

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ALTIVIR LUIZ DOMINIAK
JOÃO PAULO CALLEGARI TONELLO
WAGNER AMORIM SILVA**

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO
DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS COMO
FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2016**

ALTIVIR LUIZ DOMINIAK
JOÃO PAULO CALLEGARI TONELLO
WAGNER AMORIM SILVA

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO
DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS COMO
FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado à disciplina de TCC-2, do curso de
Engenharia Elétrica, como requisito parcial para
obtenção de grau de Engenheiro Eletricista, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
campus Curitiba.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini.

CURITIBA
2016

Altivir Luiz Dominiak
João Paulo Callegari Tonello
Wagner Amorim Silva

Projeto e Implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 13 de junho de 2016.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Cesar Eduardo F. Castañeda, Me
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilberto Manoel Alves, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

DOMINIAK, Altivir L.; TONELLO, João P. C.; SILVA, Wagner A. **Projeto e implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia.** 2016. 56 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Recentemente o biogás era visto apenas como um subproduto da decomposição anaeróbica de lixo urbano, de resíduos de animais e de lodos de origem de estações de tratamentos de esgotos domésticos. Porém, o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos e as constantes elevações dos preços dos combustíveis tem incentivado a produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente viáveis, buscando-se criar novos meios de produção energética que possibilitem a economia ou a conservação dos recursos naturais, a produção de fertilizantes e a geração de fonte de renda alternativa para pequenos produtores. Este trabalho é direcionado para pequenas propriedades rurais. Para isto utilizamos uma propriedade rural situada na cidade de Piraquara (Paraná) com 12 hectares, e através deste projeto mostramos como o pequeno produtor rural pode melhorar sua fonte de renda e produtividade com o tratamento adequado dos dejetos da casa e também dos animais que vivem na propriedade colaborando assim com o conceito de sustentabilidade. Dentro desse contexto a presente pesquisa constatou que a estimativa de geração de metano em uma propriedade rural de 12 hectares seja em média de 1,608 m³ ao dia com potência energética disponível de 2,302 kWh/dia. Nesta situação justifica-se a utilização da energia provinda do biogás e o uso do biofertilizante por representar ganho econômico e ambiental.

Palavras Chaves: Biogás. Biofertilizante. Resíduos Sólidos. Esgotos sanitários. Energia. Propriedade Rural.

ABSTRACT

DOMINIAK, Altivir L.; TONELLO, João P. C.; SILVA, Wagner A. **Design and implementation of biogas generation systems in small farms as an alternative energy source** 2016. 56 pages. Work Completion of course (Bachelor of Electrical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2016.

Recently biogas was seen only as a by-product of anaerobic decomposition of urban waste, animal waste and sludge source domestic sewage treatment plants. However, rapid economic development in recent years to the constant fuel price rises has encouraged the production of energy from new and economically feasible alternatives sources, seeking to create new energy production means for the economy or the preservation of natural resources, the production of fertilizers and the generation of alternative income source for small producers. This work is directed to small farms. For this we use a rural property located in the city of Piraquara (Paraná) with 12 hectares, and through this project we show how small farmers can improve their source of income and productivity with proper treatment of the household waste and also of animals living the property thus collaborating with the idea of sustainability. Within this context the present study found that the estimation of methane generation in a country estate of 12 hectares is in average of 1,608 m³ of the day with energy power available from 2,302 kWh / day. In this situation justifies the use of the energy supply of biogas and the use of biofertilizers to represent economic and environmental gain.

Key Words: Biogas. Biofertilizers. Solid Waste. Sewage. Energy. Rural property.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas do processo de produção do biogás.	21
Figura 2 - Biodigestor modelo indiano.	26
Figura 3 - Biodigestor modelo chinês.	30
Figura 4 - Biodigestor modelo batelada.....	34
Figura 5 - Projeto inicial do biodigestor.	37
Figura 6 - Ligação bombona de carga de 250l.	45
Figura 7 - Biodigestor – Caixa d’agua de 1000l.....	46
Figura 8– Biodigestor – Com gasômetro e válvula de saída de gás instalada.	46
Figura 9 – Biodigestor – Bombona de saída.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do biogás processado no biodigestor	23
Tabela 2 - Equivalência energética entre 1m ³ de biogás e outras fontes de energia	24
Tabela 3 - Estimativa da produção do biogás a partir de diferentes dejetos animais.	27
Tabela 4 - Resultados preliminares do desempenho de biodigestores modelos Indiano e chinês, com capacidade de 5,5 m ³ de biomassa, operados com esterco bovino	31
Tabela 5 - Consumo per capita de água (q).	38
Tabela 6 - Índices de produção de biogás, GLP e kWh	40
Tabela 7 - Materiais e Custos	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano	27
Quadro 2 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo chinês.....	31
Quadro 3 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo batelada	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNTP	- Condições Normais de Temperatura e Pressão
Cv	- Carga orgânica volumétrica
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IEE	- Instituto de Energia e Ambiente
INCRA	- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
USP	- Universidade de São Paulo
PCI	- Poder Calorífico Inferior
PVC	- Policloreto de Polivinila (<i>Polyvinyl Chloride</i>)
Q	- Vazão de resíduo
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
S _o	- Concentração de matéria orgânica
TCC	- Trabalho de Conclusão de Curso
TDH	- Tempo de Detenção Hidráulica
V	- Volume útil do biodigestor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA	10
1.1.1 Delimitação do Tema	11
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBICA	16
2.1.1 Cinética da digestão	16
2.1.2 Rendimento e velocidade da digestão	17
2.1.3 Produtos resultantes da biodigestão anaeróbica	18
2.2 BIOGÁS	19
2.2.1 Histórico do biogás	19
2.2.2 Aspectos físico-químico	19
2.2.3 Formação do Biogás	20
2.2.3.1 Fermentação	21
2.2.3.2 Hidrólise	21
2.2.3.3 Acidogênese	22
2.2.3.4 Acetogênese	22
2.2.3.5 Metanogênese	22
2.2.4 Fatores que influenciam na geração de biogás	23
2.2.5 Composição do biogás	23
2.3 TIPOS DE BIODIGESTORES	24
3 PROJETO DO BIODIGESTOR	36
3.1 ESTUDO INICIAL	36
3.2 CÁLCULO DA VAZÃO DE RESÍDUOS	38
3.3 PRODUTIVIDADE DE BIOGÁS	39
3.4 PRODUTIVIDADE DE BIOFERTILIZANTE	43

4 PROJETO FINAL.....	45
4.1 LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	47
4.2 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	48
4.3 MANUTENÇÃO E LIMPEZA	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
ANEXO A.....	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Recentemente o biogás era visto apenas como um subproduto da decomposição anaeróbica de lixo urbano, de resíduos de animais e de lodos de origem de estações de tratamentos de esgotos domésticos. Porém, o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos e as constantes elevações dos preços dos combustíveis tem incentivado a produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente viáveis, buscando-se criar novos meios de produção energética que possibilitem a economia ou a conservação dos recursos naturais (VILLELA e SILVEIRA, 2006).

O desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas visando a geração de energia autônoma para pequenos produtores rurais podem gerar impactos socioeconômicos positivos. Uma das alternativas tecnológicas mais promissora diz respeito ao aproveitamento da biomassa para geração de energia, que proporciona uso mais racional dos recursos disponíveis na exploração agrícola, reduzindo os gastos com energia elétrica e diminuindo a dependência de fontes externas (ESPERANCINI *et al.*, 2007).

Existem hoje diversas alternativas tecnológicas de aproveitamento da biomassa para geração de energia, tecnicamente viáveis para a agricultura familiar. Uma das alternativas que vem despertando grande interesse, é a tecnologia de biodigestão anaeróbia de resíduos dos animais, e particularmente de resíduos gerados com a criação animal, pela implantação de biodigestores (ESPERANCINI *et al.*, 2007).

O biodigestor apresenta-se como fonte alternativa de produção e geração de energia. Logicamente, a quantidade de energia gerada é, muito menor que a das hidrelétricas, devido ao tamanho destas em relação a quantidade de biodigestores instalados, mas em compensação os impactos ambientais e sociais são mínimos. A produção de energia é barata, e o aproveitamento dos resíduos animais evita a poluição do meio ambiente, preservando os recursos naturais (GASPAR, 2003).

Ainda segundo Gaspar (2003), a contribuição principal deste sistema, porém, é

que os dejetos produzidos na propriedade são transformados em gás e os resíduos deste processo ainda podem ser utilizados como fertilizantes.

Atualmente, para a implantação de projetos que utilizam o biogás, inclusive em pequena escala, é preciso levar em conta as condições socioculturais, políticas, econômicas, ambientais e também a tecnologia adequada, principalmente para áreas rurais. Nesse sentido, antes de construir uma instalação de biogás, deve-se julgar o custo benefício da ótica do beneficiário, da região e do Estado. Analisando a rentabilidade de instalações de biogás, os objetivos de cada escolha são de extrema importância.

A implantação de um sistema a biogás pode servir a objetivos como (GTZ, 1997 *apud* VILLELA e SILVEIRA, 2006):

- Produzir energia;
- Obter fertilizante orgânico para agricultura;
- Melhorar os serviços de saúde pública e higiene;
- Reduzir o impacto das crises de energia;
- Melhorar as condições sociais nos níveis mais pobres da população;
- Gerar renda;
- Reduzir impactos ecológicos com reaproveitamento de resíduos.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizaremos uma pequena propriedade rural, já conhecida, situada em Piraquara, e através deste projeto buscamos atingir todos os pontos citados acima, visando com isso obter um destino melhor para os dejetos da casa e também dos animais que vivem na propriedade, melhorar com isso a qualidade de vida dos moradores e diminuir os gastos com energia, colaborando assim com a ideia de sustentabilidade implementada pelo proprietário em outros setores da propriedade.

1.1.1 Delimitação do Tema

Com o intuito de diminuir o consumo de energia elétrica, a dependência das grandes empresas geradoras de energia e preservar os recursos naturais, é necessário desenvolver um sistema para produção de biogás proveniente de

biodigestão de dejetos produzido em propriedades rurais de pequeno porte, inclusive dos dejetos domésticos.

Para que isso possa ser realizado com sucesso é de fundamental importância que sejam estudados temas como: tipos de biodigestores, poder calorífico do biogás, aspectos econômicos da implantação de biodigestores em pequenas escalas de produção, formas de monitoração do processo de biodigestão, entre outros.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

As tecnologias devem contribuir para alavancar o desenvolvimento socioeconômico por meio do máximo aproveitamento dos recursos, mas também devem buscar, ao mesmo tempo, que os impactos ambientais oriundos da implantação destas tecnologias sejam minimizados. Não apenas a agroindústria, mas também os pequenos produtores rurais necessitam adequar-se ao conceito de eco-eficiência e atender as novas exigências de certificações e selos de qualidade ambiental do mercado (ANDRADE *et al.*, 2002).

A utilização de energias renováveis é uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados, melhorando a gestão dos recursos econômicos da pequena propriedade, minimizando problemas ambientais gerados pelos resíduos orgânicos e evitando problemas à saúde humana em virtude da contaminação do meio ambiente, além de contribuir para a estabilização dos níveis de consumo dos recursos naturais e ajudar a solucionar o problema de abastecimento energético mundial (BARBOSA e LANGER, 2011).

Ainda segundo Barbosa e Langer (2011), a biodigestão pode gerar benefícios ambientais pela eliminação de resíduos dispostos de modo irregular, diminuindo a contaminação da água, do solo e do ar. Quanto aos benefícios sociais, a biodigestão evita o contato humano aos resíduos reduzindo a proliferação de pragas e outras doenças correlacionadas à falta de saneamento básico. Com relação aos benefícios econômicos, estes podem ser percebidos por meio da geração de energia e uso de biofertilizantes de grande importância para a adubação em geral.

Frente a esse contexto de desenvolvimento socioeconômico e ambiental, surge

a seguinte questão, que norteará o desenvolvimento deste trabalho:

Como implementar um sistema de biodigestão em pequenas propriedades rurais para produção e utilização de biogás como fonte alternativa de energia?

Para responder a esta pergunta será realizada intensa pesquisa sobre o assunto em questão, além de um projeto detalhado para implantação prática do sistema proposto em uma propriedade rural de pequeno porte. Bem como, serão analisadas as vantagens ou desvantagens que a implantação destes aparelhos podem trazer a uma propriedade rural de pequeno porte, ou seja, propriedades destinadas à agricultura familiar com área de até 4 módulos fiscais.

O módulo fiscal é uma unidade de medida criada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para indicar a extensão mínima das propriedades rurais que são consideradas áreas produtivas economicamente viáveis, essa unidade varia dependendo do município, no caso de Piraquara 1, módulo fiscal corresponde a 12 hectares (ha), ou seja, são destinadas à agricultura familiar propriedades até 48 ha. Segundo o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), no Paraná as propriedades rurais até 4 módulos fiscais correspondem a 92,26% (IAP, 2014).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta para a implantação de um biodigestor em propriedades rurais de pequeno porte, com área não superior a 4 módulos fiscais. Implementar a proposta em um estudo de caso de uma pequena propriedade rural de 12 hectares no município de Piraquara.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão de literatura sobre os tipos de biodigestores existentes que possam contribuir para a implantação do nosso projeto.
- Definir os equipamentos que serão usados para a construção do biodigestor.
- Elaborar uma lista de materiais possíveis para a construção e selecionar os que apresentarem melhor relação custo/benefício.
- Desenvolver o projeto do sistema a ser implantado na propriedade rural escolhida.

1.4 JUSTIFICATIVA

Devido à preocupação cada vez maior com o meio ambiente e redução na utilização de combustíveis fósseis, fontes limpas de energia se tornam necessárias para a diminuição na emissão de gases do efeito estufa, como alternativa energética em lugares remotos e aproveitamento de resíduos de outros processos.

As tecnologias de digestão anaeróbia e de aproveitamento do biogás têm-se revelado eficazes no tratamento e valorização de resíduos e na mitigação do efeito estufa (BRASIL, 2010, p.5). Tendo ciência que o biogás é uma alternativa viável para geração de energia térmica e elétrica, o estudo realizado nesse trabalho tem como finalidade a geração de biogás através de biodigestores que aproveitam dejetos provenientes de outros processos, assim como o estudo aprofundado da viabilidade econômica para implantação de um biodigestor em uma propriedade rural localizada no município de Piraquara - PR, onde resíduos animais e de banheiros secos, serviço prestado pelo morador, servirão como combustível para o biodigestor. O biodigestor ao final de seu processo produzirá biogás e adubo orgânico, dois materiais de grande valor os quais podem viabilizar economicamente a implementação desse processo em larga escala.

Pretende-se através da solução do problema apresentado, agregar experiência

prática na geração e utilização de energias alternativas ao conhecimento teórico adquirido em sala de aula. Com o estudo e implementação do biodigestor pretende-se criar um modelo eficiente e de baixo custo, no qual pequenos produtores que não sabem o que fazer com os dejetos ou muitas vezes tem de pagar pelo descarte dos mesmos, possam reduzir custos de produção, obter renda alternativa com a geração de outros produtos e também diminuir os impactos causados ao meio ambiente pelo descarte incorreto de dejetos.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto de pesquisa proposto tem caráter qualitativo. A pesquisa será desenvolvida através do levantamento e análise de dados, revisão bibliográfica, projeto de implementação de um biodigestor em uma propriedade rural, assim como o estudo da viabilidade econômica do sistema para geração de energia elétrica.

A primeira etapa para a realização do projeto é o levantamento das necessidades e problemas enfrentados pelo produtor rural, a qualidade e eficiência do produto esperadas pelo usuário. Definidas as diretrizes do projeto, deverá ser realizada uma revisão bibliográfica sobre os processos e modelos de biodigestor, materiais e equipamentos utilizados. Após a obtenção dos conhecimentos teóricos e práticos sobre o tema abordado, será realizado o projeto e implementação do biodigestor na propriedade rural, nessa etapa são realizados testes e modelos de controle para medir e garantir uma maior eficiência para o sistema.

Por fim serão avaliados os resultados para determinação da viabilidade econômica do sistema. Também será realizada a divulgação do projeto através de um artigo, trazendo contribuição para a inovação e geração do conhecimento, elaborando um projeto de biodigestor que servirá de modelo simples e barato.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBICA

A digestão anaeróbica é um processo de fermentação de resíduos orgânicos biodegradáveis provenientes de áreas urbanas, rurais ou industriais, podendo contemplar uma ou mais das seguintes finalidades: tratamento de materiais orgânicos poluentes e microrganismos patogênicos, produção de biogás e produção de biofertilizantes mais estáveis, com melhor qualidade sanitária e mais ricos em nutrientes que seu material original (SOUZA, 1984).

Segundo Cravieiro (1982) *apud* Rizzoni (2012, p.08) "As bactérias responsáveis pela digestão anaeróbica estão dispostas na natureza, em sedimentos de lagos, aterros sanitários, trato digestório de animais (principalmente de ruminantes) e esterco."

A digestão anaeróbica de resíduos orgânicos é uma tecnologia alternativa que tem sido amplamente utilizada, apresentando eficiência no tratamento destes resíduos, resultando na produção de fontes alternativas de energia através da geração do biogás (SILVA, 2009).

2.1.1 Cinética da digestão

O estudo da cinética de um processo de biodigestão anaeróbica é primordial para a determinação e otimização dos parâmetros de projeto de biodigestores em escala real (SILVA, 2009).

"O estudo cinético de um determinado fenômeno ou processo, significa estudar sua evolução no tempo, através da quantificação de certas grandezas que definem adequadamente esta evolução" (NETO *et al.*, 1999 *apud* SILVA, 2009).

A determinação dos parâmetros cinéticos do processo de digestão é de fundamental importância para alcançar resultados satisfatórios, porém a obtenção de

dados do sistema é difícil. Devido aos inúmeros problemas faz-se necessária a utilização de técnicas rápidas para a determinação da cinética de biodegradação, como as utilizadas em reatores de batelada (PESCADOR, 2001).

2.1.2 Rendimento e velocidade da digestão

Para determinar o rendimento de um sistema de digestão anaeróbica é necessário efetuar a razão do volume de gás produzido em litros ($L_{\text{gás}}$ CNTP), pela quantidade de matéria orgânica adicionada ao sistema em gramas (g). A concentração de matéria orgânica é avaliada pela concentração de sólidos voláteis presentes ao material adicionado. Deste modo pode-se observar valores de rendimento que vão de 0,2 a 0,7 $L_{\text{gás}}/g$ de sólidos voláteis adicionados, do volume total de gás produzido 50 a 70% é composto por metano (CH_4) e o restante é constituído principalmente de gás carbônico (CO_2) (SOUZA, 1984).

Outro fator de fundamental importância para determinar o rendimento e viabilidade do sistema é a velocidade da digestão, normalmente representada pelo tempo de detenção hidráulica (TDH) que pode ser definido pela Equação 1 (SOUZA, 1984).

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q} \quad [\text{s}] \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

TDH = Tempo de detenção hidráulica (s);

V = Volume útil do biodigestor (m^3);

Q = Vazão de resíduo ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Segundo Souza (1984) para determinar o volume de material que deve ser aplicado ao sistema de digestão é necessário analisar a concentração de matéria orgânica presente na carga em gramas por litro (g/L). O volume de carga orgânica aplicada ao digestor é inversamente proporcional ao tempo de detenção hidráulica.

“A Carga orgânica volumétrica (C_v) é definida como a quantidade de massa

aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo” (MACEDO *et al.*, 2013 apud CHERNICHARO, 2007). Como apresentado na Equação 2.

$$C_v = \frac{Q \cdot S_o}{V} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

C_v = carga orgânica volumétrica ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$);

S_o = Concentração de matéria orgânica ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) ou ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

Q = Vazão de resíduo ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

V = Volume útil do biodigestor (m^3).

2.1.3 Produtos resultantes da biodigestão anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo de reações bioquímicas realizado por bactérias, podendo ser dividido em quatro fases: Hidrólise ou quebra das moléculas de lipídios, proteínas ou carboidratos; Acidogênese (fermentação realizada pelas bactérias); Acetogênese (formação do substrato para produção de metano); Metanogênese (produção de metano). Essa cadeia de reações bioquímicas tem como produto final o biogás (FERNADES, 2009).

O biogás, diferentemente do etanol e de óleos combustíveis extraídos de diversas culturas, não compete com a produção de alimentos, podendo ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas ou industriais, de excrementos de animais e humanos e de resíduos urbanos, assim como já é feito em aterros sanitários. Ao contrário de ser um agente de poluição, a produção de biogás torna-se uma ferramenta auxiliar do saneamento ambiental (YURA, 2006).

Embora a digestão anaeróbica tenha atingido o auge como fonte de produção de combustível (biogás) na década de 70, foi observada a característica do tratamento de resíduos contaminantes e a geração de produtos com propriedades de biofertilizantes. Dessa forma, além das vantagens na produção do biogás, o tratamento de dejetos e resíduos contaminantes e a produção do biofertilizante se tornaram justificativas para a implantação e desenvolvimento desta tecnologia

(BERNI, 2003).

Segundo Gonçalves (2009) “Ao contrário do material poluente, o que se obtém é o biofertilizante, um líquido rico em nutrientes para as plantas, podendo substituir total ou parcialmente a adubação química”.

2.2 BIOGÁS

2.2.1 Histórico do biogás

O biogás também conhecido por gás dos pântanos, gás de aterro, entre outros nomes, para Ferling (2003) define-se como o gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica.

Em 1859 tem-se o primeiro registro de uso do biogás e de acordo com Ferling (2003), ocorreu na Europa, na qual foi utilizado o biogás para iluminação de ruas da cidade de Exter, em 1941, tem-se o primeiro estudo de aproveitamento do gás em pequena usina através do uso de estrumes e outros materiais.

Nos anos 50 e 60 o biogás apresentou importante papel em pequenos aglomerados rurais da China e na Índia, sendo estes os pontos de maior desenvolvimento da tecnologia nesta época. Porém a partir da crise energética da década de 70 o biogás voltou a despertar interesse de países da Europa e com isso houve um aumento significativo de sua utilização.

Nos dias de hoje com o aumento do valor agregados aos combustíveis tradicionais, o biogás antes visto como um subproduto, hoje apresenta-se como uma solução economicamente viável e que agrega um ganho ambiental.

2.2.2 Aspectos físico-químico

De acordo com Ferling (2003) a composição do biogás, se torna difícil de

definir pois depende diretamente do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbico que sofre, porém de modo geral, sua composição varia basicamente em 50% a 70% de metano do volume do gás produzido, dióxido de carbono de 25% a 65% e pode ainda produzir outros gases como nitrogênio, hidrogênio, gás sulfídrico, oxigênio e amoníaco, que somados atingem aproximadamente 10% do volume do gás produzido.

Através disso pode-se assumir que o biogás é composto basicamente por metano que temos como principal combustível do biogás, e também de gás carbônico, porém a presença de outros gases faz-se com que a escolha da tecnologia utilizada influencie na operação, limpeza e combustão do gás de acordo com a necessidade do projeto.

Outro aspecto importante a se levar em conta de acordo com Ferling (2003) é a umidade presente no biogás, pois esta tem influência direta no processo de combustão, afetando assim o poder calorífico do gás gerado.

2.2.3 Formação do Biogás

De acordo com Gorgati (1999) os componentes orgânicos podem ser convertidos em energia através da digestão anaeróbica onde parte da matéria é convertida em metano, que era considerado como um subproduto da biodigestão.

O processo de produção de biogás resumidamente pode ser descrito por 3 etapas básicas como apresentado na Figura 1.

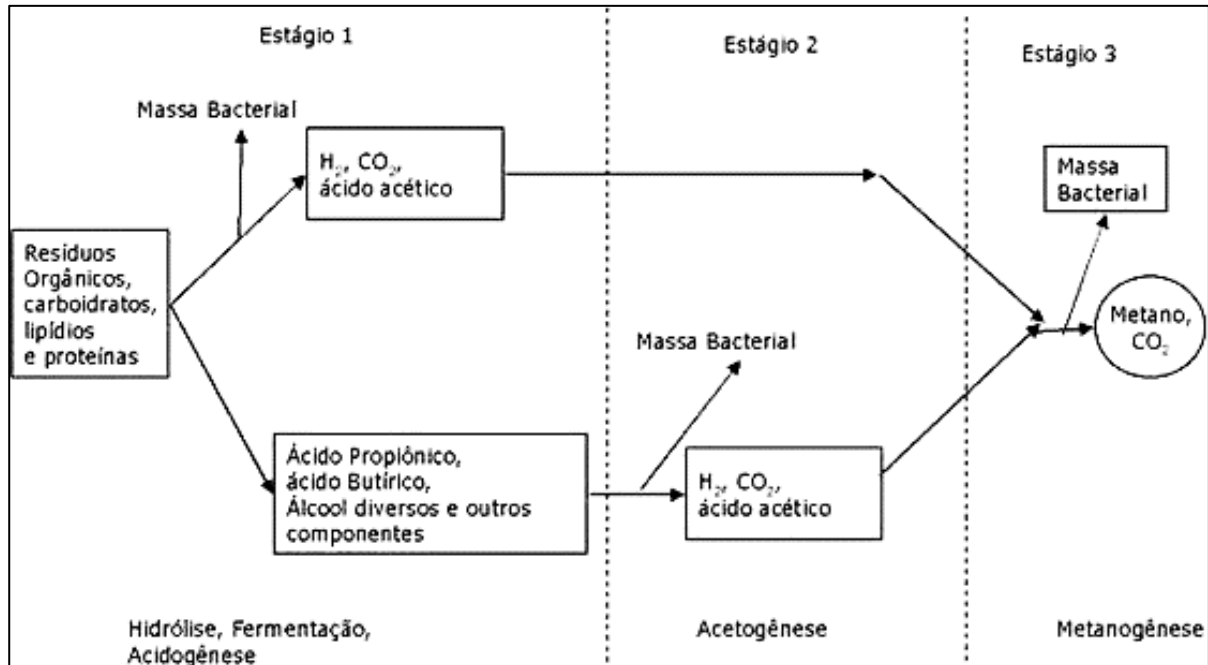


Figura 1- Etapas do processo de produção do biogás.
Fonte FERLING (2003).

2.2.3.1 Fermentação

Esta etapa ocorre no primeiro estágio do ciclo e envolvem bactérias que podem ou não ser anaeróbicas.

2.2.3.2 Hidrólise

O processo de hidrólise consiste em converter a matéria orgânica em moléculas menores através da ação de bactérias hidrolíticas que durante o processo transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos e gorduras em ácidos graxos.

2.2.3.3 Acidogênese

Nesta etapa as substâncias resultantes da hidrólise serão transformadas por bactérias fermentativas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e álcoois, também atuam as bactérias do ácido fórmico que degradam as moléculas orgânicas solúveis em gás hidrogênio (H_2), ácido acético (CH_3COOH) e gás carbônico (CO_2).

A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, interfere negativamente na eficiência da acidogênese o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura baixa e o processo pode ser quase que totalmente afetado.

2.2.3.4 Acetogênese

Nesta segunda etapa os materiais resultantes da acidogênese são transformados em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas. Esta etapa é uma das fases mais delicadas do processo, pois é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias.

De acordo com Costa (2003) os principais exemplos de microrganismos acetogênicos do processo são: *Syntrophobactérias*, *Syntrophonomas* e *Syntrophosporora*.

2.2.3.5 Metanogênese

As bactérias atuantes nesta etapa são obrigatoriamente anaeróbias e sensíveis as mudanças no meio, nesta etapa também temos como produto a formação de metano. De acordo com Costa (2003), em condições moderadas, 70% do metano é

derivado do acetato, enquanto os outros 30% é derivado do $H_2 + CO_2$.

Segundo Costa (2003) os microrganismos metanogênicos atuantes nesta etapa são: *Metanobrevibactéria spp*, *Metanosaeta spp* e *Metanosarcina spp*.

2.2.4 Fatores que influenciam na geração de biogás

Alguns fatores servem como controle na geração do biogás pois influenciam diretamente na geração deste, estes fatores são:

- Composição dos resíduos;
- Ambiente Anaeróbio,
- Umidade;
- Temperatura;
- Acidez;
- Substâncias prejudiciais;
- Matéria sólida total ou taxa de carregamento orgânico;
- Tempo de retenção.

2.2.5 Composição do biogás

O biogás é uma mistura de gases cuja composição pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do biogás processado no biodigestor.

GASES	QUANTIDADE (%)	
	DE	ATÉ
Metano	50,0	75,0
Dióxido de carbono	25,0	40,0
Nitrogênio	0,5	2,5
Oxigênio	0,1	1,0
Sulfeto de hidrogênio	0,1	0,5
Amoníaco	0,1	0,5
Monóxido de carbono	0,0	0,1
Hidrogênio	1,0	3,0

Fonte: CASTAÑÓN (2002).

Sabe-se que o biogás é um gás combustível devido a presença de metano, sendo o seu Poder Calorífico Inferior (PCI) é cerca de 5.500kcal/m³ em uma porção do biogás com aproximadamente 60% de metano.

Para uma comparação mais prática a Tabela 2 apresenta um comparativo de equivalência entre 1 m³ de biogás e outras fontes de energia usuais.

Tabela 2 - Equivalência energética entre 1m³ de biogás e outras fontes de energia.

Combustível	Sganzeria (1983)	Barrera (2003)
Gasolina [l]	0,61	0,61
Querosene [l]	0,58	0,58
Diesel [l]	0,55	0,55
GLP [kg]	0,45	0,45
Álcool [l]	0,79	0,79
Carvão [kg]	0,74	-
Lenha [kg]	1,52	1,54
Eletricidade [kWh]	1,43	1,43

Fonte: OLIVEIRA (2009).

2.3 TIPOS DE BIODIGESTORES

Para a produção de biogás é necessário a utilização de um equipamento denominado de biodigestor. Trata-se de um equipamento formado por uma câmara fechada onde é depositado o material orgânico em solução aquosa, sofrendo fermentação anaerobicamente, liberando o biogás que se acumulará na parte superior da referida câmara (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Segundo Gaspar (2003), existem vários tipos de biodigestores, mas em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás.

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser

classificado como contínuo – abastecimento diário de biomassa – com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais (GASPAR, 2003).

Atualmente existe uma grande quantidade de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás, trataremos exclusivamente de biodigestores utilizados em pequenas propriedades rurais.

2.3.1 Biodigestor Modelo Indiano

O biodigestor modelo indiano possui uma cúpula geralmente construída de ferro ou fibra que se movimenta para cima e para baixo conforme a produção de biogás. Nesse modelo de biodigestor o processo de fermentação ocorre mais rápido, pois se beneficia da pouca amplitude térmica do solo, o que favorece a ação das bactérias. Por se tratar de uma construção subterrânea, ocupa pouco espaço, além disso, não necessita o uso de reforços, como cintas de concreto. No caso da cúpula ser construída de metal, deve-se prever uma boa pintura com o intuito de evitar a oxidação da mesma. Por se tratar de um biodigestor que fica semienterrado é preciso ter cuidado para evitar infiltração no lençol freático (FRANÇA JR., 2008).

O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantém a pressão em seu interior constante (DEGANUTTI *et. al.*, 2002).

Esse modelo de biodigestor apresenta fácil construção, e não depende de automação, o controle do processo ocorre de forma natural, porém o gasômetro de metal pode encarecer o custo final e inviabilizar o projeto de instalação do mesmo. O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor Indiano, deve apresentar uma concentração de sólidos totais não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de

entrada e saída do material, além disso, a alimentação do resíduo deve ser feita continuamente, geralmente utilizado para dejetos suínos e/ou bovinos (DEGANUTTI *et. al.*, 2002).

A Figura 2 mostra o esquema de um biodigestor modelo indiano.

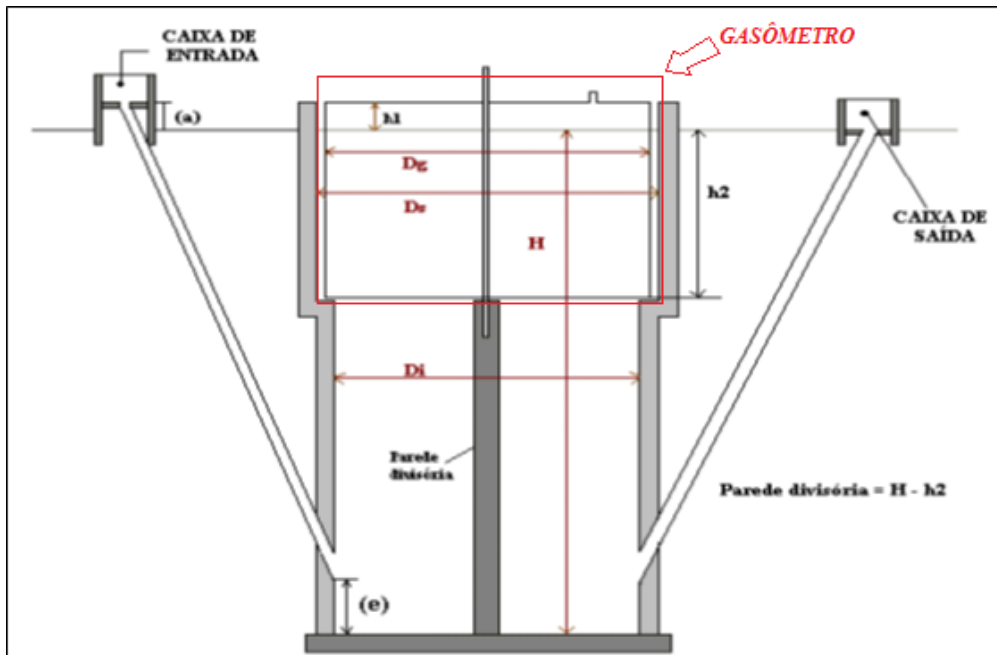


Figura 2 - Biodigestor modelo indiano.

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

Segundo Deganutti *et. al.* (2002) observando a Figura 2 pode-se definir:

- **H** - altura do nível do substrato;
- **Di** - diâmetro interno do biodigestor;
- **Dg** - diâmetro do gasômetro;
- **Ds** - diâmetro interno da parede superior;
- **h1** - altura ociosa (reservatório do biogás);
- **h2** - altura útil do gasômetro;
- **a** - altura da caixa de entrada;
- **e** - altura de entrada do cano com o afluente.

Estes biodigestores apresentam grande potencial para produção de biogás e de biofertilizante, sendo que assim como os demais modelos as quantidades dos mesmos variam conforme a matéria-prima utilizada (dejetos de suínos, caprinos, ovinos, aves e bovinos). Na literatura encontra-se estimativas do potencial de produção do biogás a partir dos dejetos mais comuns no meio-rural Brasileiro como pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa da produção do biogás a partir de diferentes dejetos animais.

Espécie	m ³ de biogás / 100 kg de esterco
Caprino / Ovino	4,0 – 6,1
Bovinos de leite	4,0 -4,9
Bovinos de corte	4,0
Suínos	7,5 – 8,9
Frango de corte	9,0
Poedeiras	10,0
Codornas	4,9

Fonte: OLIVER et al (2008).

O dimensionamento de biodigestores modelo indiano pode ser realizado utilizando as equações do Quadro 1.

Quadro 1 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano.

$V = K \times B$	V - Volume útil do biodigestor (m ³) K - Fator de rendimento da matéria prima B - volume de biogás necessário por dia (m ³)
$V_b = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} \geq 1,1 \times V$	V_b - Volume bruto do biodigestor (m ³) D_i - Diâmetro interno do biodigestor (m) H - Altura do nível do substrato (m)
$0,6 \leq \frac{D_i}{H} \leq 1,0$	Relação para melhor rendimento do biodigestor
$D_g = D_i + 0,10$	D_g - Diâmetro do gasômetro (m)
$V_g = V_1 + V_2$	V_g - Volume do gasômetro (m ³)
$V_1 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_1}{4}$	V_1 - Volume entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor (m ³) h_1 - Altura ociosa, valor igual ou superior a 0,15 m
$V_2 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_2}{4}$	V_2 - Volume útil do gasômetro (m ³) h_2 - Altura útil (m)
$h = H - h_2$	h - Altura da parede divisória (m)

Fonte: PORTES (2005).

Quadro 1 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano (continuação).

$h \geq \frac{2 \times H}{3}$	Relação entre altura do nível do substrato e a altura da parede divisória
$E = \frac{p \times r}{\sigma}$	E – Espessura da parede do gasômetro (cm) p – pressão máxima do gás (kgf/cm ²) r – raio do gasômetro (cm) σ – tensão de tração admissível do material da parede do gasômetro (kgf/cm ²)
$P_g = \frac{\pi \times D_g^2 \times p}{4}$	P_g – Massa do gasômetro necessária para manter a pressão, se a massa real (após a construção) for diferente de P_g é necessária adição de um lastro (kgf)
$V_p = h \times D_i \times esp$	V_p – Volume da parede divisória (m ³) esp – espessura da parede (m)
$D_s = D_g + 0,10$	D_s – Diâmetro interno da parede superior (m)
$v_e = \frac{V}{n}$	v_e – Volume útil da caixa de entrada (m ³) n – período de retenção (número de dias)
$D_e = D_i + 2 \times esp$	D_e – Diâmetro externo (m)
$D_b = D_e + 0,20$	D_b Diâmetro da base (m)
$e = 0,30 \text{ m}$	e – Altura do posicionamento dos tubos de entrada e saída (m)
$a = 0,50 \text{ m}$	a - Altura do fundo caixa de entrada (m)
tubos de carga e descarga	Os tubos devem ser retos com inclinação de 30° em relação à parede. Não se recomenda diâmetros menores que 100 mm.

Fonte: PORTES (2005).

2.3.2 Biodigestor Modelo Chinês

Segundo Deganutti *et. al.* (2002) o modelo de biodigestor chinês é constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria, onde ocorre a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. O funcionamento desse biodigestor baseia-se no princípio de prensa hidráulica, sendo assim elevações de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás, terão como resultado a movimentação do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando na ocorrência de um alívio na pressão. A alimentação dos dejetos, assim como no modelo indiano, deve ocorrer de maneira contínua.

Devido às características de variação de pressão no gasômetro, caso seja necessário que a pressão seja mantida constante para alimentação de equipamentos, como por exemplo, queimadores de fogões, é indispensável o uso de um regulador de pressão, ou ainda, que o gás seja armazenado e um depósito de gás flutuante (ANDRADE *et. al.*, 2002).

Ainda segundo Andrade *et. al.* (2002), o modelo chinês oferece baixo custo de construção, não possui partes móveis, não possui partes metálicas que podem sofrer oxidação, sendo assim, tendem a ser mais duráveis em comparação com outros modelos. Assim como o modelo indiano, o modelo de biodigestor chinês é construído enterrado, dessa forma, ocupa pouco espaço acima do solo, portanto são protegidos contra as variações climáticas da superfície, especialmente em regiões que apresentam temperaturas baixas principalmente no inverno. Em sua construção, geralmente ocupam mão-de-obra e materiais locais.

A Figura 3 mostra a vista frontal em corte do biodigestor modelo chinês, destacando os elementos fundamentais para sua construção.

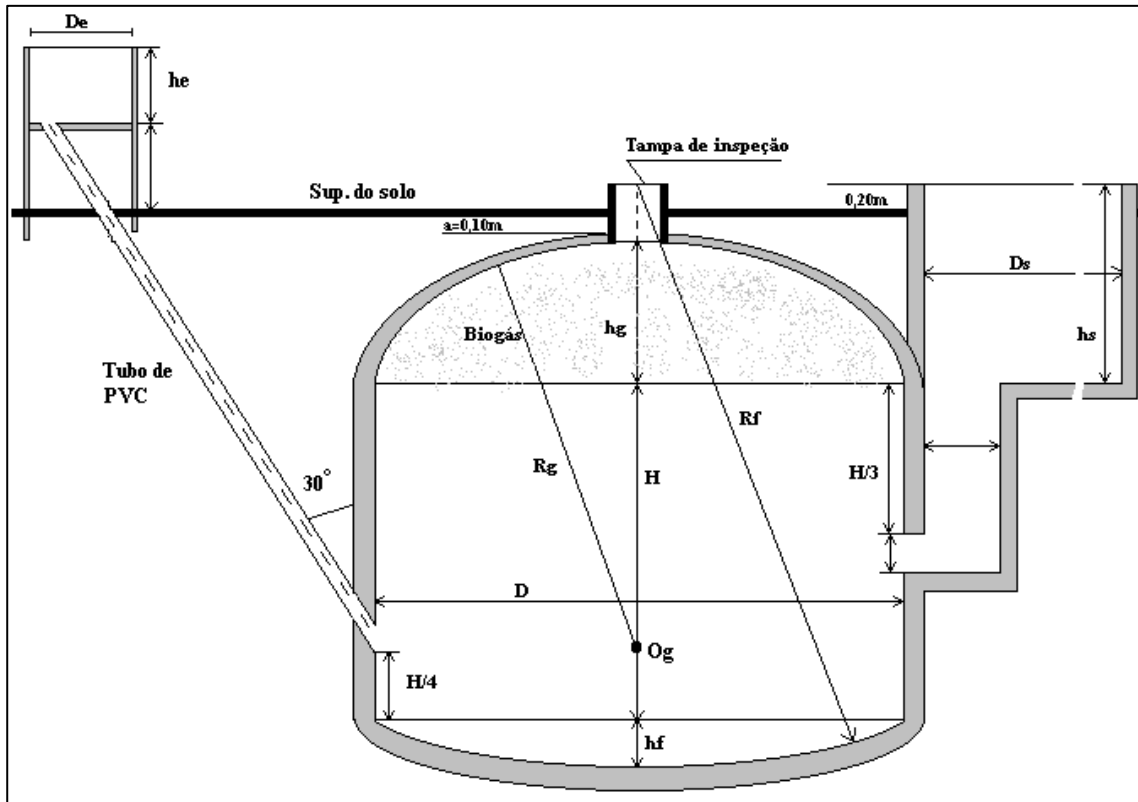


Figura 3 - Biodigestor modelo chinês.

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

De maneira semelhante ao modelo indiano, pode-se definir (DEGANUTTI *et. al.*, 2002).

- **D** - diâmetro do corpo cilíndrico;
- **H** - altura do corpo cilíndrico;
- **Hg** - altura da calota do gasômetro;
- **hf** - altura da calota do fundo;
- **Of** - centro da calota esférica do fundo;
- **Og** - centro da calota esférica do gasômetro;
- **he** - altura da caixa de entrada;
- **De** - diâmetro da caixa de entrada;
- **hs** - altura da caixa de saída;
- **Ds** - diâmetro da caixa de saída;
- **A** - afundamento do gasômetro.

De acordo com Winrock (2008) no biodigestor modelo chinês a mistura de resíduos e água é realizada na caixa de carga, essa mistura segue pela tubulação de entrada até o corpo do biodigestor onde ocorre o processo de biodigestão anaeróbica

e conseqüentemente a produção do biogás e do biofertilizante. Com o aumento da pressão no biodigestor, devido à produção do biogás, o biofertilizante segue naturalmente pela tubulação de saída até a caixa de saída, o biogás segue pela saída localizada próximo a tampa de inspeção.

Na Tabela 4 estão apresentados resultados comparando o desempenho dos biodigestores modelo Indiano e Chinês, para biodigestores com capacidade de até 5,5 m³ de biomassa e operando com esterco bovino.

Tabela 4 - Resultados preliminares do desempenho de biodigestores modelos Indiano e chinês, com capacidade de 5,5 m³ de biomassa, operados com esterco bovino.

	Biodigestor	
	Chinês	Indiano
Redução de sólidos (%)	37	38
Produção Média de gás (m ³ / dia)	2,7	3
Produção média de substrato (kg / m ³)	489	538

Fonte: LUCAS JUNIOR (1987).

O Quadro 2 apresenta as equações para o dimensionamento de biodigestores modelo Chinês, assim como equações para a determinação de parâmetros importantes de projeto como o volume de reabastecimento diário e pressão máxima do biogás.

Quadro 2 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo chinês.

$V = K \times B$	V - Volume útil do biodigestor (m ³) K - Fator de rendimento da matéria prima B - volume de biogás necessário por dia (m ³)
$\frac{V_f}{V} = \frac{1}{7}$	V_f - Volume da calota do fundo (m ³)
$V_c = V - V_f$	V_c - Volume do corpo cilíndrico (m ³)
$V_c = \frac{\pi \times D_c^2 \times H_c}{4}$	D_c - Diâmetro do corpo cilíndrico (m) H_c - Altura do corpo cilíndrico (m)
$0,5 \leq \frac{H_c}{D_c} \leq 06$	H_c e D_c devem satisfazer a relação, caso contrário os mesmos deve ser corrigidos e para isso devem ser calculados h_f , V_f , e R_f conforme as equações seguintes:

Fonte: PORTES (2005).

Quadro 2 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo chinês (continuação)

$\frac{h_f}{D_c} = \frac{1}{8}$	h_f – altura da calota do fundo (m)
$V_f = \frac{\pi \times h_f}{6} \times \left(\frac{3 \times D_c^2}{4} + h_f^2 \right)$	Com o valor de V_f corrigido, calcula-se novamente V , V_c e H_c e verifica-se a relação de D_c e H_c .
$R_f = \frac{\frac{D_c^2}{4} + h_f^2}{2 \times h_f}$	R_f – Raio da calota do fundo (m)
$\frac{h_g}{D_c} = \frac{1}{4}$	h_g – Altura da calota do gasômetro (m)
$V_g = \frac{\pi \times h_g}{6} + \left(\frac{3 \times D_c^2}{4} + h_g^2 \right)$	V_g – Volume da calota do gasômetro (m)
$R_g = \frac{\frac{D_c^2}{4} + h_g^2}{2 \times h_g}$	R_g - Raio da calota do gasômetro (m)
$h_s = h_g + af + 0,20$	h_s – Altura da caixa de saída (m) af – Afundamento da cúpula no solo (0,25 m)
$D_s^2 = \frac{D_c^2 \times H_c}{3 \times (H_s - 0,10)}$	D_s – Diâmetro da caixa de saída (m)
$V_e = \frac{V}{n}$	V_e – Volume de reabastecimento diário (m ³) n – período de retenção (número de dias)
$V_e = \frac{\pi \times D_{ce}^2 \times (h_e - 0,10)}{4}$	D_{ce} – Diâmetro da caixa de entrada (m) h_e – altura da caixa de entrada (m)
$P_{max} = \frac{H_c}{3} + (h_s - 0,1)$	P_{max} - Pressão máxima do biogás (kgf/cm ²)
$V_b = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \times \frac{H_c}{3} \right) + V_g + \left(\frac{\pi \times 0,6^2 \times (a + 0,20)}{4} \right)$	V_b – Volume de biogás armazenado na pressão máxima (m ³)

Fonte: PORTES (2005).

2.3.3 Biodigestor Modelo Batelada

O biodigestor modelo batelada é um sistema muito simples e não requer grandes exigências para sua operação. Sua instalação pode utilizar um único tanque anaeróbico, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de material orgânico em uma única vez, logo não se trata de um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o substrato resultante da biodigestão descarregado manualmente após o término do período efetivo de produção de biogás (DEGANUTTI *et. al.*, 2002).

Este sistema é composto pela câmara de fermentação, normalmente feita em alvenaria, e por um gasômetro móvel, construído com chapas metálicas. Esse modelo pode ser alimentado tanto com dejetos diluídos em água quanto resíduos vegetais sólidos, sendo usado, principalmente, para matérias orgânicas de decomposição lenta (NOGUEIRA, 1986 *apud* FRIGO *et. al.*, 2015).

Neste modelo de biodigestor a biomassa permanece no reservatório fechado até que o ciclo da digestão anaeróbica esteja completo. Ou seja, com a finalização da produção de biogás o ciclo está completo e o biodigestor está pronto para receber uma nova carga de matéria orgânica. Diferentemente do modelo indiano e chinês, o biodigestor em batelada adapta-se melhor quando a disponibilidade de resíduo ocorre em períodos mais longos, como por exemplos em granjas avícolas de corte, nas quais a biomassa fica a disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão (JORGE e OMENA, 2012 *apud* FRIGO *et. al.*, 2015).

A Figura 4 mostra uma vista em corte do biodigestor, realçando os elementos fundamentais para sua construção.

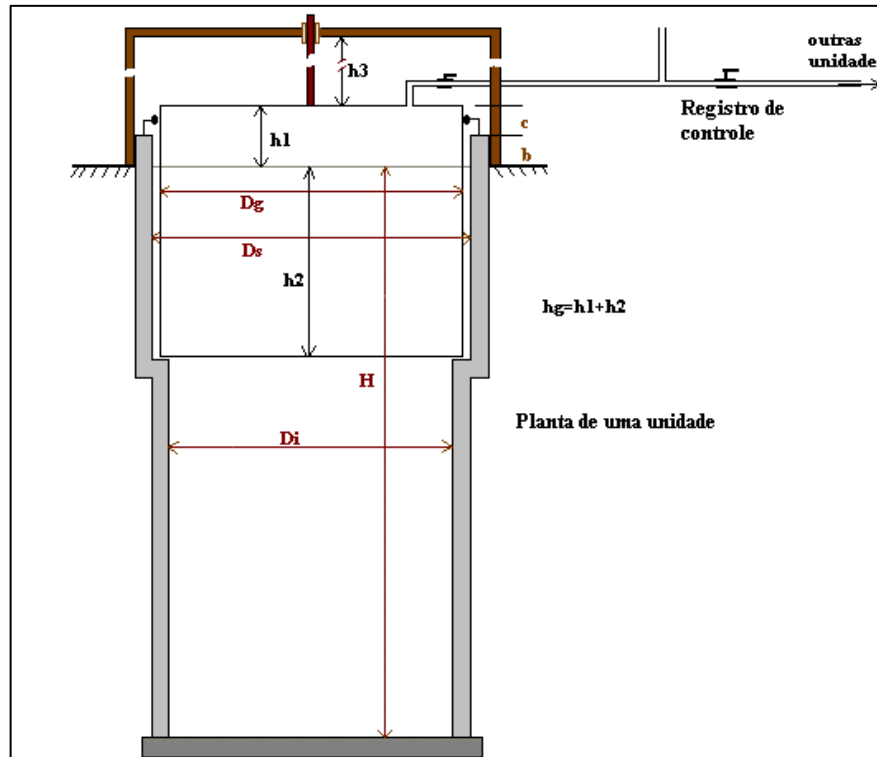


Figura 4 - Biodigestor modelo batelada.
Fonte: DEGANUTTI *et. al.* (2002).

De acordo com a Figura 4 Deganutti *et. al.* (2002) definem como:

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

O Quadro 3 mostra as equações para o dimensionamento de um biodigestor modelo batelada o qual segue praticamente o mesmo processo para as dimensões principais do modelo indiano.

Quadro 3 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo batelada

$V = K \times B$	V - Volume útil do biodigestor (m ³) K - Fator de rendimento da matéria prima B - volume de biogás necessário por dia (m ³)
$V_b = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} \geq 1,1 \times V$	V_b - Volume bruto do biodigestor (m ³) D_i - Diâmetro interno do biodigestor (m) H - Altura do nível do substrato (m)
$0,6 \leq \frac{D_i}{H} \leq 1,0$	Relação para melhor rendimento do biodigestor
$D_g = D_i + 0,10$	D_g - Diâmetro do gasômetro (m)
$V_g = V_1 + V_2$	V_g - Volume do gasômetro (m ³)
$V_1 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_1}{4}$	V_1 - Volume entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor (m ³) h_1 - Altura ociosa, valor igual ou superior a 0,15 m
$V_2 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_2}{4}$	V_2 - Volume útil do gasômetro (m ³) h_2 - Altura útil (m)
$D_s = D_g + 0,10$	D_s - Diâmetro interno da parede superior (m)
$D_e = D_i + 2 \times esp$	D_e - Diâmetro externo (m)
$D_b = D_e + 0,20$	D_b Diâmetro da base (m)

Fonte: PORTES (2005).

3 PROJETO DO BIODIGESTOR

3.1 ESTUDO INICIAL

No estudo inicial foram definidos os parâmetros básicos para o projeto do biodigestor, como o local de implantação, o volume diário de material orgânico que será processado, o modelo de biodigestor a ser utilizado e adaptado as realidades do usuário.

O modelo escolhido foi o indiano, pois apresenta níveis de produção de gás maiores, maior redução dos sólidos e maior produtividade de biofertilizante, como foi apresentado anteriormente na Tabela 4, página 31. De acordo com as equações para dimensionamento do biodigestor modelo indiano presentes no Quadro 1, página 27, foram obtidas as dimensões iniciais para escolha dos materiais e equipamentos que se adaptem ao projeto. O volume bruto do biodigestor é dado pela Equação 3.

$$V_b = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} = \frac{3,14 \times 1,4^2 \times 0,5}{4} = 0,770 \quad [\text{m}^3] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

V_b = Volume bruto do biodigestor;

D_i = Diâmetro interno do biodigestor;

H = Altura do nível do substrato.

O volume do gasômetro, V_g é dado pela Equação 4.

$$V_g = \frac{\pi \times D_g^2 \times H_g}{4} = \frac{3,14 \times 1,3^2 \times 0,3}{4} = 0,398 \quad [\text{m}^3] \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

V_g = Volume do gasômetro;

D_g = Diâmetro do gasômetro ($D_g = D_i - 0,10$);

H_g = Altura do gasômetro.

Segundo a SANEPAR (2013) para cálculo de consumo de água devem ser estimados 150 litros por habitante em uma residência de padrão médio de 4 pessoas. Considerando uma carga extra de segurança foi estimada uma vazão média de 200 litros de carga orgânica por dia, sendo o esgoto do proprietário a principal fonte de resíduos orgânicos. Como os dejetos serão misturados com água numa proporção de 1 litro de esterco para 3 litros de água, será necessário um biodigestor com volume interno aproximadamente 4 vezes maior que a vazão da carga de entrada por dia, ou seja, 800 litros de volume bruto. As dimensões do gasômetro dependem das dimensões do reservatório do biodigestor que será escolhido, porém seu volume deverá respeitar as proporções do biodigestor, como apresentado na Equação 4 $Vg=0,398m^3$ ou 398 litros. As caixas de entrada e descarga não são equacionadas para o modelo indiano ficando sujeitas ao critério da demanda de carga de entrada e deverão ter capacidade para no mínimo 75 litros, pois os 200 litros de carga diária não serão inseridos de uma só vez na caixa de carga.

A Figura 5 apresenta o modelo inicial para a construção do biodigestor seguindo os parâmetros definidos. A partir desse modelo conceitual é possível pesquisar os materiais e equipamentos com o melhor custo benefício para a construção de um biodigestor eficiente e de baixo custo.

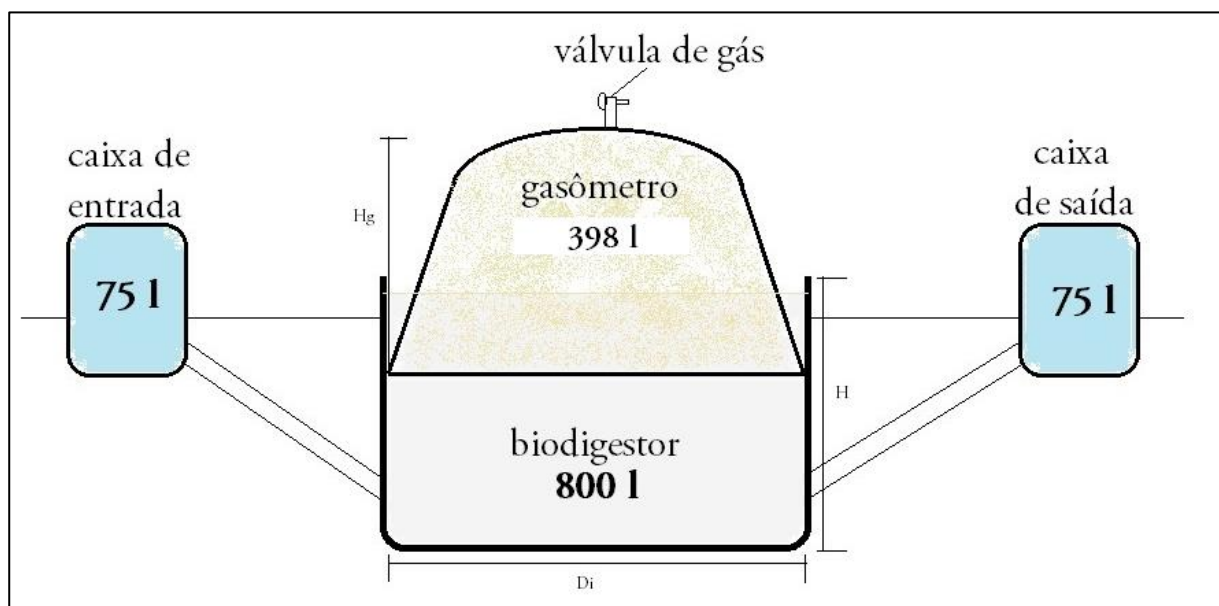


Figura 5 - Projeto inicial do biodigestor.
Fonte: Própria.

3.2 CÁLCULO DA VAZÃO DE RESÍDUOS

Para determinar as características do biodigestor e realizar uma estimativa de gás que será produzido, será necessário primeiramente o cálculo da vazão de resíduos que o sistema receberá por dia. A propriedade rural em que o estudo foi realizado tem como fonte principal de matéria prima para o biodigestor os resíduos orgânicos domésticos e dejetos de alguns animais, eventualmente haverá mais dejetos provenientes do serviço de banheiro seco realizado pelo proprietário.

Segundo Nobre (2016) o cálculo da vazão doméstica média de esgoto (Qd_{med}) é dada pelas Equações 5 e 6.

$$Qd_{med} = \frac{Pop \cdot q \cdot R}{1000} \quad [m^3 \cdot d^{-1}] \quad \text{(Equação 5)}$$

$$Qd_{med} = \frac{Pop \cdot q \cdot R}{86400} \quad [l \cdot s^{-1}] \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

Qd_{med} = vazão doméstica média de esgoto [$l \cdot s^{-1}$];

Pop = população atendida [hab];

q = consumo per capita de água [$l \cdot hab^{-1} \cdot d^{-1}$];

R = coeficiente de retorno [constante];

86400 = 24h x 60min x 60s.

O consumo per capita de água (q) varia conforme as características da residência e seus usuários. É possível determinar um valor para q através da Tabela 5 que apresenta valores diferentes conforme as características da propriedade.

Tabela 5 - Consumo per capita de água (q).

Porte da Comunidade	Faixa da população (hab.)	Consumo per capita - q (l/hab.dia)
Povoado rural	< 5.000	90-140
Vila	5.000 -10.000	100-160
Pequena localidade	10.000 - 50.000	110-180
Cidade média	50.000 - 250.000	120-220
Cidade Grande	>250.000	150-300

Fonte: VON SPERLING, 1995.

De acordo com Nobre (2016) o coeficiente de retorno (R) serve para corrigir a vazão efetiva de esgoto em relação ao consumo de água, pois parte da água consumida é devolvida ao solo através de irrigação e atividades diversas, esse coeficiente varia de 0,5 até 0,9.

Para determinar a vazão de esgoto da propriedade em estudo optou-se por utilizar a Equação 3, pois os tempos de retenção hidráulica e demais cálculos posteriores utilizarão a unidade de tempo em dias [d].

Considerando que a propriedade tem 4 habitantes, a cota per capita de água (q) é $90 \text{ l.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$, o coeficiente de retorno (R) é 0,7 e utilizando a Equação 3 foi obtido uma vazão de esgoto de $0,252 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, apresentado na Equação 5.1.

$$Qd_{med} = \frac{4 \cdot 90 \cdot 0,7}{1000} = \frac{252}{1000} = 0,252 \text{ [m}^3.\text{d}^{-1}] \quad (\text{Equação 5.1})$$

Através dos cálculos realizados constata-se a necessidade de projetar um biodigestor para um volume diário de 252 litros de esgoto, ou seja, $0,252 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$. Com esse resultado e utilizando as equações características do biodigestor modelo indiano é possível adaptar as dimensões do biodigestor.

3.3 PRODUTIVIDADE DE BIOGÁS

A produção de biogás, obtida a partir de dejetos animais, pode ser influenciada por vários fatores, entre eles, a quantidade de dejetos produzidos, a composição destes e o tipo de alimentação dos animais, além de variáveis externas como temperatura ambiente, tipo de confinamento e a eficiência do biodigestor (BGS, 2013).

A literatura especializada apresenta alguns índices médios de produção de biogás, baseados em situações experimentais que podem ser utilizados para calcular aproximadamente a produção de biogás para diversos tipos de animais (BGS, 2013).

A Tabela 6 apresenta, para alguns animais, a produção média de dejetos por dia, o potencial de geração de biogás e o equivalente em energia elétrica (kWh).

Tabela 6 - Índices de produção de biogás, GLP e kWh

Dejetos	Dejeto (kg/dia)	Biogás (m ³ /kg)	GLP (kg/dia)	Energia (kWh/dia)
Esgoto doméstico/hab.	1	0,035	0,016	0,05
Cachorro	0,33	0,035	0,0052	0,017
Galinha	0,18	0,090	0,0073	0,023
Caprinos / Ovinos	0,5	0,061	0,014	0,044
Resíduos vegetais	3	0,04	0,054	0,172
Suínos	2,5	0,075	0,084	0,268
Bovino de corte	10	0,040	0,180	0,572
Equino	10	0,048	0,216	0,686
Bovino de leite	10	0,049	0,221	0,701

Fonte: Adaptado de BGS (2013) e OLIVER *et al.* (2008).

Considerando uma pequena propriedade rural voltada para agricultura familiar, composta por 4 pessoas produzindo esgoto doméstico e que nessa propriedade há ainda dois cachorros, 10 galinhas, seis carneiros e duas vacas de leite, levando em consideração os dados coletados na Tabela 6, podemos estimar a produção de biogás por essa propriedade e suas equivalências em GLP e energia elétrica.

Assim, para as condições acima descritas, levado em consideração os dados de quantidade de dejeto produzido por dia por cada tipo de animal e quantidade de biogás produzido por kg de dejeto, contidos na Tabela 6, seria possível obter as quantidades de biogás para cada tipo de animal na propriedade, bastando aplicar a seguinte equação:

$$VBTP = N \times QD \times VB \text{ [m}^3\text{.dia}^{-1}\text{]} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

N = Quantidade de animais na propriedade

QD = Quantidade de dejetos produzido por animal durante um dia [kg.dia⁻¹]

VB = Volume de biogás produzido por kg de dejeto [m³.kg⁻¹]

VBTP = Volume de biogás total produzido [m³.dia⁻¹]

- 4 pessoas

$$VBTP = 4 \times 1 \times 0,035 = 0,140 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{4 \times 0,05}{1} = 0,200 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{4 \times 0,016}{1} = 0,064 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

- 10 galinhas

$$10 \times 0,18 \times 0,09 = 0,162 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{1,8 \times 0,023}{0,18} = 0,23 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{1,8 \times 0,0073}{0,18} = 0,073 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

- 6 carneiros

$$6 \times 0,5 \times 0,061 = 0,183 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{3 \times 0,044}{0,5} = 0,264 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{3 \times 0,014}{0,5} = 0,084 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

- 2 vacas

$$2 \times 10 \times 0,049 = 0,980 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{20 \times 0,701}{10} = 1,402 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{20 \times 0,221}{10} = 0,442 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

- 2 cachorros

$$2 \times 0,33 \times 0,035 = 0,023 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{0,66 \times 0,017}{0,33} = 0,034 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$\frac{0,66 \times 0,0052}{0,33} = 0,01 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

- Resíduos vegetais

$$3 \times 0,04 = 0,120 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$3 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} = 0,172 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$$

$$3 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} = 0,054 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \text{ de GLP}$$

Nessas condições, em um dia, essa propriedade poderia gerar uma quantidade de biogás de 1,608 m³ o que equivale à 2,302 kWh de energia elétrica ou 0,727 kg de GLP. Analisando o período de um mês, com 30 dias, chega-se a quantidade de 69,06 kWh de energia elétrica ou 21,81 kg GLP.

Esses valores certamente podem variar de acordo com a especificidade de cada propriedade e disponibilidade de material para alimentação do biodigestor.

Como comparativo, essa quantidade de biogás convertida em energia elétrica pode alimentar um chuveiro de 5,5 kW por aproximadamente 25 minutos por dia, suficiente para 4 banhos diários de 6 minutos, como pode ser verificado nas equações abaixo:

$$E = P \times t \text{ [kWh]} \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

E = Energia elétrica [kWh];

P = Potência elétrica [kW];

T = Tempo [h].

Assim:

$$t = \frac{2,302 \text{ kWh}}{5,5 \text{ kWh}}$$

$$t = 0,4185 \text{ h} \times 60 \text{ mim}$$

$$t = 25,11 \text{ mim}$$

Atualmente, no Paraná, a tarifa rural convencional cobrada pela concessionária de energia elétrica por kWh é de R\$ 0,5028. Considerando as condições de produção

de biogás proposta e a tarifa cobrada, pode-se obter um rendimento mensal no valor de R\$ 32,72. Veja abaixo:

$$\text{Valor} = \text{Energia} \times \text{Tarifa}$$

$$\text{Valor} = 69,06 \times 0,5028$$

$$\text{Valor} = 34,72$$

Segundo o INCRA, em 2012 existiam no Brasil um total de 5.498.504 imóveis rurais cadastrados. De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Agrário 93,3 % desses imóveis são pequenas propriedades rurais de até 4 módulos fiscais. Então, em números absolutos existem no Brasil cerca de 5.130.000 pequenas propriedades rurais (MDA, 2011).

Se em cada pequena propriedade rural estivesse instalado um biodigestor, gerando em média 1,5 m³ de biogás por dia, o que pode ser considerado uma estimativa bem conservadora, fazendo, isso poderia retirar diariamente do sistema elétrico brasileiro a quantidade de aproximadamente 11 MWh.

3.4 PRODUTIVIDADE DE BIOFERTILIZANTE

Após obter a vazão de 252 litros de esgoto por dia e utilizando as equações do biodigestor modelo indiano presente no Quadro 1, utilizamos uma planilha para facilitar nos cálculos de dimensionamento do biodigestor e suas características principais como tempo de detenção hidráulica (TDH).

Para o cálculo de detenção hidráulica temos:

$$TDH = \frac{Vb}{Q} \text{ [d]} \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde:

Vb = Volume bruto [m³];

Q = Vazão de resíduos [m³.d⁻¹];

TDH = Tempo de Detenção Hidráulica.

Portanto:

$$TDH = \frac{1}{0,252} = 3,97 \text{ dias}$$

Sendo o tempo de detenção hidráulica (*TDH*) estimado de 3,97 dias, ou seja, o tempo necessário para processar todo o resíduo é de aproximadamente 4 dias, com isso temos aproximadamente 63 l de biofertilizante por dia.

Sendo o valor médio do biofertilizante concentrado que encontramos no mercado em torno de R\$ 0,17 por litro, com isso conseguimos uma economia aproximada de R\$ 10,71 por dia, ou R\$ 321,30 por mês de 30 dias.

4 PROJETO FINAL

Para o projeto final foram ajustados alguns valores, afim de tornar o projeto mais atrativo financeiramente e também facilitar sua execução devido aos materiais utilizados.

Tendo como base o modelo indiano escolhido, partimos de uma ligação provinda do esgoto da casa direcionando o mesmo para uma bombona de entrada de capacidade de 250 l, que servirá como caixa de passagem para o esgoto da casa e também como caixa de carga para entrada do material provindo dos animais da propriedade, nesta terá tanto na entrada como na saída uma curva de 90° que servirá como sifão para evitar o retorno de mau cheiro para dentro da residência. Toda a ligação será feita através de tubulação e conexões de PVC de 100 mm, garantindo assim a vazão necessária sem que haja risco de entupir ou retornar matéria. A Figura 6 apresenta em detalhe do posicionamento deste bombona.



Figura 6 - Ligação bombona de carga de 250 l.
Fonte: Própria.

Partindo desta primeira bomba de carga, ela será descarregada no fundo de uma caixa d'água de 1000 l, que servirá como biodigestor, onde toda a matéria orgânica passará pelos processos de biodigestão citados anteriormente no capítulo 2.2.3, página 20, e que irá gerar os produtos de interesse deste projeto, como mostrado na Figura 7.



Figura 7 - Biodigestor – Caixa d'água de 1000 l.
Fonte: Própria.

Para a o gasômetro, foi utilizado uma caixa d'água de capacidade 500 l, a qual ficará posicionada sobre a primeira caixa d'água, porém em posição contrária, afim de aprisionar o gás gerado do processo de decomposição da matéria orgânica, no qual haverá na abertura superior uma saída de gás, para efeito de coleta do gás armazenado, como mostra a Figura 8.



Figura 8- Biodigestor – Com gasômetro e válvula de saída de gás instalada.
Fonte: Própria.

Seguindo na saída lateral do biodigestor (A) temos conexão de 50 mm

posicionada um pouco acima da tubulação de entrada (B) que encaminhará o líquido proveniente do processo de biodigestão, para uma bombona também de 250 l (C) que armazenará o biofertilizante. Para evitar que o fluxo de entrada passe diretamente para a saída foi colocada uma barreira no centro do biodigestor (D) composta por um recipiente de fibra reaproveitado, como mostrado na Figura 9.

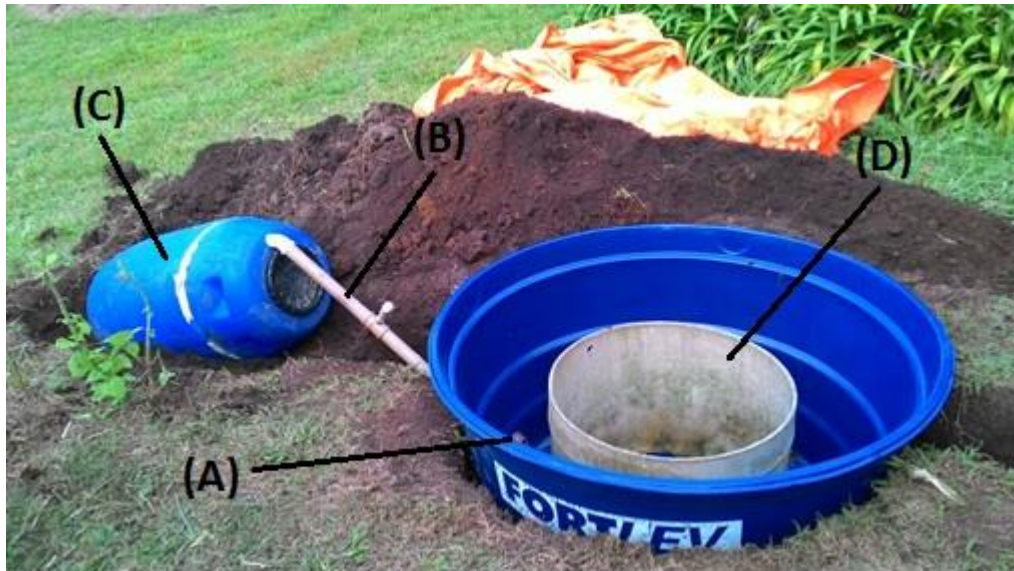


Figura 9 – Biodigestor – Bombona de saída.
Fonte: Própria.

No Anexo A vemos um projeto detalhado de todas essas conexões e equipamentos.

4.1 LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

A Tabela 7 apresenta a lista de materiais que foram utilizados na execução do projeto, partindo da rede de esgoto da residência até o a última etapa que será a retirada do biofertilizante, juntamente com os valores gastos para a execução. Os valores foram cotados na cidade de Curitiba no mês de maio de 2016 em lojas de fácil acesso a população em geral.

Tabela 7 - Materiais e Custos

	Lista de materiais	Qnt	Preço unit (R\$)	Preço tot (R\$)
1	Caixa d'Água de Polietileno Multiuso 1000L	1	R\$ 369,90	R\$ 369,90
2	Caixa d'Água de Polietileno Multiuso 500L	1	R\$ 164,90	R\$ 164,90
3	Bombona 250 L	2	R\$ 59,00	R\$ 118,00
4	Cano PVC Esgoto 100mm, 6m	3	R\$ 39,99	R\$ 119,97
5	Cano PVC 50mm, 3m	1	R\$ 23,90	R\$ 23,90
6	Joelho PVC 100mm esgoto 45°	2	R\$ 6,74	R\$ 13,48
7	Joelho PVC 100mm esgoto 90°	2	R\$ 6,36	R\$ 12,72
8	Junção PVC 100mm esgoto Y	1	R\$ 18,90	R\$ 18,90
9	Luva PVC 100mm esgoto simples	2	R\$ 5,82	R\$ 11,64
10	Tampa PVC 100mm esgoto	1	R\$ 7,75	R\$ 7,75
11	Joelho PVC 50mm esgoto 45°	2	R\$ 2,98	R\$ 5,96
12	Bucha de redução bronze 3/4x1/2" rosca 30	1	R\$ 5,29	R\$ 15,29
13	Válvula bronze para gás com 1m de mangueira	1	R\$ 29,00	R\$ 29,00
14	Silicone Alta Temperatura Cinza PU30 300g	1	R\$ 35,41	R\$ 35,41
15	Lixa massa P100	1	R\$ 0,73	R\$ 0,73
Total				R\$ 947,55

Fonte: Própria.

4.2 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

A implantação e operação do sistema de biodigestão descrito neste trabalho, apresentou viabilidade técnica e econômica do modelo adotado, pois o fluxo de esgoto gerado pela propriedade atende valores satisfatórios tanto para a produção de biogás como para a obtenção de biofertilizantes.

Sendo o valor inicial investido em materiais de R\$ 947,55 para um biodigestor de 1000 litros, podemos comparar com valores de outros modelos prontos de biodigestores encontrados no mercado de capacidade de 600 litros ao custo de R\$1600,00, portanto o projeto apresenta uma maior capacidade, a um custo aproximadamente 40% menor, além da vantagem da utilização do biogás, item este que os biodigestores vendidos não contemplam.

Considerando os valores comerciais encontrados tanto para biofertilizantes quanto para o biogás, e também que todo o produto final será utilizado na propriedade, isso causará um alívio na renda da família nesta mesma proporção, temos que o tempo de *Payback* do projeto dá-se em aproximadamente 3 meses.

Após este período o projeto poderá gerar por mês até R\$ 356,02 de economia mensal a renda da família que reside na propriedade, sendo hoje, segundo dados do IBGE de 2015, a renda per capita do Paraná é de R\$ 1241,00, portanto esta economia equivaleria a aproximadamente 28% da renda per capita.

O projeto demonstrou ser viável técnica e economicamente, despertando com isso o interesse por parte de moradores da região durante sua execução.

4.3 MANUTENÇÃO E LIMPEZA

O projeto visa a utilização de materiais de fácil acesso e acessível ao consumo, tornando com isso sua manutenção facilmente executada pelo proprietário, dispensando assim altos gastos de mão de obra especializada, tornando com isso o investimento ainda mais atraente para a população em geral. Indica-se que seja feita uma inspeção periódica para detectar possíveis problemas no sistema, inspeção essa feita de maneira visual pelo próprio usuário.

O uso de bombonas com tampas tanto na carga como para retirar do biofertilizante, visa facilitar na limpeza do sistema, que deverá ser feita sempre que o proprietário julgar necessário, no biodigestor a cúpula móvel é facilmente retirada, com isso possibilitando o fácil acesso ao interior do biodigestor tanto para limpeza quanto para manutenção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado teve como principal finalidade o projeto e implementação da tecnologia do biodigestor como fonte alternativa de energia em uma pequena propriedade rural, utilizando materiais e equipamentos acessíveis economicamente a pequenos produtores rurais. A tecnologia da biodigestão anaeróbica se mostra eficiente nos ambientes rurais, para o tratamento dos dejetos de animais servindo como filtro biológico e também como fonte de biogás e biofertilizante.

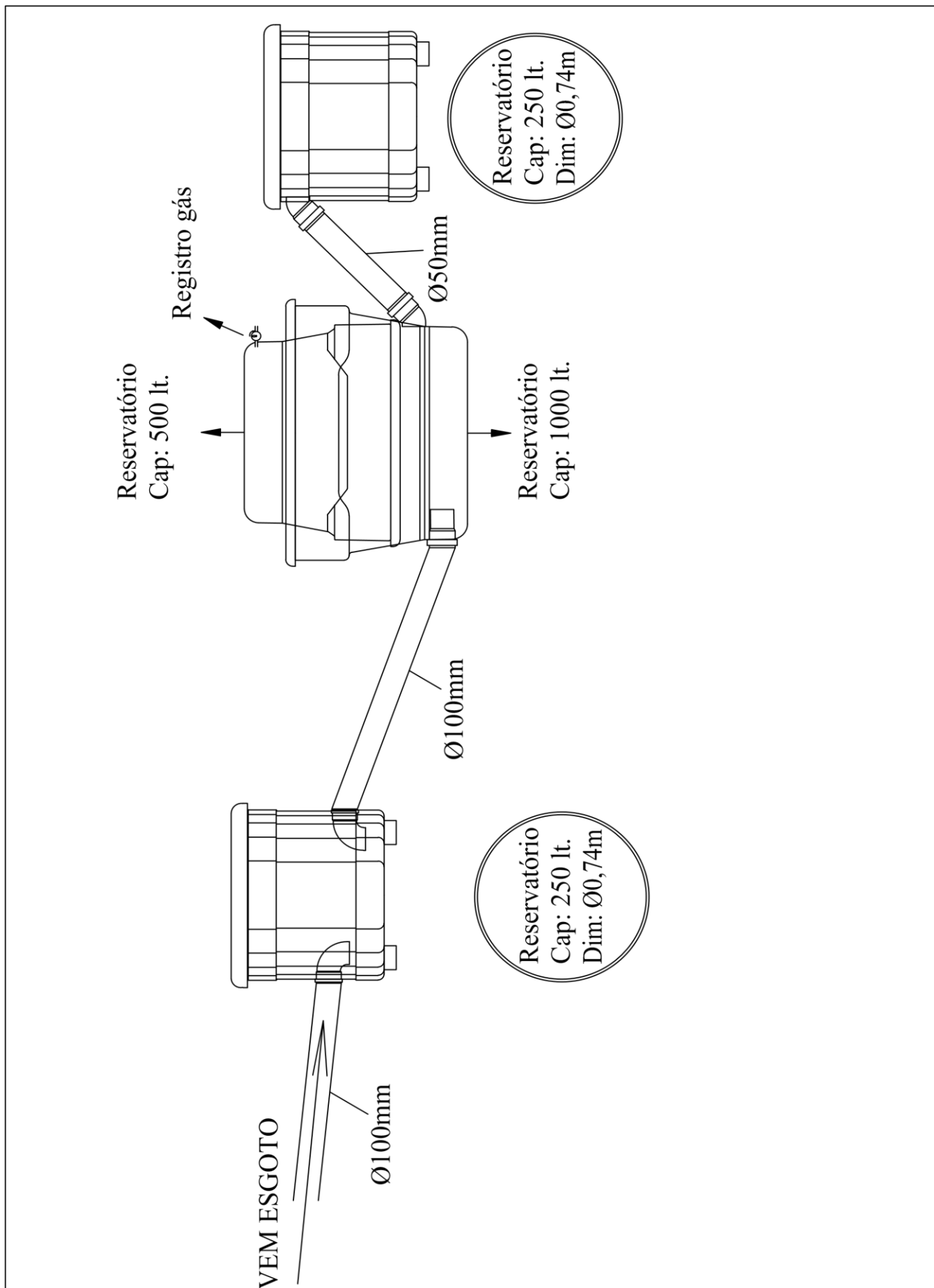
O biogás e o biofertilizante são insumos de alto valor econômico produzidos através de resíduos orgânicos que se descartados de forma incorreta e sem o devido tratamento trazem impactos catastróficos ao meio ambiente. Em síntese, a proposta apresentada sugere uma opção economicamente viável para o pequeno produtor rural a fim de solucionar o problema do descarte de resíduos orgânicos proveniente da atividade rural e criação animal e ao mesmo tempo viabilizar uma fonte alternativa de energia e biofertilizante, proporcionando benefícios econômicos com a diminuição dos custos de produção.

Após o estudo e dimensionamento do biodigestor na propriedade escolhida para o estudo de caso comprovamos a viabilidade técnica e energética para propriedades rurais que necessitam fazer o descarte de dejetos, tanto na produção do biofertilizante como do biogás. Comprovando que é possível implementar técnicas já conhecidas de forma inovadora, a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, que abrange as áreas ambiental, econômica e social do pequeno produtor rural.

Como visto anteriormente o projeto a médio prazo além auxiliar na resolução do problema para a destinação do esgoto gerado pela propriedade, pode também representar uma economia na renda familiar, e conseqüentemente uma melhora na qualidade de vida, podendo alcançar resultados ainda mais satisfatórios se implementados a mais propriedades da região.

Deixamos como proposta para possíveis novos trabalhos, um aprofundamento dos valores aqui obtidos a longo prazo, e o impacto sócio econômico que tal modelo pode apresentar para a região em que foi implantado e também expandir os valores para uma região maior de fazendas.

ANEXO A



REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. de S.; ELIAS, M.J. **Biodigestores Rurais no Contexto da Atual Crise de Energia Elétrica Brasileira e na Perspectiva de Sustentabilidade Ambiental**: 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/030.pdf>> Acesso em: 08 de maio de 2015.

BARBOSA, G.; LANGER, M. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental**: 2011. Disponível em: <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/864/pdf_154> Acesso em: 08 de maio de 2015.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2 ed. São Paulo: Ícone, 2003, 106 p.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V.: **Geração de Energia e a Digestão Anaeróbica no Tratamento de Efluentes: Estudo de Caso na Indústria de Papel**. Campinas: UNICAMP, 2003.

BGS. **Cálculo de Produção de Biogás**. 2013. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>>. Acesso em: 17 maio 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA . **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 04 maio 2015.

CASTAÑÓN, N. J. B.: **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. São Paulo, 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 379 p., 2007.

COSTA, D. F. **Dados sobre biogás e lodo, provenientes do esgoto de resíduos urbanos**. Monografia IEE/USP, 2003.

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

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. dos: **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelalda**. 2002. Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2015.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL A. E. B.; SIMON, E. J. **Viabilidade Técnica e Econômica da Substituição de fontes convencionais de Energia por Biogás em Assentamento Rural do estado de São Paulo**. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/04.pdf>> Acesso em: 08 de maio de 2015.

FERLING, F. F. **Unidade termoelétrica movida a biogás do aterro sanitário de São José dos Campos**. Monografia: IEE/USP, 2003.

FERNANDES, C.: **Digestão Anaeróbica**. Campina Grande: UFCG, 2009. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/DigeAnae.html>. Acesso em: 09 de outubro 2015.

FRANÇA JR, A. T. de. **Análise do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido numa Estação de Tratamento de Esgoto**. 2008. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/nuplen/analise-do-aproveitamento-energetico-do-biogas-produzido-numa-estacao-de-tratamento-de-esgoto.pdf>> Acesso em 08 de outubro de 2015.

FRIGO, K. D. de A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P.: **Biodigestores: seus modelos e aplicações**. 2015. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/download/12528/8708>> Acesso em: 08 de outubro de 2015.

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. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf>> Acesso em: 08 de maio de 2015.

GONÇALVES, H. F. E.; LIMA, R. dos S.; WEISS, V. A. B.; MENEZES, V. da S. **O B Princípio de Sustentabilidade de Uma Propriedade Rural**. Palmas: FACTO, 2009.

GORGATI, C. Q. & LUCAS JR., J. **Fração orgânica de lixo urbano como substrato para biodigestor**. Dissertação de mestrado: FCAV/UNESP, 1999.

GTZ. **Promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial sewage and wastes**. *Supreregional sectoral project*, 1997.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Treinamento para capacitação: programa de regularização ambiental do Paraná**. 2014. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Car/PALESTRACARSITE2014.pdf>> Acesso em: 11 de novembro de 2015.

JORGE, L., H., A.; OMENA, E. **Biodigestor. Dossiê Técnico**. SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.

LUCAS JÚNIOR, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês**. Botucatu, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista, 1987.

MACEDO, F. J. de.: **Dimensionamento de Biodigestores para Tratamento de Dejetos da Produção Suína**. 2013. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Estatísticas do Meio Rural 2010-2011**. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/pageflip-4204234-487363-It_Estatsticas_do_Meio_R-1481281.pdf> Acesso em: 17 de maio de 2016.

NETO, W.S. **Cinética de processos fermentativos**. *In: Curso fermentation technology*. Florianópolis-SC, 1999. p.27.

NOBRE, Gersina. **Caracterização da Quantidade do Esgoto**. UNIR: 2016. Disponível em: <www.engenhariaambiental.unir.br>. Acesso em: 20 abr. 2016.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodigestão – A alternativa Energética**. Nobel: São Paulo, 1986.

OLIVEIRA, Rafael Deléo e. **Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás Produzido pela Fermentação Anaeróbia de Dejetos em Abatedouros e as Possibilidades no Mercado de Carbono**. 2009. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVER, André de Paula Moniz; NETO, Aurélio de Andrade Souza; QUADROS, Danilo Gusmão; VALLADARES, Renata Everett. **Manual de treinamento em biodigestão**, 2008.

PESCADOR, F. S.: **Tratamento de Esgoto Doméstico em Reatores Sequenciais em Batelada Anaeróbios**. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

PORTES, Z. A.: **Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais**. 2005. xxiii, 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/90574>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; GARCIA, J. A. D.; BIANCHI, M. del. **Biodigestão Anaeróbia no Tratamento de Dejetos de Suínos**. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, São Paulo, v. 9, n. 18, p.01-20, jan. 2012.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná: **Manual de Projeto Hidrossanitário**. Curitiba, 2013. Disponível em: < <http://site.sanepar.com.br>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SGANZERIA, E. **Biodigestor: uma solução**. Agropecuária, Porto Alegre, 1983.

SILVA, W. R.: **Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbica de Resíduos Sólidos Vegetais**. 2009. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

SOUZA, M. E. de. **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**. Revista Dae, São Paulo, v. 44, n. 137, p.88-94, jun. 1984.

VILLELA, I. A. C.; SILVEIRA, J. L. **Aspectos Históricos e Técnicos do Uso do Biogás Produzido por Biodigestores Rurais** In: Biogás Pesquisas e Projetos no Brasil. São Paulo: CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, 2006. p. 151-155

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento dos Esgotos** Vol.1. Belo Horizonte, UFMG, 1995.

WINROCK. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 2008. Disponível em: <http://ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2015.

YURA, D.; TURDERA, M. V.: **Estudo da Viabilidade de um Biodigestor no Município de Dourados**. Dourados: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2006.