

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM  
BIODIGESTOR NA FAZENDA BOA VISTA NO MUNICÍPIO DE CARAÍ - MG**

**TEÓFILO OTONI  
2017**

**CAROLINA ANTUNES DE MATOS  
NERISSA RAMALHO DOS SANTOS  
TAINÁ PEREIRA NUNES BATISTA  
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM  
BIODIGESTOR NA FAZENDA BOA VISTA NO MUNICÍPIO DE CARAÍ-MG**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica das Faculdades Unificadas de  
Teófilo Otoni, como requisito parcial  
para a obtenção do grau de bacharel  
em Engenharia Elétrica.**

**Área de concentração: Eficiência  
Energética**

**Orientador Prof. Rimenés Borges**

**TEÓFILO OTONI**

**2017**



## FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA FAZENDA BOA VISTA NO MUNICÍPIO DE CARAÍ - MG, elaborado pelo (s) aluno (s) Carolina Antunes de Matos, Nerissa Ramalho dos Santos e Taina Pereira Nunes Batista foram aprovadas por todos os membros da banca examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

### **BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Teófilo Otoni, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Orientador

---

Examinador 1

---

Examinador 2

*Dedicamos este trabalho aos nossos pais,  
pelo amor, apoio e incentivo incondicional.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao nosso orientador Rímenes Borges, pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que realizássemos este trabalho.

Agradecemos aos nossos pais, pelo amor, carinho, paciência e seus ensinamentos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*A felicidade às vezes é uma benção,  
mas geralmente é uma conquista.*

*Paulo Coelho*

## ABREVIATURAS E SIGLAS

a - Largura maior da fossa

A% - Porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco

A<sub>f</sub> - Área transversal da fossa

A<sub>g</sub> - Área transversal da campana ou área transversal destinada ao gás

A<sub>t</sub> - Área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana

b - Lateral, base ou largura menor da fossa

C° - Graus Celsius

C - Circunferência da bolsa

c - Corrente nominal

cc - Cilindradas

Cemig - Companhia energética de Minas Gerais

CH<sub>4</sub> - Metano

CO<sub>2</sub> - Gás carbônico

CO - Monóxido de carbono

C<sub>p</sub> - Corrente de partida

cv - Cavalos

ELETOBRAS - Centrais Elétrica Brasileiras S. A.

FNR - *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.*

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo.

GWh - Giga Watts hora

H - Hidrogênio

h - profundidade da fossa

H<sub>2</sub>O - Água

H<sub>2</sub>S - Sulfereto de hidrogênio

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

Kcal - Quilocalorias

Kg - Quilograma

KW - Quilowatts.

KWh - Quilowatt hora

l - Litro

L - Comprimento do biodigestor  
m - Metro  
mm - Milímetro  
m<sup>3</sup> - Metro cúbico  
MG - Minas Gerais  
MME - Ministério de Minas e Energia  
MS - Matéria Seca  
N - Nitrogênio  
N<sub>2</sub> - Azoto  
P - Perímetro transversal (campana mais fossa)  
p - Proporção da fase gasosa desejada ( $p \leq 0,4$ )  
PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética  
Pot - Potência nominal da planta (kW)  
Potmax - Potência máxima (kW)  
Potp - Potência de partida  
Potr - Potência requerida (kW)  
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.  
PVC - Policloreto de polivinila  
r - Raio da bolsa plástica  
R\$ - Reais.  
RPM - Rotação por minuto  
Trh - Tempo de retenção hídrico da lagoa de sedimentação (dias)  
unid - Unidade  
V - Tensão nominal  
VB - Volume do biodigestor (m<sup>3</sup>)  
VC - Volume da carga diária (dejetos + água) (m<sup>3</sup>/dia)  
V<sub>f</sub> - Volume total da fossa  
V<sub>g</sub> - Volume total do gás  
V<sub>t</sub> - Volume total do biodigestor (campana mais gás)  
W - Watts

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funcionamento de um biodigestor modelo indiano.....	22
Figura 2 - Modelo de biodigestor operação em batelada .....	23
Figura 3 - Biodigestor modelo indiano.....	25
Figura 4 - Biodigestor modelo chinês .....	26
Figura 5 - Modelo de biodigestor marinha ou canadense .....	26
Figura 6 - Vista Aérea Propriedade rural no Município de Carací- MG .....	33
Figura 7 - Esquema do sistema de biodigestor a ser instalado na propriedade .....	42
Figura 8 - Ordenhadeira .....	44
Figura 9 - Moedor de cana e capim.....	44
Figura 10 - Resfriador de leite .....	45
Figura 11 - Identificação do motor da ordenha.....	45
Figura 12 - Placa de identificação do motor do moedor .....	46
Figura 13 - Motogerador selecionado.....	48
Figura 14 - Filtro de biogás.....	48

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Produção diária de dejetos por animal .....	20
Tabela 2 - Expectativa de produção de biogás por biomassa .....	21
Tabela 3 - Biogás - Elementos gasosos .....	28
Tabela 4 - Planilha de cálculo do volume de carga .....	34
Tabela 5 - Equações para calculo das dimensões do biodigestor.....	36
Tabela 6 - Cálculo de produção de biogás .....	37
Tabela 7 - Planilha de cálculo do volume de carga .....	39
Tabela 8 - Dimensões calculadas do biodigestor .....	41
Tabela 9 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais .....	43
Tabela 10 - Cálculo de produção de biogás .....	43
Tabela 11 - Potencia dos equipamentos instalados .....	47
Tabela 12 - Dados técnicos do motor do gerador selecionado .....	49
Tabela 13 - Capacidade de Operação do motor gerador .....	49
Tabela 14 - Custos do projeto .....	50
Tabela 15 - Planos de manutenção.....	51
Tabela 16 - Economia de energia gerada .....	51
Tabela 17 - <i>Payback</i> com valores do investimento e economia de energia gerada..	52

## RESUMO

O biodigestor vem sendo muito utilizado para geração de energia elétrica em propriedades rurais, entretanto é necessário um estudo a respeito da viabilidade técnica e econômica de sua implantação. A presente pesquisa de campo realizou esta análise em uma propriedade rural de médio porte no município de Caraí - MG, cuja principal atividade econômica é o manejo de gado leiteiro. Do ponto de vista técnico foram realizados cálculos de produção de dejetos, do dimensionamento do espaço ocupado pelo biodigestor e da quantidade de produção de biogás. Logo após foi feito o estudo da viabilidade econômica através do método *payback*, o qual permite o cálculo do retorno financeiro em anos e identificar a viabilidade do projeto

**Palavras-chave:** Biodigestor, Energia elétrica, Viabilidade técnica, Retorno financeiro.

## **ABSTRACT**

The biodigester has been widely used for the generation of electricity in rural properties, among which a study on the technical and economic viability of its implementation is necessary. The present field research carried out this analysis in a medium-sized rural property in the municipality of Caraí - MG, main economic activity and management of dairy cattle. From a technical point of view, calculations of waste production, the size of the space occupied by the biodigester and the amount of biogas production were carried out. Soon after, the economic viability study was chosen through the payment method, which allows the calculation of the financial return in so many years and identifies a viability of the project

**Key words:** Biodigester, Electric power, Technical feasibility, Financial return.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Eficiência energética.....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Aplicação de eficiência energética em propriedades rurais.....	17
<b>2.2 Breve História do Biodigestor .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Concepção, Construção e Operação do Biodigestor.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Tipos de biodigestor .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Biodigestores em batelada.....	22
2.4.2 Biodigestores de operação contínua .....	23
2.4.2.1 <i>Modelo indiano</i> .....	24
2.4.2.2 <i>Modelo chinês</i> .....	25
2.4.2.3 <i>Modelo marinha ou canadense</i> .....	26
<b>2.5 O Biogás e suas utilidades.....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia.....	30
2.5.2 Desvantagens do uso do biogás .....	31
2.5.3 Vantagens do uso do biogás .....	31
<b>3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Tratamento dos dados .....</b>	<b>32</b>
3.3.1 Estimção da quantidade de dejetos .....	34
3.3.1.1 <i>Análise e correção da qualidade dos dejetos</i> .....	34
3.3.2 Escolha do tipo de biodigestor a ser implantado.....	35
3.3.2.1 <i>Dimensionamento do biodigestor</i> .....	35
3.3.3 Materiais para construção do biodigestor.....	36
3.3.4 Estimção da quantidade de biogás gerada .....	37
3.3.5 Análise da viabilidade econômica .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 DIMENSIONAMENTOS DO BIODIGESTOR.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 ESTIMAÇÃO DA QUANTIDADE DE BIOGÁS GERADA .....</b>	<b>42</b>

<b>4.3 Seleção do gerador .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 Geração de energia .....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Análise econômica .....</b>	<b>50</b>
4.5.1 Custos de instalação .....	50
4.5.2 <i>Payback</i> .....	51
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Santos *et al* (2015) olhar para o futuro energético é dificultoso, mas indispensável e essencial, visto que, pelas dificuldades passadas no setor energético, é necessário a tomada de decisões adiantadas como forma de prevenção.

De acordo com Pereira *et al.* (2002) com o aumento da energia elétrica é inevitável fazer com que processos consumidores de energia tornem-se mais eficientes, diminuindo gastos com energia.

A eficiência da pecuária leiteira está intimamente ligada à adoção de tecnologias que possam proporcionar aumento da produtividade. No entanto, há uma escala mínima, a partir de qual a tecnologia se torna viável. Pois os altos custos de produção e baixo preço do leite pago ao produtor, ocasionam prejuízos ou até mesmo falência.

A energia elétrica é fundamental na produção de leite. Devido à facilidade de acesso a maquinário e equipamentos modernos, o setor agropecuário tem sido um crescente consumidor de energia elétrica.

Sendo assim, realizar um estudo da viabilidade técnica e econômica da implantação de biodigestores em uma pequena propriedade rural do Município de Caraí-MG pode ser uma alternativa que estimulem pequenos produtores a continuarem e não abandonarem suas atividades. Em resposta à crise, produtores são obrigados a implantar mudanças técnicas e administrativas que promovam a eficiência energética em suas propriedades.

Realizar o estudo de eficiência energética em uma propriedade rural do município de Caraí MG reduz gastos com a energia elétrica e incentiva produtores vizinhos a fazerem o mesmo, promovendo a sustentabilidade, uma vez que diminuindo a consumo, a demanda para produção também diminuirá.

O estudo da viabilidade técnica e econômica na fazenda Boa Vista no município de Caraí - MG traz:

- a) Acomodamento financeiro futuro, pois a inserção do biodigestor é uma alternativa de redução de consumo a longo prazo e ainda utiliza fontes renováveis de energia.
- b) Aumento da produtividade e renda do produtor, trazendo-o de volta ao mercado competitivo.

Tal artifício é relevante para produtores rurais de pequeno porte, podendo inclusive, trazer de volta ao mercado outros produtores que tenham desistido do ramo pecuarista de leite por falta de informações e soluções de cunho energético.

A pesquisa relacionada a este estudo foi realizada na propriedade rural localizada no Município de Caraí, Estado de Minas Gerais. A propriedade rural conta com uma criação de 100 bovinos com uma considerável produção de dejetos mas contabilizando os dejetos de apenas 41 animais, devido a necessidade de rotatividade do curral, além de desenvolver outras atividades agrícolas. Em cidades do interior mineiro a pecuária do leite é uma das principais atividades econômicas. Tal atividade torna-se cada vez mais dependente de maquinários e processos específicos, logo dependentes da energia elétrica e de seu alto custo.

Neste trabalho de conclusão de curso foram empregadas técnicas de pesquisa de campo cujos procedimentos técnicos irão envolver pesquisas bibliográficas, pois já existem materiais disponíveis e publicados em forma de livros, artigos periódicos, além de materiais disponíveis na internet, que abordassem não só a questão da degradação do meio-ambiente, mas também do uso de biodigestores em propriedades rurais, com o fito de geração de energia e biofertilizantes. Foram realizados também estudos, cálculos, medições e análises na propriedade rural do Município de Caraí - MG que avaliassem a viabilidade técnica e econômica da implantação do biodigestor na mesma, os dados e informações foram obtidos junto ao produtor rural através de visitas na sua propriedade, além de consultas a bibliografias referentes ao assunto pesquisado. Quanto a função técnica foi realizado cálculos de *payback* que analisaram o tempo de retorno financeiro.

Pretendeu se com estes estudos analisar a eficiência da implantação do biodigestor na fazenda Boa Vista no Município de Caraí - MG, levando em consideração sua viabilidade técnica e econômica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Eficiência energética

Segundo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL 2005) entre os vários custos gerenciáveis de um empreendimento, a energia vem aumentando sua importância: devido a redução de custos decorrentes do mercado competitivo, às incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. Promover a eficiência energética é usar o conhecimento de forma aplicada, utilizando conceitos de engenharia, economia e administração de conceitos energéticos.

O Ministério de Minas e Energia (MME 2007) definiu para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica, a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos, e evidenciou a necessidade de elaborar um plano específico para atender esse desafio. Com esse propósito, o MME vem elaborando o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que deverá nortear essas atividades e constituir um direcionamento fundamental para o desenvolvimento da eficiência energética no País.

De acordo com a PROCEL (2005) a implantação de um programa de eficiência energética requer mudanças de hábitos, procedimentos e rotina de trabalho, o que às vezes é um obstáculo de difícil superação. Tornando indispensável a participação da direção da empresa e todo seu corpo funcional, técnico e administrativo em busca de um objetivo comum.

Algumas medidas de eficiência energética são amplamente conhecidas por serem do senso comum, como por exemplo, apagar a luz quando não estamos numa divisão da casa. Outras decorrem da evolução tecnológica e não estão ao alcance de todos os cidadãos.

Diversos equipamentos já se encontram premiados com o Selo PROCEL, tais como refrigeradores, congeladores, condicionadores de ar de janela, motores elétricos de indução trifásico, coletores solares e outros ainda estão em estudo. Estes equipamentos são integrantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO. Para que um fabricante de equipamentos consumidores de energia elétrica, não integrante do PBE, possa utilizar o selo PROCEL é

necessário que seu equipamento seja submetido a ensaios nos laboratórios credenciados pelo INMETRO (PEREIRA et. al., 2002).

A construção de equipamentos com aproveitamento eficiente implica na conservação de energia. Entende-se que, utilizar menos energia e obter o mesmo resultado, através da eliminação do desperdício aprimorando os processos produtivos.

### 2.1.1 Aplicação de eficiência energética em propriedades rurais

Dentro dos hábitos atuais na administração da energia, vê-se a necessidade de encontrar caminhos que levem ao desenvolvimento sustentável.

A atividade agrícola depende de fontes de energia interna ou externa. Aproveitar os resíduos para produzir energia elétrica é uma fonte interna de energia. A energia elétrica proveniente da Cemig e a energia oriunda do óleo diesel são consideradas fontes externas (PEREIRA et. al., 2002).

Conforme Costa e Bueno (2011) a sustentabilidade de uma propriedade rural depende da busca de soluções específicas para cada cadeia produtiva, dada as diferentes características. Sendo assim, é importante conhecer estratégias para melhorar a eficiência energética de cada propriedade. Essas medidas contribuem para a redução de custos e tornam a empresa mais competitiva.

Para Kunz e Oliveira (2006) os biodigestores aparecem como uma opção ao produtor, devido à disponibilidade de novos materiais para sua construção e, obviamente, da maior dependência de energia das propriedades em função da matriz energética (demanda da automação) e do aumento dos custos da energia tradicional (elétrica, lenha e petróleo).

## 2.2 Breve História do Biodigestor

De acordo com Palhares (2008) em 1600 realizaram-se os primeiros estudos sobre o biogás, detectando assim a presença de uma substância inflamável de composição química desconhecida em meio aos pântanos. Com estes estudos apurou-se que o odor estava relacionado à decomposição de matéria orgânica.

No ano de 1776, foi identificada a composição química do gás pantaneiro então chamado de metano ( $\text{CH}_4$ ) pelo físico italiano Alessandro Volta, como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados (GASPAR, 2003).

A primeira instalação destinada a produzir e utilizar o biogás em grande escala foi construída em um hospital para portadores de hanseníase de Bombaim, na Índia no ano de 1857. Nesse mesmo ano, o biogás foi utilizado para iluminação pública na cidade de Exter, na Inglaterra (PALHARES, 2008).

Mesmo com esses avanços o biogás ficou em segundo plano ao passar dos anos, tornando-se assim apenas como um complemento às fontes tradicionais de energia, declaradas como infinitas na época, finalizando-se um ciclo inicial da utilização do biogás como fonte de energia.

De acordo com Gaspar (2003) a segunda etapa do biogás teve início durante e depois da II Guerra Mundial, quando a carência e complexidade de acesso a fontes fósseis de combustível, tanto para o cozimento e aquecimento de casas, como para a alimentação de motores de combustão interna, fez com que os povos mais atingidos (alemães e italianos) pela devastação da guerra, desenvolvessem técnicas para obter biogás de dejetos e restos de cultura. No entanto, após o término do conflito, o uso deste combustível ficou geograficamente excedente na China e Índia, onde se conserva sendo usufruído por pequenos produtores rurais até os dias de hoje (PALHARES, 2008).

Com a crise energética de 1973, o biodigestor tornou-se uma alternativa eleita tanto por todos os países, seja ele rico ou pobre. Nos dias de hoje, o motivo da conservação e amplificação do projeto de biodigestores é bem mais acessível e necessário, pois segundo a ELETROBRAS (2016), o Brasil passa por uma crise energética, devido ao baixo volume de água nos reservatórios, fazendo com que o valor do KW/h na conta de energia elétrica do consumidor final aumente consideravelmente. No quadro 1 mostra o histórico do biodigestor.

Quadro 1 : Histórico do Biodigestor

ANO	ACONTECIMENTO
1939	Na Índia – Primeira usina de gás a base de esterco.
1950	Na Índia – Criação do Gobar Gás Institute. - Difusão da metodologia de dejetos animais com objetivo de obtenção de biogás e biofertilizantes.
Década de 80	No Brasil – O Ministério de Minas e Energia constrói oito mil unidades de biodigestores.

Fonte: SOARES; SILVA, 2010

### 2.3 Concepção, Construção e Operação do Biodigestor

Em propriedades rurais uma fonte de energia em abundancia disponível é a biomassa. Ela aparece na forma de resíduos vegetais e animais, como restos de vegetais, esterco animal, plantações energéticas e efluentes agroindustriais. Estes resíduos podem ser empregue por pequenos e médios produtores rurais para a queima direta, tendo em vista a produção de calor ou fabricação de biogás em biodigestores

Analisar o uso de biodigestores como fonte de energia ajuda no controle das emissões de gases do efeito estufa, contribui para a destinação correta dos dejetos de animais e principalmente gera energia de forma correta e consciente. Sendo esta uma forma de ajudar no combate a crise ambiental e elétrica (COLLATO; LANGER, 2011).

A biodigestão anaeróbia é um processo de tratamento biológico de resíduos, no qual as bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica e formam dois produtos: o biogás e o biofertilizante (OLIVEIRA JUNIOR, 2014). Sendo as bactérias seres vivos, estes precisam de condições ideais de temperatura, acidez e homogeneidade para produzir melhor.

Em conformidade com Gaspar (2003) um biodigestor é basicamente uma câmara perfeitamente fechada que aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica de forma anaeróbica (sem a presença de oxigênio) e otimizam os produtos resultantes desse processo.

O biodigestor pode ser utilizado para o tratamento de vários resíduos sólidos orgânicos, como dejetos de animais, resíduos do setor da agricultura e finalmente os resíduos sólidos orgânicos urbanos.

A produção total estimada de dejetos pela pecuária no Brasil é de 1.703.773.970 t/ano, sendo que 32% deste dejetos são gerados na região Centro-Oeste onde está concentrada a criação de bovinos de corte (BRASIL, 2011). A coleta de dejetos de animais depende de como a criação dos mesmos é feita, já que na maioria das propriedades o manejo é feito de forma extensiva e seus dejetos servem apenas para adubo do solo. Para recolher os resíduos os animais devem estar concentrados em uma área de confinamento.

Em granjas de aves e suínos deve-se construir um sistema de coleta, similar ao da rede de esgoto convencional que direcione os resíduos ao fermentador.

A Tabela 1 mostra a produção diária de biomassa animal, levando a entender o quanto de dejetos é liberado por dia.

Tabela 1 – Produção diária de dejetos por animal

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (em kg por dia)
Bovinos	10,00
Suínos	2,25
Aviários	0,18
Equinos	10,00

Fonte: Sganzerla, (1983). Adaptado por Colatto e Langer (2011).

A seleção dos resíduos deve ser feita de acordo á oferta que o local que pode proporcionar, variando de acordo com cada propriedade.

A Tabela 2 mostra as diferentes produções de biogás de cada biomassa, assim como a concentração de metano.

Tabela 2 – Expectativa de produção de biogás por biomassa

Biomassa utilizada (dejetos)	Produção de Biogás (a partir de material seco em m <sup>3</sup> t-1)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Eqüinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

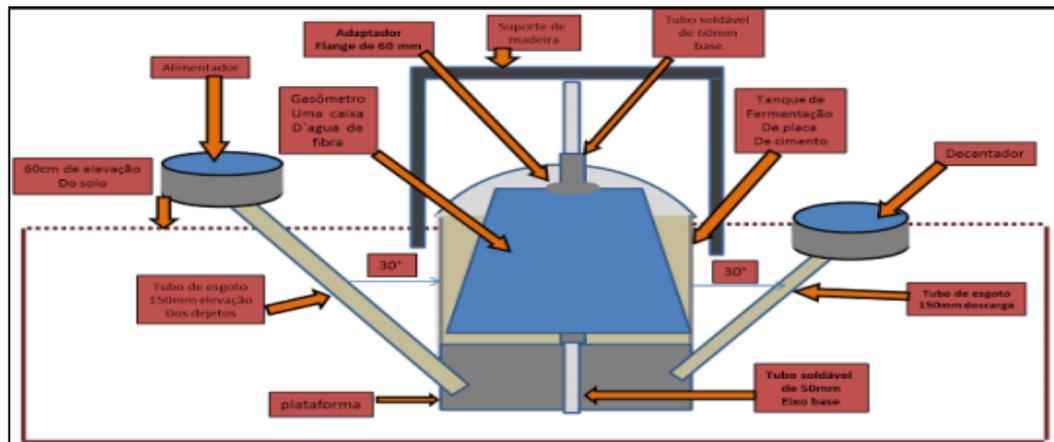
Fonte: Colatto e Langer (2011).

Presumindo apenas os dejetos gerados pelas criações de suínos, aves e bovinos de leite (semiconfinadas), estimou-se uma produção total de 365.315.261 toneladas/ano de resíduos no Brasil, simulando um potencial energético de até 1,3 GW/ano, equivalente à geração de 10.736 GWh/ano (BRASIL, 2011).

De acordo com Oliveira Junior (2014), o resíduo deverá ser coletado diariamente e misturado com água na caixa de entrada, na proporção 1:1 de onde passa por um tubo para o biodigestor. O biodigestor da Figura 1 é um tanque, revestido de plástico ou alvenaria, dentro do qual ocorre a fermentação. Têm duas saídas, uma para o biogás e outra para o biofertilizante. O biogás passa por uma tubulação e alimenta o fogão, o motor, a geladeira ou outro ponto de uso. Já o biofertilizante é retirado da caixa de saída e aplicado nas áreas de cultivo.

O fermentador oferece as condições ideais para a biodigestão ao controlar com precisão a temperatura, o pH e a homogeneidade ideal para o substrato utilizado. Após certo tempo o substrato já não gera tanto biogás e deve então ser direcionado à um tanque de chorume onde fica por mais um tempo antes de ser liberado para ser usado como biofertilizante. Essa medida garante que o restante de matéria orgânica presente no substrato seja quase que totalmente decomposta e o biogás resultante do processo seja devidamente coletado. O biogás deve ser tratado e purificado antes de ser distribuído para postos de combustível ou redes de distribuição de biogás. O grau de pureza do biogás pode influenciar no tempo de vida útil do motor-gerador.

Figura 1 - Funcionamento de um biodigestor modelo indiano



Fonte: [http://abelmanto.blogspot.com.br/2012\\_07\\_01\\_archive.html](http://abelmanto.blogspot.com.br/2012_07_01_archive.html)

Os parâmetros base para o projeto de um biodigestor são:

- Quantidade e tipo e dejetos disponíveis;
- Necessidade de energia;
- Necessidade de fertilizante;
- Necessidade de tratamento de dejetos;

## 2.4 Tipos de Biodigestor

Existem diversos tipos de biodigestores (indiano, paquistanês, chinês, tailandês, filipino) cada um com suas próprias características de operação e suas vantagens e desvantagens. Entretanto, existem dois tipos básicos de biodigestores classificados de acordo com a frequência de operação: os biodigestores em “batelada” e os biodigestores “contínuos” (FARIA 2008).

### 2.4.1 Biodigestores em *batelada*

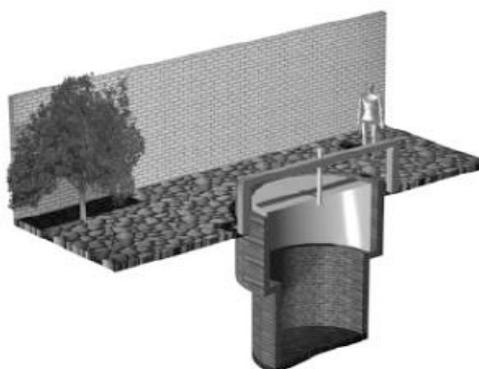
Chama-se de biodigestores “em batelada” àqueles que operam de forma descontínua: o processo de biodigestão se dá por cargas que são inseridas no compartimento de fermentação.

Trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série.

Este processo é utilizado quando, por algum motivo, não é possível a alimentação do biodigestor com matéria orgânica diariamente, ou, quando o consumo de biogás é baixo, não exigindo uma produção diária do biogás, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás (DEGANUTTI *et al* 2002)

Nos biodigestores em batelada a matéria orgânica é inserida toda de uma só vez e então ele é fechado hermeticamente (de forma a não permitir a entrada de oxigênio) até que ocorra o processo de digestão anaeróbia. O biodigestor será aberto novamente só quando a produção de biogás cair, indicando que a matéria orgânica já foi decomposta e que pode ser feita a retirada da matéria restante, o biofertilizante, para caso, seja necessário inserir uma nova carga de matéria orgânica. A figura 2 mostra o modelo do biodigestor operação em batelada.

Figura 2 - Modelo de biodigestor operação em batelada



Fonte: DEGANUTTI *et. al*, (2002)

#### 2.4.2 Biodigestores de Operação Contínua

Já os biodigestores de operação “contínua” operam com cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de carga hidráulica dentro do biodigestor devendo a matéria orgânica ser diluída e até mesmo triturada para evitar entupimentos e formação de crostas no interior do biodigestor (FARIA, 2008). Os modelos indiano, chinês e paquistanês são modelos de biodigestores de operação

contínua e os dois primeiros são, também, os mais utilizados no Brasil devido ao baixo custo, alto rendimento e fácil manuseio.

#### *2.4.2.1 Modelo indiano*

O biodigestor modelo indiano é construído enterrado no solo e, como a temperatura do solo é pouco variável, o processo de fermentação que ocorre em seu interior tem a vantagem de sofrer pouca variação de temperatura. A temperatura elevada favorece a ação das bactérias (responsáveis pelo processo de fermentação anaeróbica) e a sua queda provoca uma menor produção de biogás sendo assim uma grande vantagem de seu uso.

Outras vantagens são:

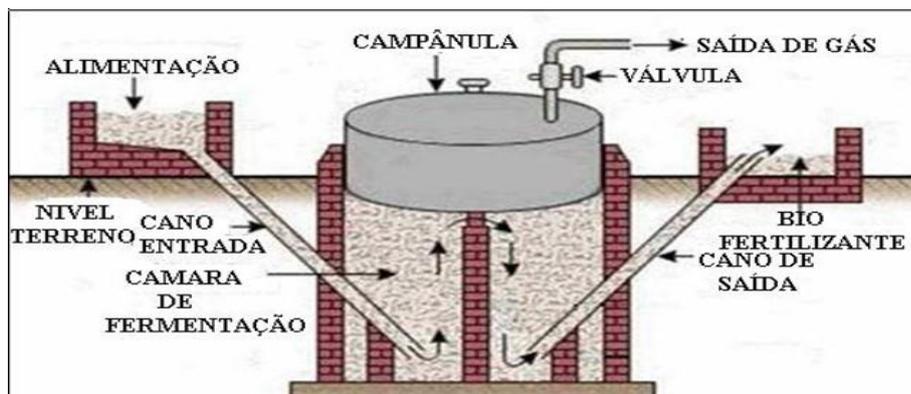
- a) Ocupa pouco espaço do terreno, pois sua maior extensão é vertical.
- b) Em termos de custos, sendo as paredes de seu digestor construídas dentro do solo, o modelo dispensa o uso de reforços, tais com cintas de concreto, o que barateia as despesas.

As principais desvantagens do modelo indiano são:

- a) Quando a cúpula for de metal, ela está sujeita ao problema de corrosão. Para evitá-lo, recomenda-se fazer uma boa pintura com um antioxidante, com por exemplo, utilizando o zarcão.
- b) Neste modelo possui também o custo da cúpula, que o modelo chinês não tem e o da marinha é mais baixo.
- c) O sistema de comunicação entre a caixa de carga e o digestor, sendo feito através de tubos, pode ocorrer entupimentos.
- d) Sua construção é limitada para áreas de lençol freático alto, ou seja, não é um modelo indicado para terrenos superficiais, pois nestes casos pode ocorrer infiltração.

De acordo com Deganutti (2002) o resíduo que alimenta o biodigestor indiano, deve conter até 8% de sólidos totais (ST), este fato colabora na circulação dos resíduos no interior da câmara de fermentação e evita entupimentos dos canos de entrada e saída. A figura 3 mostra o modelo de biodigestor indiano

Figura 3 - Biodigestor modelo indiano



Fonte: Fonseca *et. al*, (2009)

#### 2.4.2.2 Modelo chinês

Esse modelo é composto por uma câmara cilíndrica feita de tijolo onde ocorre a fermentação, com teto abobadado e impermeável, designado ao armazenamento do biogás. Seu funcionamento usa como base o princípio de prensa hidráulica, de forma que aumentos de pressão que ocorrem em seu interior devido ao acúmulo de biogás, resulta em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando há descompressão. (JORGE; OMENA, 2012).

As principais vantagens são:

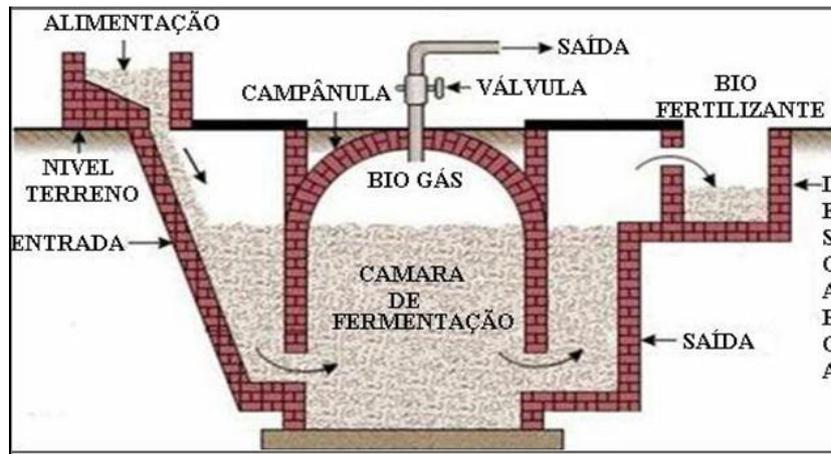
- a) Este modelo tem um custo mais barato em relação aos outros, pois a cúpula é feita de alvenaria.
- b) É o que ocupa menos espaço na superfície do solo.
- c) Como é construído completamente enterrado no solo (tanto o digestor, como o gasômetro), sofre pouquíssima variação de temperatura.

As desvantagens são:

- a) O sistema de comunicação entre a caixa de carga e o digestor sendo feito através de tubos, está sujeito a entupimentos.
- b) Tem limitação ao tipo de solo. Sua construção em solos superficiais não é indicada.
- c) Não é um biodigestor próprio para acúmulo de gás, devido a sua construção de cúpula fixa (a área de reserva de gás é menor). É um modelo mais indicado na produção de biofertilizante.

Este tipo de biodigestor não é recomendado em instalações de grande porte, pois, uma parte do gás concebido na caixa de saída é dissipado para a atmosfera. tal acontecimento reduz parcialmente a pressão interna do gás, como mostrado na figura 4.

Figura 4 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: Fonseca *et. al*, (2009)

#### 2.4.2.3 Modelo Marinha ou Canadense

Também conhecido como biodigestor de fluxo tubular, aponta tecnologia moderna em comparação com os outros tipos, porém, possui construção simples, com uma câmara de biodigestão cavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Modelo de biodigestor marinha ou canadense



Fonte: Barreira (2003)

Apresenta como características configuração geométrica prismática trapezoidal a baixo do solo, com comprimento maior que a largura e profundidade de aproximadamente 2,5 metros, características essas que o torna mais exposto ao sol e por consequência aumenta na produção do biogás (RICARDO, 2012).

De acordo com Junqueira (2014), esse tipo de biodigestor é o mais propagado no mundo, e mais utilizado também no Brasil, principalmente em propriedades rurais, por ser quase todo feito de plástico, porém, apresenta menor durabilidade e está sujeito a acidentes caso haja perfuração da lona vazando o gás.

Apresenta as seguintes vantagens:

- a) A sua área sujeita à exposição solar é maior, porque sua cúpula em relação aos outros modelos é maior, facilitando com isto uma maior produção de gás nos dias quentes.
- b) A construção não exige restrições à tipo de solo, pois além de não exigir solos profundos porque é um modelo de tipo horizontal (sua maior extensão é horizontal), seu digestor tanto pode ser construído enterrado, como também sobre a superfície do solo.
- c) A comunicação da caixa de carga para o digestor, feita de alvenaria, é mais larga, evitando com isso entupimento e facilitando a manutenção.
- d) A limpeza do biodigestor é mais fácil porque a cúpula sendo de lona de PVC é mais fácil de ser retirada.

A principal desvantagem é que neste modelo assim como no indiano existe o custo adicional da cúpula.

## **2.5 O Biogás e suas utilidades**

A decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio libera um gás que é composto em sua maior parte por metano e dióxido de carbono ao qual se dá o nome de biogás (FARIA, 2008).

O biogás é um combustível gasoso com um teor energético elevado semelhante ao gás natural. Este combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica. Contribuindo desta forma para redução dos custos de produção (SOUZA; PEREIRA; PAVAN, 2004).

O biogás é um produto da ação digestiva das bactérias metanogênicas, ele é composto, principalmente, por gás Carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e Metano ( $\text{CH}_4$ ), embora

apresente traços de Nitrogênio (N), Hidrogênio (H) e gás Sulfídrico (H<sub>2</sub>S). Além do CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, contém uma mistura de vários elementos gasosos, conforme listado na Tabela 3.

Tabela 3 - Biogás - Elementos gasosos

Elemento	Porcentagem
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 75
Dioxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	25 a 40
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 a 3
Azoto (N <sub>2</sub> )	0,50 a 2,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 a 1
Sulfereto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0,1 a 0,5
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

Fonte: MARTIN 2004

Segundo Seixas; Folle; Marchetti (1980), a decomposição anaeróbica desenvolve-se ao longo de três fases distintas:

- a) Período de hidrólise: ocorre a liberação, pelas bactérias, no meio anaeróbico de enzimas extracelulares, que causam a hidrólise das partículas orgânicas, diminuindo o tamanho das moléculas e solúveis ao meio.
- b) Período de acidulação: como o próprio nome indica nesta fase as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos (como ácido láctico e butílico), álcool, como o etanol, e gases, como amônia, hidrogênio e dióxido de carbono, entre outros.
- c) Período de metanogênese: aqui as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em álcool (metanol).

Segundo Metz (2013) os substratos mais comuns para a produção de biogás são:

- a) dejetos e rejeitos de suinocultura, pecuária e avicultura;
- b) resíduos agrícolas, como cascas, folhagens, palhas e restos de cultura;
- c) resíduos industriais, como bagaços, descartes, restos de restaurantes;

d) vinhaça.

O biogás, além de ser um combustível de fácil acesso e de custos baixos, não polui, e em certas escalas obtém-se um melhor resultado com ele do que com combustíveis fósseis. (DUARTE NETO *et.al*, 2010)

Tem-se que: 1 m<sup>3</sup> de biogás = 5500 kcal, sendo equivalente a:

- a) 0,7 m<sup>3</sup> de metano
- b) 1,5 m<sup>3</sup> de gás natural
- c) 0,8 l de gasolina
- d) 1,3 l de álcool
- e) 2 kg de carboneto de cálcio
- f) 0,7 l de gasóleo
- g) 7 kw/h de eletricidade
- h) 2,7 kg de madeira
- i) 1,4 kg de carvão de madeira
- j) 0,2 m<sup>3</sup> de butano
- k) 0,25 m<sup>3</sup> de propano
- l) 1 m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a um botijão de 13 Kg de GLP (gás liquefeito do petróleo ou gás de cozinha)

O Biogás pode ser usado em fogões substituindo o gás de botijão, a lenha, querosene ou gasolina em motores, caldeiras ou geradores para gerar energia elétrica. para isso basta uma adaptação no diâmetro dos orifícios de descarga do gás uma vez que a pressão pode ser menor, a opção escolhida depende da necessidade do cliente. Já os biofertilizantes (matéria sólida que sobra da decomposição) são ricos em minerais e tem uma carga orgânica muito baixa, sendo assim excelente para uso na agricultura.

O anseio pela expansão e melhoria da matriz energética brasileira faz com que o uso de fontes de energia limpa e renovável cresça com abundância no âmbito nacional. No perímetro dos resíduos rurais, evidenciam-se a produção de dejetos suínos e bovinos, que são causadores de enorme transtorno aos produtores, porém, são de grande serventia na geração de energia elétrica, desde que haja o correto tratamento desses resíduos (LIMA, BERNSTEIN E VALLE, 2014).

De acordo com *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.* (FNR 2010) o biogás pode ser usado para gerar energia de várias formas:

- a) Geração de energia elétrica e calor (ex. usina de cogeração, microturbina a gás, etc.);
- b) Resfriado por processo de energia, calor e frio.
- c) Tratamento do biogás (desumidificação e dessulfurização) visando qualidade de gás natural, para a injeção na rede de gás natural pública ou micro redes de gás.
- d) Tratamento para obter combustível para veículos motorizados.
- e) Biogás como fonte de energia térmica.

### 2.5.1 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

Para Metz (2013) a digestão anaeróbia é o processo em que bactérias decompõem a matéria orgânica em um meio com ausência de oxigênio. Assim é importante que se observe os fatores que influenciam na maior ou menor produção de biogás. Dentre estes fatores podemos citar:

- a) Temperatura: O desenvolvimento das bactérias metanogênicas e a produção de biogás é função da temperatura do biodigestor. As bactérias responsáveis pela biodigestão são bastante sensíveis a variações bruscas de temperatura. Uma variação de 3°C já é o suficiente para causar a morte da maioria das bactérias. Por isso a temperatura nos biodigestores deve ser controlada.
- b) Tipo de resíduos: O tipo de resíduo é o alimento a ser utilizado pelas bactérias. Uma vez que a relação carbono/nitrogênio é um fator muito importante, o material vegetal é uma das melhores matérias-primas, pois é fonte rica em carbono devido ao seu alto teor de carboidratos.
- c) Relação carbono/nitrogênio: Este fator é de grande importância para a formação dos ácidos orgânicos utilizados pelas bactérias para a produção de biogás. Além disso, o carbono é utilizado pelas bactérias como energia e o nitrogênio é usado para a construção das estruturas celulares. A relação ideal está na faixa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio.
- d) Tempo de retenção: É o tempo em que o material orgânico permanece no interior do biodigestor. O tempo de retenção está relacionado a fatores como a granulometria, temperatura, entre outros. Em geral recomenda-se tempos de retenção de 4 a 60 dias.

e) pH: O pH adequado situa-se na faixa entre 6 e 8, tendo 7 como o ideal. Ambientes muito ácidos causam a morte das bactérias metanogênicas.

#### 2.5.2 Desvantagens do uso do biogás

- a) menor poder calorífico.
- b) Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado.
- c) Dificuldades no estoque e armazenamento.

#### 2.5.3 Vantagens do uso do biogás

- a) Investimentos em moeda nacional;
- b) Combustível de baixo custo quando comparado a combustíveis fósseis;
- c) Localização próxima ao ponto de consumo;

### **3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA**

#### **3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins**

De acordo com os processos metodológicos esta pesquisa ajusta se, quanto a natureza dos dados em quantitativa e quanto aos fins em descritiva. Pois, através da previsão da quantidade de dejetos, da estimativa da quantidade de biogás gerado e mensuração da quantidade de energia elétrica gerada, foi possível fazer o levantamento do biodigestor a ser implantado e o seu dimensionamento, o tipo de conversão de energia a ser utilizado e a análise do destino da energia elétrica produzida (PRATI, 2010). A pesquisa foi considerada descritiva por descrever com transparência os fatos e fenômenos, de modo que este estudo é utilizado quando a intenção é conhecer determinada comunidade, suas características, valores e problemas relacionados à cultura (OLIVEIRA, 2011).

#### **3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios**

Quanto aos seus meios esta pesquisa se enquadra no recorte metodológico de estudo de campo, pois o mesmo é um tipo de pesquisa que procura o aperfeiçoamento de uma realidade particular como a observada em uma pequena propriedade rural. Foi realizado por meio da observação direta das atividades do local estudado e de esclarecimento com o proprietário que compreendem as explicações e interpretações do que ocorre naquela realidade.

#### **3.3 Tratamento dos dados**

O local escolhido para o estudo foi uma pequena propriedade rural de 170 hectares, localizada no Município de Caraií- MG, como mostrado na figura 6. O primórdio deste estudo se deve aos impactos da alta do custo de energia que é sentida com maior intensidade em pequenas propriedades rurais familiares, por via de regra, menos investidos e com baixas condições de arcar com essa alta de custos, tanto quanto aos consumos domésticos quanto para a produção. Sendo assim, o estudo de aplicação de alternativas tecnológicas para geração de energia a

baixo custo podem acarretar impactos socioeconômicos positivos. Aproveitar a biomassa para gerar energia tem sido uma alternativa propícia, causando a racionalidade de recursos disponíveis no meio rural e diminuindo a dependência por fontes externas de energia (BONTURI E VON DIJCK, 2012).

Figura 6 -Vista Aérea Propriedade rural no Município de Caraí- MG



Fonte: Google Maps

Para o dimensionamento de uma planta de geração de energia elétrica a partir do biogás deve-se analisar a quantidade de dejetos produzidos por animal, escolher o biodigestor a ser implantado e fazer o seu dimensionamento, identificar a quantidade de biogás produzida, analisar a qualidade do biogás e a finalidade para a qual será utilizado, determinar a quantidade de energia gerada e verificar a viabilidade econômica desse empreendimento através do método *payback*.

### 3.3.1 Estimação da quantidade de dejetos

O primeiro passo foi determinar a quantidade de bovinos que existem na propriedade, podendo assim determinar através de cálculos a quantidade de dejetos produzidos. Para calcular o volume da carga diária, é necessário conhecer a média da massa de dejetos produzida e somar a quantidade de água, observando a relação esterco/água (Tabela 4).

Tabela 4 - Planilha de cálculo do volume de carga

<b>Espécie animal</b>	<b>Esterco por animal kg</b>	<b>Quantidade de animais</b>	<b>Total de esterco</b>	<b>Relação esterco:água</b>	<b>Volume de água m<sup>3</sup></b>	<b>Volume de carga m<sup>3</sup></b>
	A	B	C=AxB	D	E=CxD	F=C+E
Vaca	7			1:1		
Vaca leiteira	25			1:1		
Bezerro	2			1:1		
Boi	15			1:1		
Total						

Fonte: Brasil, (2008)

#### 3.3.1.1 Análise e correção da qualidade dos dejetos

Em seguida foi analisada a qualidade, a composição dos dejetos e a necessidade de sua correção. Para Prati (2010), esta análise é feita através dos seguintes passos:

- Filtragem: a mesma ocorre através de peneiras que serão dimensionadas de acordo com a necessidade examinada. Necessita se também de uma lagoa de sedimentação, no qual os dejetos permanecem um dia, assim os materiais mais densos serão sedimentados. Para Oliveira (2014) a filtragem também serve para aumentar o poder calorífico e o rendimento térmico do biogás.

- Concentração: é indispensável a diluição dos dejetos. O grau de diluição deve pode ser determinado pela observação da matéria seca (MS) encontrada nos dejetos, sabendo que os sólidos voláteis (SV) são a essência para as bactéria metanogênicas que são as incumbidas da produção do biogás.

### 3.3.2 Escolha do tipo de biodigestor a ser implantado

Logo após foi eleito o tipo de biodigestor a ser utilizado, sendo que o mesmo deve atender a quantidade de dejetos produzidos, atender a necessidade de produção de biogás diária para que possa ser produzida a energia elétrica e ter baixo custo de implantação e manutenção.

#### 3.3.2.1 Dimensionamento do biodigestor

Um método prático de estimar o tamanho do biodigestor é calculando o produto da carga diária e do tempo de retenção, conforme a fórmula:

$$VB = VC \times TRH \quad (1)$$

Sendo:

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

VC = Volume da carga diária (dejetos +água) (m<sup>3</sup>/dia);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

A caixa de entrada pode ser um tonel plástico, ou tanque de alvenaria, dependendo do volume da carga diária. Todavia, não é recomendando a utilização de tonéis de metal, pois enferrujam rapidamente. A caixa de saída deve ser dimensionada com no mínimo três vezes o volume da carga diária para permitir armazenamento do biofertilizante.

O tempo de retenção hidráulico para bovinos e suínos é de 35 dias, em média(BRASIL, 2008; JUNQUEIRA, 2014).

Para encontrar as principais dimensões do biodigestor foram usadas as equações elaborado por Ribeiro (2011), que foi o responsável por reproduzir vários biodigestores modelo canadense para pequenos produtores rurais da América Central. Esses cálculos estão apresentados na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Equações para cálculo das dimensões do biodigestor

Fórmula	Descrição
$P = C = 2 \pi r \sin(\theta/2)$	P = perímetro transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (3)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ( $p \leq 0,4$ )
$b = (-1/3 A\% + 1/3)P$ (4)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618b$ (5)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951b$ (6)	h = profundidade da fossa
$A_f = 0,4755(a+b)b$ (7)	$A_f$ = área transversal da fossa
$A_t = A_f/(1-p)$ (8)	$A_t$ = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$A_g = A_t \cdot A_f$ (9)	$A_g$ = área transversal da campana ou área transversal destinada ao gás
$V_t = A_t L$ (10)	$V_t$ = volume total do biodigestor (campana mais gás) L = comprimento do biodigestor
$V_f = A_f L$ (11)	$V_f$ = volume total da fossa
$V_g = A_g$ (12)	$V_g$ = volume total do gás

Fonte: RIBEIRO (2011)

Para utilizar estas equações é preciso eleger os parâmetros iniciais: comprimento (L); raio da bolsa (r) e a proporção de fase gasosa (p) que deve ser menor que 0,4. Essas medidas são escolhidas em relação com o volume estimado para o biodigestor (JUNQUEIRA, 2014).

### 3.3.3 Materiais para construção do biodigestor

- 1 fossa séptica (volume igual ao VC)
- 1 Manta plástica de cobertura PVC flexível 1,0 mm
- Tubulação PVC 150 mm para esgoto (branca) para entrada de dejetos e saída de biofertilizante.
- Tubulação e conexões PVC 40 mm para água (marrom) para condução do biogás.
- Caixa de alvenaria ou fibra para armazenamento do biofertilizante.

- Mão de Obra.

### 3.3.4 Estimação da quantidade de biogás gerada

A estimativa da produção de biogás pode ser obtida utilizando a planilha de cálculos disposta na Tabela 6. Com base nesses dados, são necessários três bovinos adultos, presos à noite, para produção de 1m<sup>3</sup> de biogás/dia.

Tabela 6 - Cálculo de produção de biogás

Passo	Item	Operação	Unidade	Valor
1	Total de esterco/dia	Valor obtido na Tabela 4	Kg	
2	Total de biogás/dia	Valor do passo 1 multiplicado por valor da tabela 9	m <sup>3</sup> /dia	
3	Total de biogás/mês	Valor do passo 2 multiplicado por 30	m <sup>3</sup> /mês	
4	Equivalência em botijão 13kg GLP	Divida o valor da linha 3 por 33 (33m <sup>3</sup> biogás = 1 GLP P13)	Botijão/mês	
5	Equivalente em energia (KWh)	Multiplicar o valor da linha 3 por 5,5 (1m <sup>3</sup> de biogás = 5,5 kwh)	Kwh/mês	

Fonte: Quadros *et al.* (2007)

Posteriormente analisou se qual a melhor forma de conversão do biogás em energia elétrica de uma forma simples e barato. A conversão de energia deve ser analisada a cada caso.

### 3.3.5 Análise da viabilidade econômica

A análise financeira foi realizada através do método *payback* simplificado que avalia a viabilidade em termos de tempo passado entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento. (FERREIRA, 2014).

O *payback* foi utilizado para facilitar ao administrador a toma da decisão de implantar ou não o biodigestor com base em uma visão futura dos recursos financeiros é considerado também um método de recuperação do investimento, sendo assim o mais simples e popular (PRATI, 2010).

Para cálculo foi considerado como retorno de investimento os valores referentes à economia de energia elétrica produzida pelo biogás, o valor encontrado através de orçamentos sendo este, o valor do investimento inicial e valor gasto na manutenção de todo o sistema.

Não foi utilizado o valor referente aos gastos na conta de energia elétrica devido ao fato de que a energia gerada será utilizada somente em equipamentos utilizados para produção do leite, sendo assim, a conta de energia elétrica não chegará ao valor zero.

O *payback* é calculado através dos valores de investimento, retorno e fluxo de caixa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse trabalho, foi desenvolvido um estudo de viabilidade técnica e econômica, para instalação de um biodigestor modelo canadense cuja finalidade é a geração de energia em uma propriedade rural voltada para a criação de bovinos de leite.

O modelo de biodigestor canadense foi eleito por apresentar construção simples e barato, por ser o mais usado em propriedades rurais e ser de fácil manutenção.

### 4.1 Dimensionamentos do biodigestor

No local estudado, existem hoje 20 vacas produzindo leite, 20 bezerros e 1 boi. Esses animais serão os responsáveis por produzir o substrato utilizado no biodigestor. Logo, a Tabela 7, apresenta o cálculo da carga diária produzida no curral da fazenda, já levando em conta a adição de água para preparação do material orgânico para a fermentação.

Tabela 7 - Planilha de cálculo do volume de carga

<b>Espécie animal</b>	<b>Esterco por animal kg</b>	<b>Quantidade de animais</b>	<b>Total de esterco m<sup>3</sup></b>	<b>Relação esterco:água</b>	<b>Volume de água m<sup>3</sup></b>	<b>Volume de carga m<sup>3</sup></b>
	A	B	C=AxB	D	E=CxD	F=C+E /(1000)
Vaca leiteira <sup>1</sup>	20	20	400	1:1	400	0,8
Bezerro <sup>2</sup>	2	20	40	1:1	40	0,08
Boi <sup>1</sup>	15	1	15	1:1	15	0,03
Total		41	455		455	0,91

Fonte: BRASIL, (2008)

Sabendo que a carga diária é de  $0,91\text{m}^3$  de resíduos que serão recebidos pelo biodigestor deve se considerar um adicional de 10% nesse valor que examine qualquer variação que possa ocorrer. Após definido o volume de carga produzido será utilizada a formula (1)apresentada anteriormente. Levando em conta que o tempo de retenção hidráulica dos dejetos bovinos é de 35 dias (BRASIL, 2008).

$$VB = VC \times TRH$$

$$VB = 0,91 \times 35$$

$$VB = 31,85 \text{ m}^3$$

O valo encontrado para VB foi a base para o cálculo das dimensões do biodigestor. Operando as equações da Tabela 5, e utilizando o Excel como ferramenta de cálculo, calculou se as dimensões que melhor combinem a fim de obter um volume próximo ao VB calculado. A princípio foram adotados valores para: raio da bolsa (r); proporção da fase gasosa (p) e o comprimento do biodigestor, indicados abaixo:

- $r = 2,00 \text{ m}$  (escolhido de forma a não ultrapassar a altura da fossa)
- $p = 0,40$  (escolhida conforme o máximo valor admitido para manter a campana cheia de gás)
- $L = 3,00 \text{ m}$  (escolhido repetidamente otimizando as dimensões do biodigestor)

A Tabela 8 em seguida mostra os valores encontrados para dimensionamento do biodigestor.

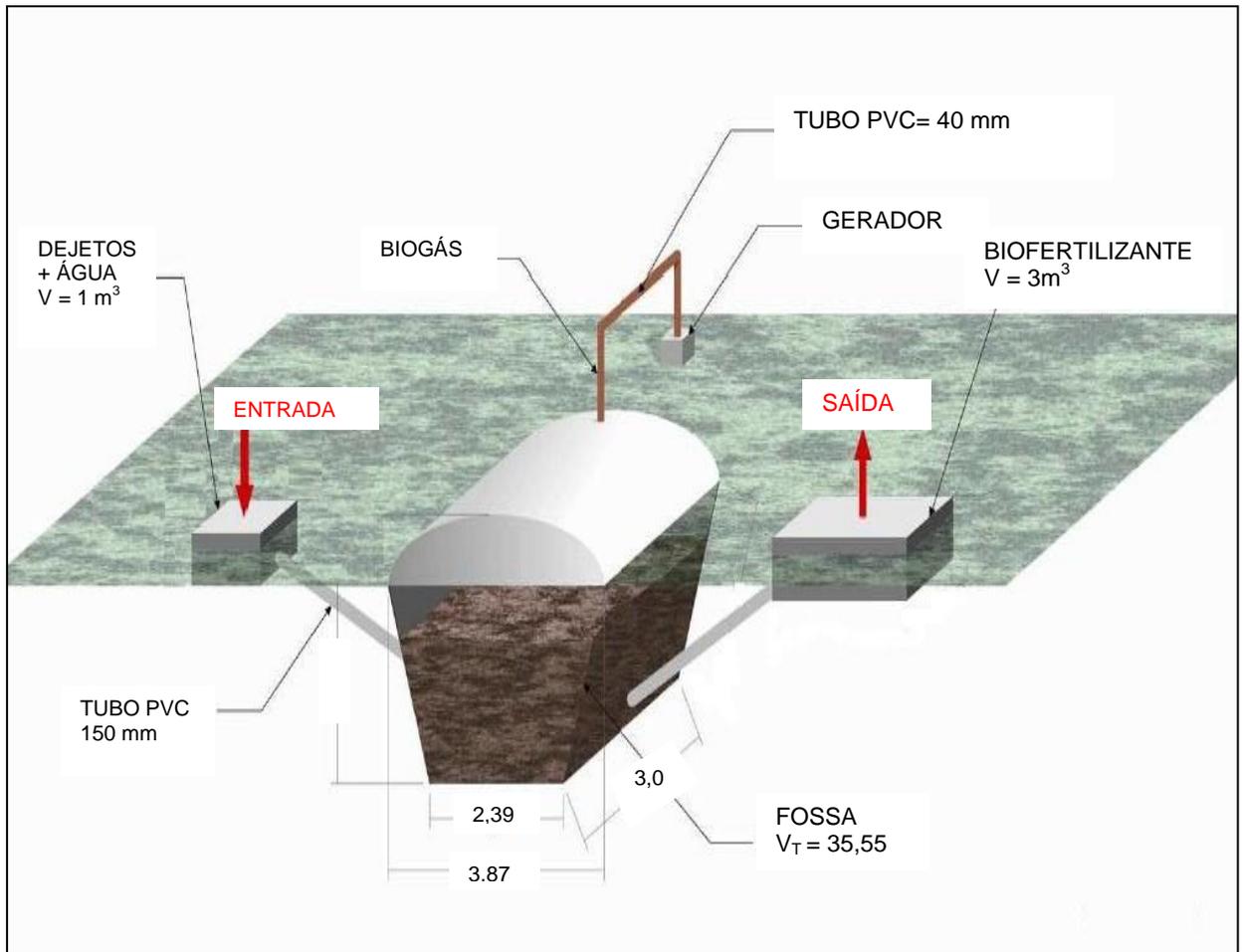
Tabela 8 - Dimensões calculadas do biodigestor

<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valores</b>
P	P = perímetro transversal	12,57 m
A%	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	43%
B	b = lateral, base ou largura menor da fossa	2,39 m
A	a = largura maior da fossa	3,87 m
H	h = profundidade da fossa	2,27 m
$A_f$	$A_f$ = área transversal da fossa	7,11
$A_t$	$A_t$ = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	11,85
$A_g$	$A_g$ = área transversal da campana ou área transversal destinada ao gás	4,74
$V_t$	$V_t$ = volume total do biodigestor	35,55
$V_f$	$V_f$ = volume total da fossa	21,33
$V_g$	$V_g$ = volume total do gás	14,22

Fonte: Autores, (2017)

A caixa de entrada deve ter volume maior ou igual ao da carga diária, portanto faremos a caixa com um volume de 1,00 m<sup>3</sup>. A caixa de saída será dimensionada com volume igual a três vezes o volume da caixa de entrada, a fim de conseguir conter possíveis acúmulos de biofertilizante, então terá 3,00 m<sup>3</sup>, como mostrado na figura 7.

Figura 7 - Esquema do sistema de biodigestor a ser instalado na propriedade



Fonte: Autores, (2017)

## 4.2 Estimação da quantidade de biogás gerada

A geração de biogás depende de qual resíduo está sendo utilizado, sabendo que a fermentação é favorecida quando nela é empregado o esterco animal, pois o mesmo conta com um maior número de bactérias. A produção de biogás é influenciada por diferentes épocas do ano e também pelo alimento ingerido pelo rebanho. Sendo assim cada tipo de animal apresenta uma taxa de produção de biogás diária em relação ao esterco conforme tabela 9.

Tabela 9 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais

Espécies	m <sup>3</sup> de biogás/kg de esterco
Poedeiras	0,1
Frangos de corte	0,09
Suínos	0,075
Caprinos	0,065
Bovinos de corte	0,04
Bovinos de leite	0,049
Codornas	0,049

Fonte: Brasil, (2008).

Utilizando a planilha de cálculo de produção de biogás pode se determinar a quantidade produzida nesta propriedade como mostra a Tabela 10.

Tabela 10: Cálculo de produção de biogás

Passo	Item	Operação	Unidade	Valor
1	Total de esterco/dia	Valor obtido na Tabela	Kg	910,0
2	Total de biogás/dia	Valor do passo 1 multiplicado por valor da tabela	m <sup>3</sup> /dia	44,59
3	Total de biogás/mês	Valor do passo 2 multiplicado por 30	m <sup>3</sup> /mês	1.337,7
4	Equivalência em botijão 13kg GLP	Divida o valor da linha 3 por 33 (33m <sup>3</sup> biogás = 1 GLP P13)	Botijão/mês	40,53
5	Equivalente em energia (KWh)	Multiplicar o valor da linha 3 por 5,5 (1m <sup>3</sup> de biogás = 5,5 kwh)	Kwh/mês	7.357,35

Fonte: adaptado, Junqueira, (2014)

### 4.3 Seleção do gerador

A escolha do gerador foi feita através do levantamento de todo o maquinário usado no curral e suas respectivas potências, figuras a seguir ilustra cada equipamento.

- 1 ordenhadeira – motor de 1 cv (0,75kW)

Figura 8 - Ordenhadeira



Fonte: Autor (2017)

- 1 moedor de cana e capim – motor 3 cv (2,2kW)

Figura 9 - Moedor de cana e capim



Fonte: Autor (2017)

- 1 resfriador de leite – 700 W

Figura 10 - Resfriador de leite



Fonte: Autor (2017)

Para analisar qual o gerador apropriado foi necessário cálculo da corrente de partida de cada equipamento.

A figura 11 abaixo, exibi a placa de identificação do motor empregado no sistema da ordenhadeira.

Figura 11 - Identificação do motor da ordenha



Fonte: Autor (2017)

Para o cálculo da potência de partida, é necessário calcular inicialmente a corrente de partida. As equações (13) e (14) são usadas para esses cálculos.

$$C_p = c \times (I_p / I_n) \quad (13)$$

$$P_{otp} = C_p \times V \times \cos \varphi \quad (14)$$

Onde:

$C_p$  : corrente de partida

$c$  : corrente nominal

$P_{otp}$  : potência de partida

$V$  : tensão nominal

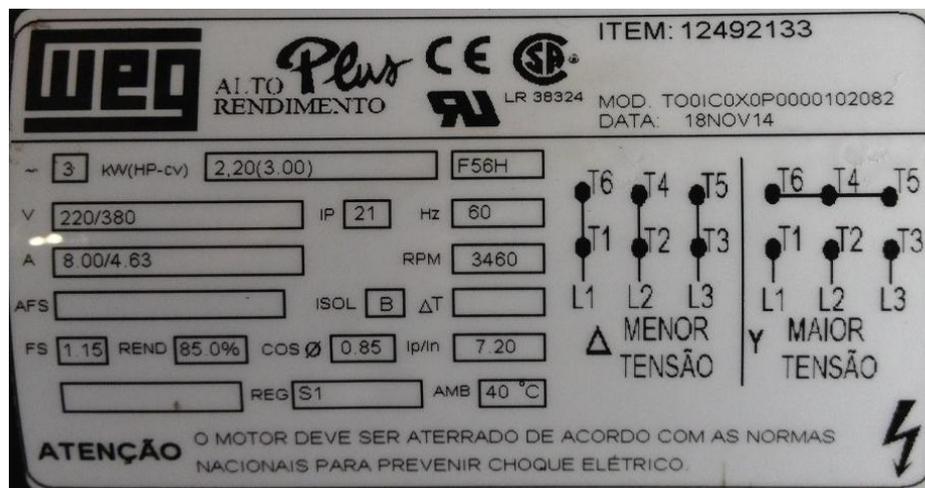
Logo, para o motor da ordenhadeira, utilizando as equações acima, o cálculo da potência de partida é:

$$C_p = 7,8 \text{ A} \times 4,9 = 38,22 \text{ A}$$

$$P_{otp} = 38,22 \text{ A} \times 220 \text{ V} \times 0,66 = 5,55 \text{ kW}$$

O mesmo pode ser feito para o motor da picadeira de capim utilizando os valores da placa de identificação ilustrados na figura 12.

Figura 12 - Placa de identificação do motor do moedor



Fonte: Autor (2017)

Então:

$$C_p = 8 \text{ A} \times 7,2 = 57,6 \text{ A}$$

$$Pot_p = 57,6 \text{ A} \times 220 \text{ V} \times 0,85 = 10,77 \text{ kW}$$

As lâmpadas fluorescentes não apresentam discrepância em sua potência nominal durante a partida. Já o sistema de resfriamento de leite, funciona com um compressor hermético, semelhante a uma geladeira e apresenta corrente de partida equivalente a cerca de quatro vezes a potência nominal, portanto:

$$Pot_p = 700 \text{ W} \times 4 = 2,8 \text{ kW}$$

A tabela 11 relaciona os equipamentos existentes no curral e suas respectivas potências de partida.

Tabela 11 - Potencia dos equipamentos instalados

<b>Equipamento</b>	<b>Potência nominal</b>	<b>Potência de partida</b>
Ordeneira	0,75 KW	5,55 KW
Moedor de cana e capim	2,2 KW	10,77 KW
Resfriador de leite	0,7 KW	2,8 KW
Lâmpada fluorescente	0,029 KW	0,029 KW

Fonte: Autores, 2017

Levando em consideração que o moedor de cana funciona antes de todos os outros equipamento e em apenas um horário e por esse motivo, na escolha do gerador a ser empregado, considerou como potência máxima a ser atendida, a soma entre as potências de partida da ordeneira, do tanque de resfriamento e das duas lâmpadas. A potência máxima requerida é então:

$$Pot_{m\acute{a}x} = 5,55\text{kW} + 2,8 \text{ kW} + (2 \times 0,029 \text{ kW}) = 8,41 \text{ kW}$$

Entretanto essa quantia é menor que a potência de partida necessária para o motor do moedor, então potência máxima a ser entregue pelo gerador deve ser de 10,77kW. A potência nominal do gerador deve ser maior que a soma das potências nominais dos equipamentos, sendo então:

$$Pot = 0,75\text{KW} + 2,2\text{KW} + 0,7 \text{ kW} + (2 \times 0,029 \text{ kW}) = 3,71 \text{ kW}$$

Considerando as perdas existentes nos cabos e garantir a segurança do processo é necessário acrescentar 25% na potencia nominal calculada. A potência requerida ( $Potr$ ) é então:

$$Potr = Pot + (25\% Pot) = 3,71 \text{ kW} + (0,25 \times 3,71 \text{ kW}) = 4,64 \text{ kW}$$

Foi selecionado, o gerador da Figura14, que tem potência máxima de 11,5 kW e potência nominal de 10,5 kW, atendendo assim, nossas necessidades.

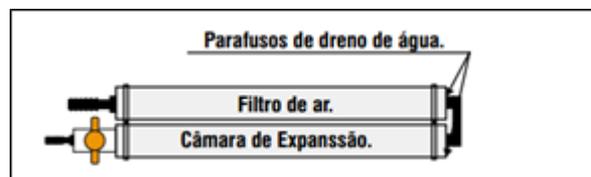
Figura 13 - Motogerador selecionado



Fonte: Clik Geradores, (2017)

A fim de que o gerador funcione é necessário aplicar um filtro ilustrado na figura 15 antes de sua alimentação.

Figura 14 - Filtro de biogás



Fonte: Manual de instruções biogás (2014)

Segundo Junqueira (2014) para utilização desse gerador é necessário realizar as seguintes alterações:

- Por ser um motor ciclo Otto sua razão de compressão é de 8,5:1 e a razão necessária é de 12,5:1 devido ao poder antidetonante do gás, por isso é necessário usinar o cabeçote do motor de modo a elevar sua razão.
- Deve se alterar também os cames do sistema de ignição em 45°, a fim de adiantarmos a ignição, pois o biogás demora mais para detonar.
- Deve ser instalado um tubo metálico de aproximadamente 10 centímetros no coletor de admissão do motor, onde será conectada a tubulação de biogás para alimentação do motor.

- O motor deve ser iniciado sempre na gasolina e após entrar em operação, é realizada a abertura da tubulação de biogás e fechamento da alimentação de gasolina, trocando então o combustível.

Para Souza, *et al.* (2004), esses são os parâmetros ótimos de operação de um motor ciclo Otto operando com biogás.

#### 4.4 Geração de energia

Tabela 12 - Dados técnicos do motor do gerador selecionado

Modelo	TG200FGE
TIPO	Refrigeração a ar - 4 tempos – OHV
SAIDA NOMINAL	19 HP / 3600 RPM
CILINDRADA	688 cc
Nº DE CILINDROS	2
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	≥370 g/KWh

Fonte: Toyama (2017)

De acordo com Junqueira (2014) o consumo específico do motor em metros cúbicos de biogás é de 0,65 m<sup>3</sup>/KWh . Com uma produção de 44,59 m<sup>3</sup> de biogás por dia é possível produzir 68,6 KWh/dia nesta propriedade. A tabela 13a seguir mostra o tempo em que o motor pode operar diariamente, levando em conta as diferentes faixas de potência do gerador.

Tabela 13 - Capacidade de Operação do motor gerador

Potência	Capacidade de operação
Potência Máxima	8,4 horas
Potência Nominal	9,2horas
½ *potência máxima	16,8horas

Fonte: Toyama (2017)

## 4.5 Análise econômica

### 4.5.1 Custos de instalação

Ao realizar o orçamento, foram considerados os preços de materiais e equipamentos essenciais para implantação do biodigestor. Os valores implicados nos cálculos foram gerados após levantamentos feitos em lojas *online* e físicas. Nestes cálculos estão inclusos desde a mão de obra ao maquinário. O valor total encontrado foi de R\$17.004,20, porém iremos considerar um acréscimo de 10% ao valor final para possíveis custos adicionais não contabilizados, com um custo final de R\$18.704,62. Os valores envolvidos no projeto estão apresentados na tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Custos do projeto

<b>Equipamentos</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total</b>
Motogerador	R\$ 10.637,48	1 unid.	R\$ 10.637,48
Manta de PVC flexível 1mm	R\$ 35,00	68 m <sup>2</sup>	R\$ 2.380,00
Tubulação de PVC flexível 150 mm	R\$ 20,00	8 m	R\$ 160,00
Tubulação de PVC flexível 40 mm	R\$ 10,00	20 m	R\$ 200,00
Flange 40 mm	R\$ 20,00	1 unid.	R\$ 20,00
Fio elétrico 2,5 mm	R\$ 45,00	1 rolo	R\$ 45,00
Caixa de alvenaria	R\$ 500,00	2 unid.	R\$ 1.000,00
Máquina de escavação	R\$ 1.000,00	1 diária	R\$ 1.000,00
Filtro de biogás	R\$ 146,72	1 unid.	R\$ 146,72
Usinagem do motor	R\$ 1.000,00	1 diária	R\$ 1.000,00
Registro de 40 mm	R\$ 15,00	1 unid.	R\$ 15,00
Mão de obra	R\$ 200,00	2 diárias	R\$ 400,00
Total	-	-	R\$ 17.004,20
Total + 10%	-	-	R\$ 18.704,62

Fonte: Autores, (2017)

A proposta em questão tem tempo de vida útil de aproximadamente 10 anos, considerando o tempo médio de vida do gerador.

A manutenção do biodigestor fica a cargo do cuidado ao uso, entretanto sua manta sofre um desgaste sendo necessário trocá-la a cada 5 anos. Já o a

manutenção do conjunto motogerador fica a cargo da troca trimestral do óleo, do filtro do óleo e da vela de ignição (JUNQUEIRA, 2014).

A tabela 15 representa os gastos de manutenção em seus respectivos períodos.

Tabela 15 - Planos de manutenção

<b>Manutenção</b>	<b>Período</b>	<b>Custo</b>
Troca de óleo, filtro e velas	3 meses	R\$ 50,00
Troca da manta de PVC	5 anos	R\$ 2.380,00

Fonte: Junqueira, (2014)

#### 4.5.2 *Payback* simplificado

Um dos objetivos desse trabalho foi a realização do cálculo *Payback* simplificado. Para a análise econômica foi considerado como retorno de investimento os valores referentes à economia de energia elétrica produzida pelo biogás, esquematizado na tabela 16.

Tabela 16 - Economia de energia gerada

<b>Equipamento</b>	<b>Quant.</b>	<b>Potência</b>	<b>Tempo de operação</b>	<b>Consumo KWh</b>	<b>Custo</b>
Ordeneira	1	0,75 KW	4 horas	3	1,49
Moedor de cana	1	2,20 KW	1 hora	2,2	1,09
Resfriador	1	0,70 KW	8,5 horas	5,95	2,94
Lâmpada fluorescente	1	0,029KW	3 horas	0,174	0,09
Total diário	-	-	-	-	5,61
Total mensal	-	-	-	-	168,30
Total anual	-	-	-	-	2.019,60

Fonte: Autores, (2017)

A partir dos dados obtidos sobre os custos do projeto e economia de energia, foi construído a tabela 17, demonstrando o *payback*.

Tabela 17 – *Payback simplificado* com valores de custo do investimento e economia de energia gerada

Ano	Investimento + manutenção	Retorno	Fluxo de caixa	Saldo
0	-18.704,62	0	- 18.704,62	-18.704,62
1	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-16.885,02
2	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-15.065,42
3	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-13.245,82
4	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-11.426,22
5	-2.580,00	+ 2.019,60	- 560,4	-11.986,62
6	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-10.167,02
7	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-8.347,42
8	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-6.527,82
9	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-4.708,22
10	- (2.580,00 + 10.637,48)	+ 2.019,60	- 11.197,88	-15.306,10
11	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-13.486,50
12	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-11.666,90
13	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-9.847,30
14	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-8.027,70
15	-2.580,00	+ 2.019,60	- 560,4	-8.588,10
16	-200	+ 2.019,60	+ 1.819,60	-6.768,50

Fonte: Autores, (2017)

A partir dos cálculos mostrados na tabela 17, a implantação de um biodigestor em pequenas propriedades não é viável devido ao alto custo.

## 5 CONCLUSÃO

Devido a importância do setor agropecuário para a economia brasileira, é necessário a busca para soluções da crise financeira enfrentada. Uma alternativa que vem sendo ampliada por esse setor é o uso de biodigestores para aproveitamento energético e sustentável. Existem vários modelos de biodigestores, sendo que cada um possui suas próprias características como: qual resíduo a ser utilizado; custo de implantação; melhor localidade de implantação e benefício apresentado.

Foi eleito para este trabalho o biodigestor modelo canadense, por seu baixo custo de implantação e por ser o mais usado em propriedades rurais. Realizamos então os cálculos necessários para o dimensionamento do biodigestor e seus respectivos produtos o biogás e posteriormente a energia elétrica. Para produção de energia foi dimensionado qual melhor motor gerador a ser empregado. A correta mensuração de todas as partes deste estudo evita gastos desnecessários.

Pra finalizar o estudo realizamos o *payback* como forma de avaliar a viabilidade do projeto em termos do tempo de retorno. Tendo em vista que o tempo de vida útil do motorgerador é de 10 anos e o custo em todo o investimento seria de R\$ 18.704,62, através de cálculos chegamos a conclusão que o investimento é inviável para propriedades pequenas, tendo em vista seu alto custo.

Portanto, chegou-se a conclusão que o uso de biodigestores em propriedades rurais é excelente para geração de energia e sustentabilidade, porém, ainda apresenta altos custos de aplicação, tornando o investimento inviável em pequenas propriedades rurais que possuem baixa produção de resíduos, que é o caso da propriedade estudada.

## REFERÊNCIAS

BARREIRA, Paulo. Biodigestores: Energia, Fertilidade E Saneamento. 3. ed. São Paulo: Icone, 2003. 108 p.

BONTURI, G. L.; VAN DJICK, M. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. 2012. UNICAMP, Campinas. 2012.

BRASIL. Instituto Winrock Brasil. Manual de treinamento em biodigestão. Bahia: Instituto Winrock Brasil, 2008. 23 p. Disponível em:<<http://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>>. Acesso em: 09 de Outubro de 2017.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente (MMA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). 2011. Disponível em:<<[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao02022012041757.pdf)>. >P.42,87. Acesso em 19 de maio 2017

COLLATO, L. ; LANGER, M. Biodigestor: Resíduos Sólidos Pecuária para Produção de Energia. [Editorial]. *Unoesc & Ciência- ACET*, Joaçaba, v.2, n.2,p 119-128, Jul./dez. 2011. Disponível em:<[http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/738/pdf\\_203](http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/738/pdf_203)>. Acesso em 15 de maio 2017

CLICK GERADORES. Loja *on-line*. Disponível em: <https://www.clickgeradores.com.br/gerador-de-energia-toyama-tg12000cxe3-380-11-5kva-partida-eletrica-trifasico-220-380v>>. Acesso em 19 de out. de 2017.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores Rurais: Modelo indiano, chinês e batelada .2002. Na. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002. Disponível em:<[http://www.proceedings.scielo.php?pid=MSC00000002000100031&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.proceedings.scielo.php?pid=MSC00000002000100031&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 08 de Junho de 2017

DUARTE NETO, E. D. Implementação e avaliação de um Biodigestor de produção descontínua. Revista eletrônica E-xacta, vol. 3, n. 2. 2010. Disponível em: <<http://revistas2.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/296/158>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

ELETROBRAS. *Linha do Tempo da Energia*. 2016. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/services/eletronbras/trilhaenergia/pdfs/linha-do-tempo-da-energia.pdf>>. Acesso em: 14 de setembro de 2017.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR). . Alemanha. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. 5. ed. Gülzow: FachagenturNachwachsendeRohstoffe E. V. (FNR), 2010. 233 p. Disponível em: <[http://web-resol.org/cartilhas/giz\\_-\\_guia\\_pratico\\_do\\_biogas\\_final.pdf](http://web-resol.org/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf)>. Acesso em: 08 de Outubro de 2017.

FARIA, N. Tipos de Biodigestores. 2008. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/energia/tipos-debiodigestores/>>. Acesso em 28 de maio de 2017

FERREIRA, J. Z. Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes tubulares t8 e tubulares de LED. 2014. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (utfpr), Curitiba, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3428/1/CT\\_CECONS\\_III\\_2014\\_11.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3428/1/CT_CECONS_III_2014_11.pdf)>. Acesso em: 18 de Out.de 2017.

FONSECA, F. S. T, et al. Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade de Suinocultura na Cidade de Balsas - MA: um Estudo de Caso. In: congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Universidade Estadual do Maranhão. Maranhão, 2009.

GASPAR, R. M. B. L. Utilização de Biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo- PR.2003 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção).

Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina. 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf>>.

Acesso em: 08 de maio de

JORGE, L., H., A.; OMENA, E. Biodigestor. Dossiê Técnico. SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões. 2012. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjEwNw==>>. Acesso em: 09 de setembro de 2017.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011533.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2017.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola, Brasília, v.15, n.3, 2006.

Manual do usuário do biogás. Geradores Branco. 2017. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/170373392/Manual-usuario-biogas>>. Acesso em 19 de Out.de 2017.

MARTIN, O. S. Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia Elétrica. 1º Seminário sobre a Utilização de Energias Renováveis para Eletrificação Rural do Norte e Nordeste do Brasil, Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO, 2004. Disponível em: <[http://www.eletronbras.gov.br/elb/portal/data/documents/storedDocuments/%7BA550763A-377A-4EFC-B5F4-7FB3FFD886CB%7D/%7B6632A665-43B7-4D5B-838F-E2283345D2D2%7D/1%B0Semin%E1rioFRE\\_ANEEL\\_CENBIO\\_Biomassa\\_041209.pdf](http://www.eletronbras.gov.br/elb/portal/data/documents/storedDocuments/%7BA550763A-377A-4EFC-B5F4-7FB3FFD886CB%7D/%7B6632A665-43B7-4D5B-838F-E2283345D2D2%7D/1%B0Semin%E1rioFRE_ANEEL_CENBIO_Biomassa_041209.pdf)>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

METZ, H.L. Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos. 2013. Monografia. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

MME Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030 (PNE):Eficiência Energética*. v. 11. Brasília 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, F. A. Manual de construção do Biodigestor Rural.2014. Disponível em:<[http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC\\_DSC\\_NOME\\_ARQUI20140917140023.pdf](http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20140917140023.pdf)>. Acesso 10 de maio 2017

OLIVEIRA, M. F. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. 72 p. Universidade Federal do Goiás, Catalão. 2011.

PALHARES, J. C. P. Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Suínos: Aprendendo com o Passado Para Entender o Presente e Garantir o Futuro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Brasília, 2008. Disponível em:<[https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/biodigestao-anaerobia-de-dejetos-de-suinos--aprendendo-com-o-passado-para-entender-o-presente-e-garantir-o-futuro\\_385188.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/biodigestao-anaerobia-de-dejetos-de-suinos--aprendendo-com-o-passado-para-entender-o-presente-e-garantir-o-futuro_385188.html)>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

PEREIRA, S; et al. Eficiência energética de equipamentos eletro rurais. 2002. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100055&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100055&script=sci_arttext)>. Acesso em 12 de abril de 2017.

PRATTI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. 2010.83 f. Monografia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS). Guia técnico: Gestão Energética. 188 p. Rio de Janeiro: Eletrobrás 2005

RICARDO, C. M. Avaliação econômica de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.

RIBEIRO, D. S, et al. Determinação das Dimensões de um Biodigestor em Função da Proporção Gás/Fase Líquida. Revista Holos, ano 27, vol. 1. 2011. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/269>>. Acesso em: 09 de Outubro de 2017.

SANTOS, F. R. et al. Avaliação dos Custos de Implantação de Biodigestores e da Energia Produzida pelo Biogás. Revista Engenharia Agrícola. , Jaboticabal, v.35, n.6, p.990-997, nov./dez. 2015.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: EMBRAPA - DID, 1980. EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 4. Disponível em:< file:///C:/Users/User/Downloads/Construcao-e-Funcionamento-de-Biodigestores%20(1).pdf>. Acesso em: 14 de Setembro de 2017.

SOUZA, J., et al. Desempenho de um Motor Ciclo Otto Utilizando Biogás como Combustível. In: Anais 5º Encontro de Energia no Meio Rural: 2004. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100044&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100044&script=sci_arttext)>. Acesso em 20 de Out.de 2017.

SOARES, R. C.; DA SILVA, S. R. C. M. Evolução Histórica do Uso de Biogás como Combustível. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFT: Cuiabá, 2010. Disponível em:< <http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/843/570>>. Acesso em 14 de setembro de 2017.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. S.; PAVAN, A. A. C. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto Motor-gerador utilizando Biogás da Suinocultura. Na.5. Enc. Energ. Meio Rural. 2004. Disponível em:<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100042&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100042&script=sci_arttext)>. Acesso em 03 de maio de 2017

TOYAMA. Ficha técnica. Disponível em:  
<<http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467657817.pdf>>. Acesso em: 29 de  
outubro de 2017.

