,1400                              |

---

**Fonte: Farret, Felix A. (2014).**

**TABELA 13: Média de consumo de biogás para vários fins.**

| Uso               | Consumidor                       | Razão de Consumo                              |
|-------------------|----------------------------------|---|
| Cozinha           | Queimador com 5,0cm de diâmetro  | 0,32 m <sup>3</sup> /hora                     |
| Cozinha           | Queimador com 15,0cm de diâmetro | 0,63 m <sup>3</sup> /hora                     |
| Cozinha           | Por pessoa                       | 0,33 a 0,42 m <sup>3</sup> /hora              |
| Iluminação        | 1 Lâmpada (Fluorescente)         | De Camisinha 0,07 a 0,08 m <sup>3</sup> /hora |
| Iluminação        | 2 Lâmpada (Fluorescente)         | De Camisinha 0,14 m <sup>3</sup> /hora        |
| Iluminação        | 3 Lâmpada (Fluorescente)         | De Camisinha 0,21 m <sup>3</sup> /hora        |
| Potência ao Freio | Motor de combustão interna       | 0,45m <sup>3</sup> /HP /hora                  |

---

**Fonte: Companhia auxiliar de empresas elétricas brasileiras (1981).**

**a) quantidade de dejetos produzidos por dia.**

Portanto na fazenda alvo de nosso estudo possui um plantel com 40 animais entre gado leiteiro e de corte. Segundo a Tabela 12 um bovino adulto produz em torno de 10 kg de esterco ao dia, portanto contamos em nosso estudo de uma produção diária média em torno de 400 ~ 500 kg de esterco.

**b) estimando a capacidade do biodigestor**

A capacidade do biodigestor pode ser calculada através da Equação 2.3.

- Afim de cálculos utilizaremos uma média de 400kg de esterco produzidos diariamente.
- Destacamos também que o tempo de retenção, como visto na subseção 2.4, gira em torno de 20 a 50 dias, para os cálculos utilizou-se uma média de dias, portanto 35 dias, pois a fazenda em questão se encontra em uma área com um clima um pouco mais frio no Estado do Espírito Santo e não se tem nenhuma referência optou-se por aumentar o tempo de retenção Hidráulica (TRH)
- Convertendo de kg para m<sup>3</sup>, temos a proporção de 1kg = 0,001 m<sup>3</sup>

Então temos:

$$V_b = 800 * 35 = 28.000,00 \text{ kg} = 28.000,00 * 0,001 * 35 = 28 \text{ m}^3 \text{ o volume total do biodigestor}$$

Sendo:

$V_b$  = volume do biodigestor.

$V_c$  = volume da carga (esterco + líquido).

THR = Tempo de retenção hidráulica.

Optou-se por biodigestor com capacidade volumétrica de 30 m<sup>3</sup> o que permite uma pequena margem no caso de pequenas variações, aumento da quantidade de dejetos. O baixo custo e facilidade de implementação fez com que fosse escolhido um biodigestor do tipo canadense.

### c) estimando a produção elétrica

A Tabela 6 nos mostra que o rendimento diário dessa quantidade de dejetos pode alcançar a uma produção próxima a 10 m<sup>3</sup> de gás metano ao dia, que nos leva a uma produção mensal de aproximadamente 300 m<sup>3</sup> de gás ao mês ou 3.600,00 m<sup>3</sup> ao ano.

Utilizando a Equação 2.5 pode-se estimar a potência elétrica produzida

- Observa-se que o poder calorífico do biogás gira entre 5000 e 7000 kcal/m<sup>3</sup>
- Considerando um grupo gerador (motor + gerador) com um rendimento em torno de 38%

$$E = Q_{\text{biogás}} \cdot PCI_{\text{biogás}} \cdot N_{\text{gerador}} \cdot \frac{1}{860} \quad (2.5)$$

Onde:

$E$  = Energia elétrica estimada em (KWh)

$Q$  biogás = Vazão do biogás (m<sup>3</sup>/dia)

PCI = Poder calorífico inferior do biogás em (kcal/m<sup>3</sup>)

$N$  gerador = Rendimento do gerador (%)

$\frac{1}{860}$  = Fator de conversão " kcal" para "Kwh" = 4,1868/3600

$$E = 10 \cdot 5000 \cdot 0,38 \cdot \frac{1}{860} \quad (2.5)$$

Chegamos ao valor de 22,093 kWh produzidos diariamente

- Como visto no item 2.5, COLDEBELLA et al. (2006) são necessário

0,4751 m<sup>3</sup> de biogás para gerar 1 kWh de energia.

Portanto o valor encontrado pela equação e estimado pelo item 2.5 são bem próximos.

#### **d) Dimensionamento do gerador**

No item 2.5 segundos IEHAM 2008 e de acordo com a tabela 2.6 para um biodigestor com capacidade volumétrica de 30 m<sup>3</sup> e com uma produção de 10 m<sup>3</sup> de biogás um gerador com potência de 1200 W, seria o suficiente.

Utilizando a Equação 2.4 é possível dimensionar o gerador para a planta.

- Para calcular a potência do gerador deve-se calcular o poder calorífico inferior e superior
- Outro ponto destacado é que o gerador deve ter um rendimento mínimo de 38%
- Observa-se que o poder calorífico do biogás gira ente 5000 e 7000 kcal/m<sup>3</sup>

Cálculo:

$$PE = 10 \cdot 5000 \cdot 0,38 \cdot \frac{4,1868}{86.400} = 0,9207 \text{ kW para poder calorífico inferior (2.4)}$$

$$PE = 10 \cdot 7000 \cdot 0,38 \cdot \frac{4,1868}{86.400} = 1,289 \text{ kW para o poder calorífico superior (2.4)}$$

Onde:

PE = Potência elétrica em (kW)

Q biogás = Vazão do biogás (m<sup>3</sup>/dia)

PCI = Poder calorífico inferior do biogás em (kcal/m<sup>3</sup>)

N gerador = Rendimento do gerador (%)

4,1868 = Fator de conversão " kcal" para "kj"

86.400 = Fator de conversão dias para segundos

Portanto um gerador com uma potência entre 1200W à 1300W será suficiente para essa planta.

#### **e) Consumo de energia elétrica na propriedade**

A fazenda Carneiro, possui 2 residências para moradia, um galpão, além de máquinas para serviço que necessitam de energia elétrica para o funcionamento.



O consumo mensal gira em torno de 580 kWh com uma tarifa de energia no valor de 0,46452 R\$, o que totaliza um valor gasto em torno de R\$ 269,42 mensais.

- Valor não incluso impostos e ou taxas extras.

#### **f) Investimento na planta**

Para Implementação do projeto foi feito orçamento com alguns fornecedores e os melhores preços, foram listados abaixo, Proposta feita na BGS equipamentos para biogás.

A BGS é uma empresa que trabalha com vendas de equipamentos, produtos e biodigestores, elabora projetos e presta consultorias no sentido de melhorar o manejo, aumentar produção e vida útil diminuindo custos de produção de biogás com biodigestores.

A BGS atua no mercado de biodigestores a mais de 10 anos.

O orçamento abaixo foi elaborado pela empresa BGS, com prazo de Validade do orçamento para 30/10/2017

**TABELA 14: Orçamento do equipamento para montagem da planta.**

| <b>EQUIPAMENTO</b>  | <b>PREÇO</b>  |
|---|---------------|
| Biodigestor e tubulação com capacidade de produção de 30 m <sup>3</sup> | R\$ 11.100,00 |
| Filtro purificador compatível com a produção                            | R\$ 290,00    |
| Medidor de vazão para o biodigestor                                     | R\$ 342,85    |
| Balão (lona) para o biogás  | R\$ 1500,00   |
| Bomba de biogás 220 AC 15 W   | R\$ 395,00    |
| Fogão para biogás com queimador duplo (opcional)                        | R\$ 359,00    |
| Gerador de biogás 1200W   | R\$ 4000,00   |
| Total do investimento (com fogão)                                       | R\$ 17986,85  |
| Total de investimento (sem fogão)                                       | R\$ 17627,85  |

**FONTE: BGS equipamento para biogás**

As Figuras 13, 14 e 15 se referem ao modelo do biodigestor da proposta feita.

**Figura 13: Modelo do biodigestor orçado para implementação**



**Fonte: BGS equipamentos para biogás**

**Figura 14: Modelo do biodigestor orçado para implementação**



**Fonte: BGS equipamentos para biogás**

**Figura 15: Modelo do biodigestor orçado para implementação**



**Fonte: BGS equipamentos para biogás**

## 3.2 Simulação

Para comparar os dados e os cálculos que foram feitos, utilizou-se um *software* para realizar simulações.

### 3.2.1 O CH4 biogás Simulator

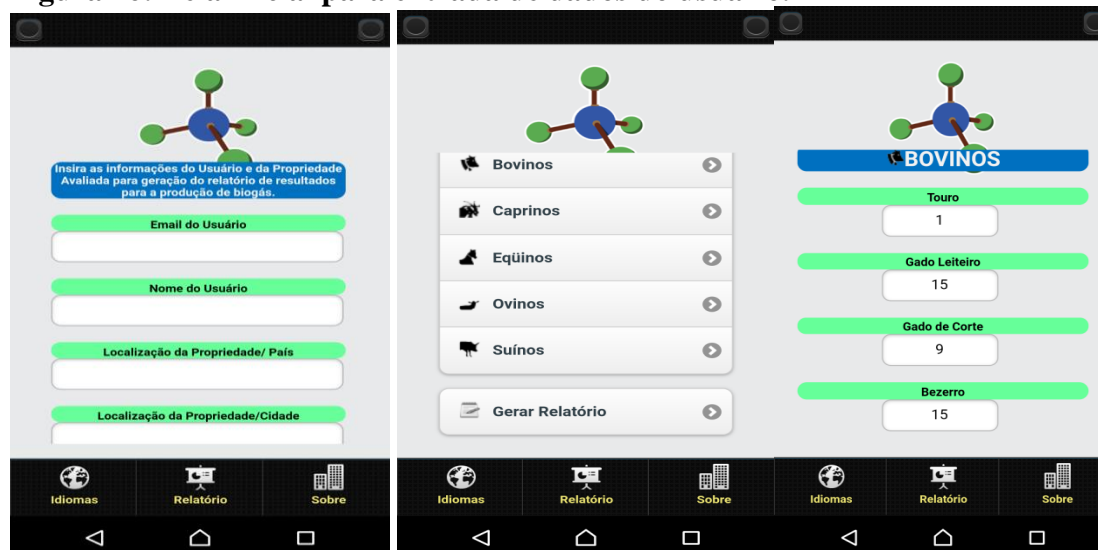
O CH4 Biogás Simulator é um *software* que realiza simulações, da produção de biogás em propriedades rurais, ajudando na viabilidade de projetos. Foi desenvolvido para dispositivos móveis e não possui a necessidade de estar conectados à internet para que possa realizar as simulações.

O CH4 *Simulator* foi desenvolvido pelo tecnólogo em biocombustíveis Pedro Chamocho. É um aplicativo que calcula não só a quantidade de dejetos e biogás produzidos na pecuária, mas também em outras fontes de biomassa como a biomassa gerado por aves, caprinos, ovinos, suínos. São feitas simulações baseadas nos dados fornecidos pelo usuário

### 3.2.2 Relatório da Simulação

A Figuras 16 mostra as 3 telas iniciais do aplicativo, onde o usuário na primeira tela faz o cadastro e em seguida insere os dados.

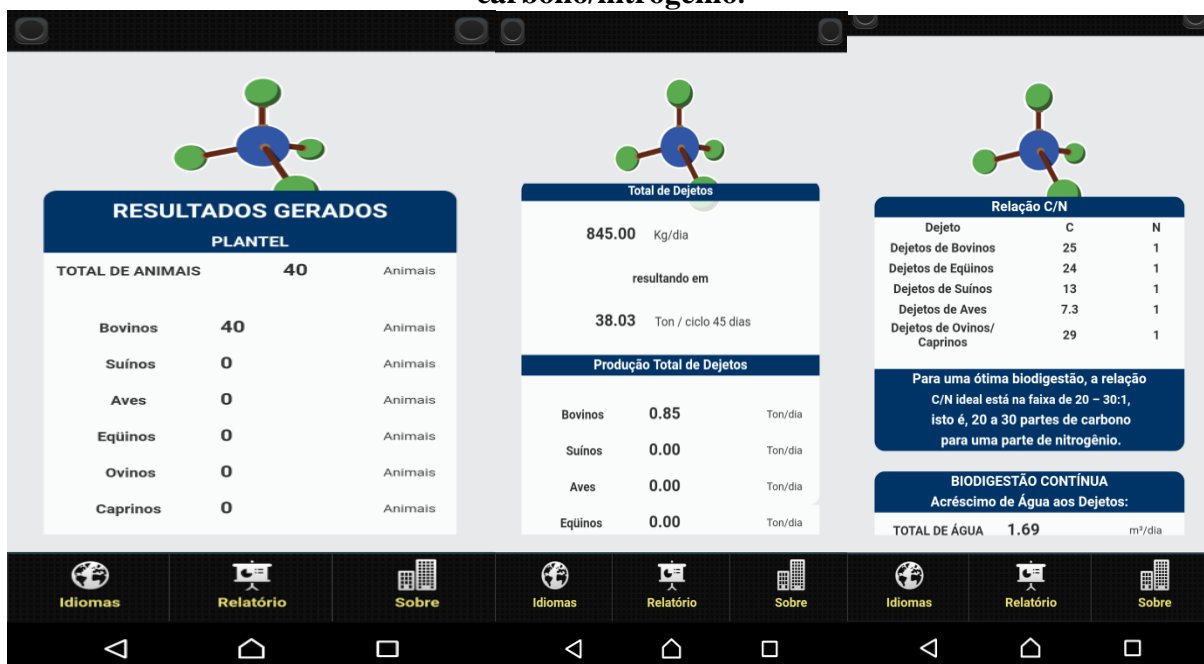
**Figura 16: Tela inicial para entrada de dados do usuário.**



**Fonte: CH4 biogás Simulator.**

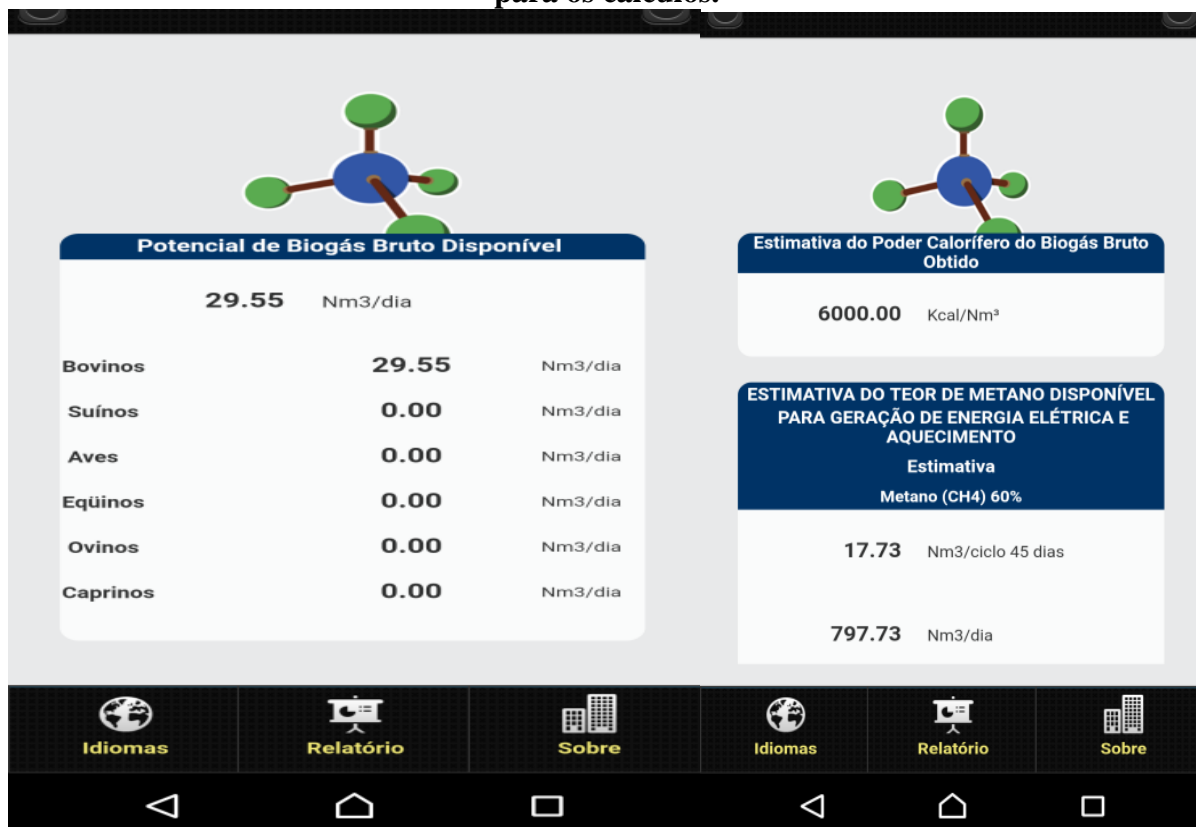
As Figuras 16, 17, 18, 19 e 20 estão relacionadas com o relatório gerado, ou seja, os resultados da simulação pelo *software* CH4 biogás Simulator, disponibilizado após a inserção dos dados pelo usuário

Figura 16: Relatório gerado plantel, produção total de dejetos e relação carbono/nitrogênio.



Fonte: CH4 biogás Simulator.

Figura 17: Relatório gerado- potencial de biogás bruto e a estimativa calorífica do biogás para os cálculos.



Fonte: CH4 biogás Simulator.



Figura 18: Relatório gerado detalhando a composição química.



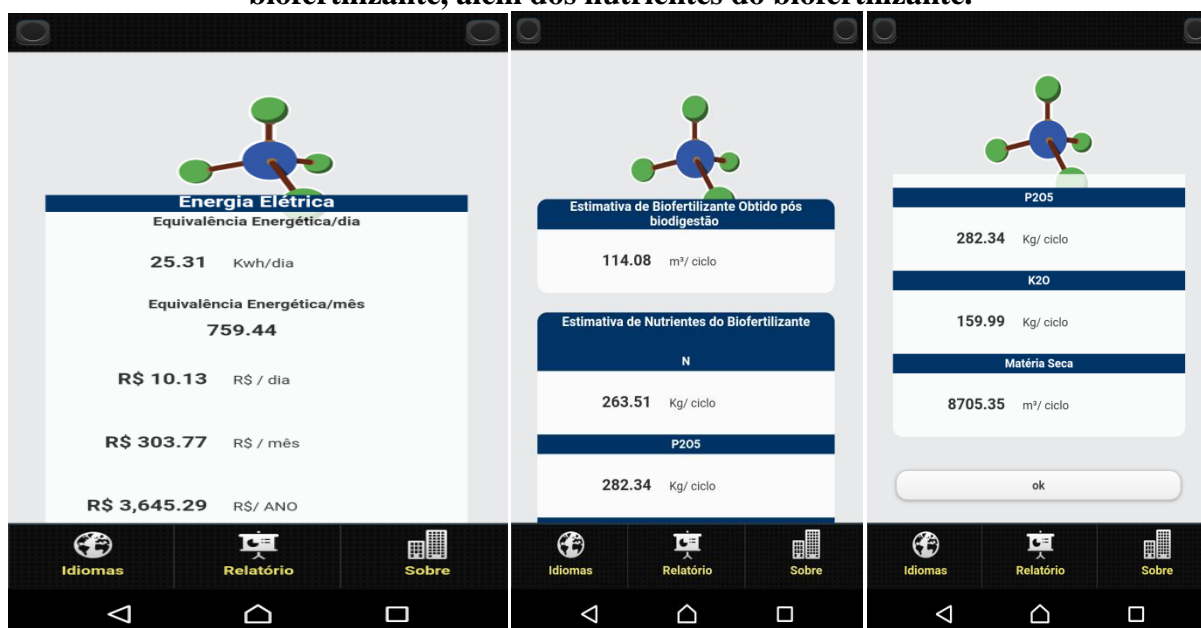
Fonte: CH4 biogás Simulator.

Figura 19: Relatório gerado fazendo a equivalência energética com outras fontes de energia.



Fonte: CH4 biogás Simulator.

**Figura 20: Relatório gerado estimando a quantidade diária de eletricidade e biofertilizante, além dos nutrientes do biofertilizante.**



Fonte: CH4 biogás Simulator.

### 3.2.3 Considerações entre os cálculos e o resultado obtido pelo software

Comparando os resultados obtidos pelo dimensionamento e *software*, percebemos que os valores finais encontrados são muito próximos, com pouca variação nos valores totais.

1. Quantidade de dejetos diários acrescido de água, pelo projeto foi usado 800 kg, pelo software o relatório foi gerado com 845 kg diários
2. Pelo projeto chegou-se ao montante de 22,093 kWh/dia, pela simulação chegou-se ao valor de 25,31kWh/dia, porém é importante salientar que foi usado no projeto um poder calorífico de 5000 kcal para o biogás, enquanto que para o software 6000kcal.

### 3.3 Análise de viabilidade econômica do Projeto

Antes de iniciar esta análise, algumas observações são necessárias:

- Não serão incluídas rendas extras como crédito de carbono, nem serão levados em consideração afim de cálculo a produção do biofertilizante segundo produto com grande valor de agregação.

- Esse projeto necessita de um investimento em torno de 18000,00 (dezoito mil

reais), menor orçamento encontrado.

- A planta de um biodigestor tem uma vida útil média de 20 anos, seguiremos essa diretriz para todos cálculos.

- Não será considerado nenhum tipo de imposto pago sobre a energia elétrica.

- Como calculado a produção será estimada em 663 kWh de biogás ao mês.

- Por se tratar de uma pequena propriedade de renda familiar não será inserido os custos com funcionário, visto que toda atividade da fazenda é desenvolvida pelos membros da família.

Usaremos como ferramenta de análise a TMA, o VPL, o PAYBACK e a TIR

Como cotado, o projeto custará 18000,00 R\$, pelos cálculos é possível alcançar uma produção em torno de 663 kWh ao mês, levando em consideração a valor do kWh na região de Santa Tereza, ES em torno de 0,46452 R\$, isso propicia um retorno de 308 R\$ ao mês, totalizando aproximadamente 3700 ao ano.

A TMA foi escolhida baseada em um dos investimentos mais comuns no Brasil, a caderneta de poupança, onde foi pesquisado as taxas de juros em um período e então escolhido a que teve melhor rendimento, como mostrado na Tabela 15.

**TABELA 15: Remunera da Caderneta de Poupança**

| Data       | Data fim   | Depósitos até 03.05.2012 |                       |                   | Depósitos a partir de 04.05.2012 (*) |                       |                   |
|------------|------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|
|            |            | Remuneração básica       | Remuneração adicional | Remuneração total | Remuneração básica                   | Remuneração adicional | Remuneração total |
| 23/05/2017 | 23/06/2017 | 0,1137                   | 0,5000                | 0,6143            | 0,1137                               | 0,5000                | 0,6143            |
| 24/05/2017 | 24/06/2017 | 0,0972                   | 0,5000                | 0,5977            | 0,0972                               | 0,5000                | 0,5977            |
| 25/05/2017 | 25/06/2017 | 0,0847                   | 0,5000                | 0,5851            | 0,0847                               | 0,5000                | 0,5851            |
| 26/05/2017 | 26/06/2017 | 0,0396                   | 0,5000                | 0,5398            | 0,0396                               | 0,5000                | 0,5398            |
| 27/05/2017 | 27/06/2017 | 0,0551                   | 0,5000                | 0,5554            | 0,0551                               | 0,5000                | 0,5554            |
| 28/05/2017 | 28/06/2017 | 0,0810                   | 0,5000                | 0,5814            | 0,0810                               | 0,5000                | 0,5814            |
| 01/06/2017 | 01/07/2017 | 0,0536                   | 0,5000                | 0,5539            | 0,0536                               | 0,5000                | 0,5539            |
| 02/06/2017 | 02/07/2017 | 0,0168                   | 0,5000                | 0,5169            | 0,0168                               | 0,5000                | 0,5169            |
| 03/06/2017 | 03/07/2017 | 0,0032                   | 0,5000                | 0,5032            | 0,0032                               | 0,5000                | 0,5032            |
| 04/06/2017 | 04/07/2017 | 0,0275                   | 0,5000                | 0,5276            | 0,0275                               | 0,5000                | 0,5276            |
| 05/06/2017 | 05/07/2017 | 0,0736                   | 0,5000                | 0,5740            | 0,0736                               | 0,5000                | 0,5740            |
| 06/06/2017 | 06/07/2017 | 0,0799                   | 0,5000                | 0,5803            | 0,0799                               | 0,5000                | 0,5803            |
| 07/06/2017 | 07/07/2017 | 0,0361                   | 0,5000                | 0,5363            | 0,0361                               | 0,5000                | 0,5363            |
| 08/06/2017 | 08/07/2017 | 0,0834                   | 0,5000                | 0,5838            | 0,0834                               | 0,5000                | 0,5838            |
| 09/06/2017 | 09/07/2017 | 0,0204                   | 0,5000                | 0,5205            | 0,0204                               | 0,5000                | 0,5205            |
| 10/06/2017 | 10/07/2017 | 0,0000                   | 0,5000                | 0,5000            | 0,0000                               | 0,5000                | 0,5000            |
| 11/06/2017 | 11/07/2017 | 0,0196                   | 0,5000                | 0,5197            | 0,0196                               | 0,5000                | 0,5197            |
| 12/06/2017 | 12/07/2017 | 0,0422                   | 0,5000                | 0,5424            | 0,0422                               | 0,5000                | 0,5424            |
| 13/06/2017 | 13/07/2017 | 0,0655                   | 0,5000                | 0,5658            | 0,0655                               | 0,5000                | 0,5658            |
| 14/06/2017 | 14/07/2017 | 0,0699                   | 0,5000                | 0,5702            | 0,0699                               | 0,5000                | 0,5702            |
| 15/06/2017 | 15/07/2017 | 0,0483                   | 0,5000                | 0,5485            | 0,0483                               | 0,5000                | 0,5485            |
| 16/06/2017 | 16/07/2017 | 0,0367                   | 0,5000                | 0,5369            | 0,0367                               | 0,5000                | 0,5369            |
| 17/06/2017 | 17/07/2017 | 0,0171                   | 0,5000                | 0,5172            | 0,0171                               | 0,5000                | 0,5172            |
| 18/06/2017 | 18/07/2017 | 0,0508                   | 0,5000                | 0,5511            | 0,0508                               | 0,5000                | 0,5511            |
| 19/06/2017 | 19/07/2017 | 0,0895                   | 0,5000                | 0,5899            | 0,0895                               | 0,5000                | 0,5899            |
| 20/06/2017 | 20/07/2017 | 0,0600                   | 0,5000                | 0,5603            | 0,0600                               | 0,5000                | 0,5603            |
| 21/06/2017 | 21/07/2017 | 0,0701                   | 0,5000                | 0,5705            | 0,0701                               | 0,5000                | 0,5705            |
| 22/06/2017 | 22/07/2017 | 0,0903                   | 0,5000                | 0,5908            | 0,0903                               | 0,5000                | 0,5908            |
| 23/06/2017 | 23/07/2017 | 0,0516                   | 0,5000                | 0,5519            | 0,0516                               | 0,5000                | 0,5519            |

**Fonte: Banco Central do Brasil**

Observando as taxas mensais da caderneta de poupança, pode-se utilizar como taxa mínima de atratividade a taxa de juros 0,6143, que é a maior taxa mensal encontrada na Tabela 14, para calcular a viabilidade econômica.

Pela equação 2.8 faz-se a equivalência dos juros mensal para anual

$$(teq +1) = (1 + 0,6143)^{12}$$

Portanto a taxa equivalente de juros anual é 7,626%.

Para confirmar a viabilidade do projeto, nesse caso calcula-se o VPL analisando se vale a pena financeiramente ou não. Através da equação 2.5 calcula-se o VPL.

$$VP=3700*\left(\frac{(1+0,07626)^{20}-1}{0,07626*(1+0,07626)^{20}}\right) \Rightarrow VP=3700*10,097535 \Rightarrow VP = 37360,88 \text{ R\$}$$

$$VPL = -18000 + 37360,88 \Rightarrow VPL = 19360,88 \Rightarrow VPL > 0, \text{ portanto pelo VPL o projeto é viável.}$$

Pela Equação 2.6 calcula-se o PAYBACK.

$$\text{PAYBACK} = \frac{18000}{3700} \Rightarrow 4,86 \text{ anos.}$$

O último índice que à ser considerado nessa análise será a taxa de juros que o projeto trará de retorno ao investidor (TIR).

Para calcular esse índice usou-se a Equação 2.7

Fazendo os devidos cálculos tem-se uma TIR de 20%, ou seja, esse investimento tem um retorno de 20% ao ano, fazendo a equivalência de juros como foi visto acima temos uma taxa de juros mensal  $i=1,5309\%$  ao mês, ou seja mais de 100% maior que os juros da caderneta de poupança.

A Tabela 16, mostra os valores dos índices adotados e calculados, onde percebe-se que o VPL é maior que 0, a TIR é maior que a TMA e o PAYBACK é inferior a vida útil do projeto

**TABELA16: Comparativo entre os indicadores da poupança e do projeto.**

|                       | TMA MÊS | VPL           | PAYBACK ANOS | TIR   |
|-----------------------|---------|---------------|--------------|-------|
| Caderneta de poupança | 0,61%   | R\$ 0,00      | 0,00         | 0,61% |
| Projeto               | 0,61%   | R\$ 19.360,88 | 4,86         | 1,53% |

**FONTE: Própria.**



## 4. CONCLUSÃO

Esse projeto tinha como principal objetivo a produção de energia baseada no aproveitamento de dejetos bovinos, matéria prima abundante em propriedades cuja atividade pecuária é predominante, conseqüentemente dando um destino mais adequado ao problema dos dejetos que além de contaminar o solo ainda pode contaminar leitos de rios, lençóis freáticos, além de contribuir para aumento da poluição atmosférica ao liberar gases nocivos como metano e carbônico.

Através do estudo de casos chegou-se por meio de cálculos a uma produção entorno de 22 kWh de energia elétrica, quantidade essa que confirmada através do *software* CH4, algo bem próximo do apresentado na literatura, o que supriria o consumo elétrico da fazenda alvo do estudou, portanto, uma boa opção para incrementar a renda familiar dessa pequena propriedade rural.

Feito o dimensionamento iniciou-se a fase orçamentária e após pesquisas chegou-se a valores interessantes, seria necessário então uma análise de viabilidade econômica para te certeza que o projeto era viável, utilizando para isso ferramentas de análise como TIR, TMA, PAYBACK e VPL.

A TMA utilizada foi o melhor caso da poupança, registrada pelo banco central no período de 23/05/2017 à 23/06/2017 com uma taxa de juros de 0,6143 mensal, chegou a valores como VPL (valor presente líquido) de 19360,88 R\$ positivo, um tempo de retorno de investimento de menos de 5 anos, uma taxa de retorno interna TIR de 1,5309 constatando que o projeto viável e era lucrativo, considerando apenas a produção de eletricidade.

Além da eletricidade ainda recai sobre o projeto, lucros oriundos da produção do biofertilizante, possíveis crédito de carbono, além da questão dos impostos que no caso seria isento.

Conclui-se então que os biodigestores podem ser uma forma bem lucrativa para tratar o problema dos dejetos bovinos, que tem crescido continuamente com o aumento da atividade pecuária no Brasil.

## 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As aplicações com biomassa para produção de energia são inúmeras, e cada vez mais atuante, principalmente devido aos benefícios ambientais propiciado.

A Biomassa além de contribuir para melhorias de problemas como o gás estufa, poluição de rios, lençóis freáticos e gerar eletricidade a qual é fundamental para o desenvolvimento de um país, pode ser direcionada para estudos de novas aplicações (por exemplo, no estudo da produção de combustível veicular, em nível gasoso).

Como mostrado no projeto um ponto desconhecido, até por falta de referência local, é justamente o do tempo de retenção hidráulico (TRH), tanto que foi feita uma estimativa, com base na literatura, desse tempo para que fosse possível fazer o dimensionamento da planta, sendo assim, fica como sugestão uma continuidade dos trabalhos para auxiliar na pesquisa de atividades desenvolvidas em âmbito acadêmico, fazer um levantamento climáticos e modelar de acordo com a temperatura e umidade local o tempo de retenção hidráulica (TRH). Há também a possibilidades de iniciar projetos de pesquisa sobre biomassa, aproveitada para produzir combustível veicular, com potencial para produção em escala comercial.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Parte II, fontes renováveis: Cap. 4 Biomassa. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em: 10 março 2015

ENERGIAS RENOVÁVEIS: Biomassa. Disponível em: <[http://energiasalternativas.webnode.com. pt/energias-renovaveis/biomassa/](http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/biomassa/)> . Acesso em 05 abril 2015.

. BIODIGESTORES:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1\\_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf)> Acesso em 15 de maio 2015.

Fernandes, M. **BIOMASSA E BIOGÁS DA SUINOCULTURA:** <[http://200.201.88.199/porta1pos/media/File/energia\\_agricultura/pdf/Dissertacao\\_Dan\\_gela\\_M\\_Fernandes.pdf](http://200.201.88.199/porta1pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Dan_gela_M_Fernandes.pdf)> Acesso em 15 de maio 2015.

Farret, M.A., **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica: pequenas centrais a biogás**. 3ª. Santa Maria: editoraUFSM, 2014. 306p.

Júnior, 2002 **Biodigestores e cogeração de energia elétrica através de biogás**<  
[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100029&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100029&script=sci_arttext) > Acesso em 25 de maio de 2015.

CAEE, diretoria técnica, **O biogás e sua tecnologia**, 2ª, Rio de Janeiro, departamento de estudos de novas fontes alternativas de energia, 1981

Vericado em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0)

Basu, P. **Biomass Gasification and pyrolysis: practical design and theory**. Oxford: Elsevier, 2010.

ARAÚJO, Aridouglas dos Santos; SILVA, José Expedito Cavalcante da; SANTOS, Antônio Clementino dos; SILVA NETO, Sabino Pereira da; DIM, Valdinéia Patrícia1; ALEXANDRINO, Emerson. **Substituição de nitrogênio por esterco bovino na produtividade de forragem e qualidade do solo**. Rev. Bras. Saúde Prod. An., Salvador, v.12, n.4, p.852-866 out/dez, 2011

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

MIRANDA, A. P.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Influência da temperatura na biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos. In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, p. 2928-2931. 2006

HESS, A. A. **O esterco e o gás metano ou biogás**. Concórdia: ACARESC, 1979. 23 p.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global**. Documentos 72. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, nov. 2007

Vericado em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap5.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap5.pdf), acesso 19/05/2017.

Vericadoem:<https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf/64e8985a-5c7c-b83e-ba2d-168ffaa762ad>.19/05/2017.

Vericado em: <http://csr.ufmg.br/pecuaria/portfolio-item/pecuaria-brasileira-no-mundo-2/>.19/05/2017

Vericado em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp> 13/07/2017

Vericado em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono> 13/07/201