



Cristian Dênis Johann

**DIMENSIONAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO PARA
APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EXISTENTE NAS
PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Horizontina

2012

Cristian Dênis Johann

**DIMENSIONAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO PARA O
APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EXISTENTE NAS PEQUENAS
PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Doutor em Engenharia Mecânica.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Dimensionamento de uma instalação para aproveitamento do biogás
existente nas pequenas propriedades rurais”**

Elaborada por:

Cristian Dênis Johann

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 11/12/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Doutor Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Especialista Vilmar Bueno da Silva
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Cleonir e Eliane, ao meu irmão Cleiton e minha Irma Cristiane, por todo o amor, dedicação, paciência e incentivo. Sem eles não teria me tornada a pessoa que sou hoje e chegado até aqui. A minha esposa Natassia, aos meus avós Walter, Dóris, Ivo e Gerta e a todos que sempre estiveram ao meu lado. Esta obra é para vocês.

AGRADECIMENTO.

Em primeiro lugar a Deus, pelo dom da Vida. Ao Sr. Bruno Schneideres, sua esposa e seus filhos Dionei e Dirlei por terem cedido sua propriedade para que esse trabalho pudesse ser elaborado.

A instituição de ensino FAHOR, em especial ao meu orientador o professor Dr. Ademar Michels por toda a dedicação e contribuições, ao professor e amigo Rodrigo Barrichello, que mesmo não estando mais nessa instituição contribuiu de maneira essencial, também a outros professores, Anderson Dal Molin, Edio Polacinski pela amizade e ensinamentos.

Aos meus amigos e colegas de longa data, Jader Corso, Matias Stefenello e Rodrigo Bender.

“A verdadeira medida de um homem não se vê na forma como se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas em como se mantém em tempos de controvérsia e desafio”.

(Martin Luther King)

RESUMO

As preocupações da humanidade atualmente estão voltadas a uma nova matriz energética, mais limpa e renovável, que degrade menos o meio ambiente. Alinhado a esses fatores a biomassa torna-se uma grande alternativa para a substituição do petróleo, pois de todas as fontes energéticas renováveis, empregadas comercialmente em processos modernos, somente ela, possui flexibilidade para suprir a produção de energia elétrica e mover o setor de transportes. Refletindo sobre a diminuição dos impactos nocivos ao meio ambiente, e na utilização de combustíveis renováveis na geração de energia o presente trabalho teve por objetivo o dimensionamento de um sistema para o aproveitamento do biogás, proveniente dos dejetos suínos em uma pequena propriedade rural. Para isso foi elaborado uma revisão bibliográfica e visitas em propriedades que utilizam sistemas de aproveitamento do biogás a fim de conhecer a fundo o problema em questão e identificar as possíveis maneiras de solucioná-lo, baseado em cálculos foi estipulado a capacidade de biogás gerado pela planta e o consumo elétrico diário da propriedade. Em virtude a isso um layout foi definido, para que todo o biogás gerado na propriedade seja convertido em energia elétrica através da co-geração, com isso diminuindo o impacto ambiental e agregado valor ao biogás.

Palavras-chaves:

energia renovável – biomassa – biogás - co-geração de energia.

ABSTRACT

The concerns of humanity currently are directed to a new energy matrix, cleaner and renewable, that degrades less environment. Aligned to these factors the biomass is a great alternative to petroleum substitution, because of the all energy renewable sources used commercially in modern process, only it has the flexibility to produce electricity and move the transportation sector. Reflecting about the reduction of harmful impacts to the environment, and the use of renewable fuels in energy generation the present finalized paper has as goal dimension a system for the utilization of biogas descendant of the pig waste in a small farm. For this was prepared a literature review and visit others farms that has biogas utilizations systems to know well the problem and after identify possible ways to solve it, based on calculations was stipulated capacity of biogas generated by the plant and daily electrical consumption. Due this was to made a layout where all biogas generated for farm is converted in electricity through of co-generation, reducing the environment impacts and added value to biogas.

Keywords:

renewable energy – biomass – biogas - co-generation of energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem aérea da propriedade.....	14
Figura 2: Biodigestor modelo Indiano	20
Figura 3: Biodigestor modelo Chinês.....	21
Figura 4: Biodigestor modelo da marinha Brasileira.....	22
Figura 5: Biodigestor do tipo Batelada	22
Figura 6: Esquematização das formas de utilização do biogás.....	24
Figura 7: Queimador utilizado na queima do Biogás.....	31
Figura 8: Rede de transporte do biogás do biodigestor ao moto-gerador.....	37
Figura 9: Imagem ilustrativa do sistema de purificação.....	39
Figura 10: Moto-Gerador selecionado.. ..	40
Figura 11: Ilustração da instalação de um painel seletor de energia manual.....	41
Figura 12: Layout do sistema dimensionado.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2	PROPRIEDADE	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS	15
2.2	ENERGIA SOLAR	15
2.3	ENERGIA EÓLICA	16
2.4	ENERGIA GEOTÉRMICA	16
2.5	ENERGIA HÍDRICA	17
2.6	ENERGIA DOS OCEANOS	17
2.7	BIOMASSA	17
2.7.1	BIOMASSA NO BRASIL	18
2.8	BIODIGESTOR	19
2.8.1	TIPOS DE BIODIGESTORES	19
2.8.1.1	BIODIGESTOR TIPO INDIANO	20
2.8.1.2	BIODIGESTOR TIPO CHINÊS	21
2.8.1.3	BIODIGESTOR MODELO DA MARINHA BRASILEIRA	21
2.8.1.4	BIODIGESTOR TIPO BATELADA	22
2.9	BIOGÁS	23
2.9.1	HISTÓRICO DO BIOGÁS	23
2.9.2	APLICAÇÕES DO BIOGÁS	24
2.9.2.1	REDE DE GÁS	25
2.9.2.2	MOTOR	25
2.9.2.3	COMBUSTÃO DIRETA	25
2.9.3	EQUIVALÊNCIAS ENERGÉTICAS	26
2.9.4	TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO	26
2.9.5	LIMPEZA E PURIFICAÇÃO	27
2.9.6	TUBULAÇÃO DE CONDUÇÃO DO BIOGÁS	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	29
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	30
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1	SITUAÇÃO ATUAL	31
4.2	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DO BIOGÁS	32
4.2.1	MEMORIAL DE CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	32
4.3	CONSUMO ELÉTRICO DA PROPRIEDADE	33
4.4	DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO	36
4.4.1	MEMORIAL DE CÁLCULOS DA TUBULAÇÃO	37
4.5	SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS	39
4.6	ESPECIFICAÇÃO DO MOTOGERADOR	40
4.7	SISTEMA ALTERNATIVO DE ENERGIA	41
4.8	TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DA INSTALAÇÃO	42
4.8.1	MEMORIAL DE CÁLCULOS DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	44

4.8.2 MEMORIAL DE CÁLCULOS DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO (SIMULAÇÃO) UTILIZANDO O SISTEMA 24 HORAS DIARIAS	46
4.9 LAYOUT DO SISTEMA DIMENSIONADO.....	47
5 CONCLUSÕES.....	48
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A utilização de energias renováveis está mais presente em estudos e debates da sociedade. A conferência Rio + 20 das Nações Unidas, realizada em Junho de 2012 no Rio de Janeiro, teve como tema energias sustentáveis e cidades sustentáveis, o que vem de acordo com o aproveitamento de energias sem agredir o meio ambiente e isso torna cada vez mais intenso a utilização da biomassa na obtenção de energia. (MANSUR ALEXANDRE, 2012)

Os potenciais energéticos da biomassa alinhados com as perspectivas ambientais e socioeconômicas a tornam uma importante fonte alternativa para a substituição do petróleo, pois além de produzir energia, seu grande benefício é a utilização de enormes quantidades de lixo orgânico, efluentes líquidos e dejetos agrícolas, que deixam de agredir a natureza. (BLEY JR, 2009).

O Brasil está em um crescimento acelerado para se tornar umas das potências mundiais, iniciando o ano atual como a sexta potência econômica do mundo, e de acordo com as previsões de Perreira (2012), esse ano apenas servirá de alavanca para um crescimento ainda maior, podendo chegar como a quinta potência já no próximo ano.

Como consequência desse desenvolvimento, ocorre o crescimento populacional, impulsionando o aumento da produção de alimentos, e como em muitas regiões do país, na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul a produção de suínos confinados vem aumentando. Esta prática de confinamento gera uma grande quantidade de dejetos, que liberam gás metano (CH_4), também conhecido como o Biogás, um dos gases causadores do efeito estufa. Esses dejetos são um grande contribuinte para a poluição hídrica e atmosférica, e segundo a Agência de Proteção Ambiental Americana cerca de 14% do metano emitido na atmosfera é proveniente da produção de animais. (USEPA, 1994 *apud* EMBRAPA, 2006).

Com as iniciativas e investimentos motivados a partir do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, propostos pelo Protocolo de Quioto, muitos projetos foram idealizados para simplesmente queimar o biogás sem aproveitamento energético. (BLEY Jr. 2009).

Esses projetos consistem na instalação de biodigestores nas propriedades criadoras de suínos confinados, onde o gás gerado no biodigestor através da decomposição anaeróbica é canalizado para um queimador, que realiza a queima do

mesmo. Esta queima diminui os impactos ambientais, pois transforma o gás metano (CH_4) em gás carbônico (CO_2), gás este que segundo Bley Jr. (2009), agride 21 vezes menos a camada de ozônio.

Bley Jr. (2009), conclui que essa queima, faz com que o valor econômico do biogás seja simplesmente desperdiçado.

Nesse argumento estudar energias renováveis e maneiras de aproveitá-las mesmo que em pequenas proporções é motivador para mudarmos os pensamentos e a nossa matriz energética. Refletir sobre os ensinamentos passados, usar as habilidades conquistadas nesse período de estudos para encontrar maneiras de agregar valor a um subproduto e contribuir na redução dos impactos ambientais tem seu apreço, tanto no fator socioeconômico como pessoal.

Em virtude a isso encontrar uma solução viável para a utilização do biogás como fonte de energia em pequenas propriedades rurais é relevante, pois estaremos diminuindo a contribuição de gases nocivos na atmosfera e gerando energia utilizável, sendo esses fatores motivadores para a elaboração desse trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar uma instalação para o aproveitamento do biogás produzido em um biodigestor existente em pequenas propriedades rurais, como combustível na geração de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar dados sobre a capacidade de produção de biogás na propriedade;
- Dimensionar o consumo de energia elétrica da propriedade;
- Fundamentar conceitualmente o melhor sistema a ser implantado;
- Dimensionar uma instalação para o aproveitamento do biogás na geração de energia;
- Definir a necessidade de outra fonte de energia elétrica para suprir a demanda da propriedade;
- Calcular o tempo de retorno do investimento do dimensionamento proposto.

1.2 PROPRIEDADE

A propriedade do Senhor Bruno Germano Schneiders ilustrada na Figura 1, está localizada em Esquina Tunas, município de Horizontina, no noroeste do Estado do Rio Grande de Sul, sendo esta a base para o dimensionamento de um sistema para o aproveitamento do biogás existente nas pequenas propriedades rurais.

A propriedade possui uma área de 25,3 hectares, utilizada para a produção de gado leiteiro, criação de suínos e plantação.



Figura 1: Imagem aérea da propriedade. Fonte: Google Earth, 2012.

A atividade de suinocultura na propriedade teve início em 1965, esse período que durou até 1990 era destinado ao processo de cria e engorda, porém com os baixos preços que o mercado oferecia na época, a suinocultura não se tornou mais viável e a produção de suínos extinguiu - se na propriedade.

Anos mais tarde com as propostas dos frigoríficos da região para os agricultores se tornarem integrados, ou seja, trabalhariam em parceria, em 2006 a propriedade voltou a prática de suinocultura. Hoje possui 600 cabeças de suínos e trabalha com terminação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

As mudanças climáticas que estão ocorrendo, como ondas de calor e frio, as catástrofes como enchentes, secas, tempestades e furacões, cada vez mais constantes nos dias de hoje, são consequências do aquecimento global, isso devido à enorme quantidade de gases nocivos liberados a atmosfera resultado da queima dos combustíveis fósseis, impulsionado cada vez mais com o desenvolvimento industrial. (WHITE PAPER, 2011).

Esse modelo energético atual se pressupõe de acordo com o pensamento de Bley Jr. (2010), a dois problemas graves de que devemos ter consciência, que são os de ordem ambiental e o fato desses recursos serem esgotáveis.

Em virtude aos problemas oriundos dos combustíveis fósseis, as preocupações se voltam na substituição dos mesmos por fontes naturais de energias, consideradas como inesgotáveis ou renováveis pela sua capacidade de se regenerar, como o sol (energia solar), o vento (energia eólica), os rios e correntes de água doce (energia hidráulica), os mares e oceanos (energia maremotriz e energia das ondas), o calor da terra (energia geotérmica) e as matérias orgânicas (biomassa) que será abordada com mais ênfase nessa pesquisa. (WHITE PAPER, 2011).

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As fontes de energias renováveis segundo Rodrigues, 2004 *apud* Bley Jr. 2010, também são chamadas de fontes limpas de energia ou energias verdes, por não poluírem a atmosfera com gases. Neste contexto a única exceção é a biomassa, pois quando há a sua queima se origina o dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio.

Fontes de energias renováveis têm por características não possuírem um limite de tempo para a sua utilização. Por serem produzidas pelo calor do sol, pela força dos ventos ou da água, podem ser utilizada localmente, diminuindo a dependência energética dos países produtores de petróleo e gás natural. (BLEY Jr. 2010).

2.2 ENERGIA SOLAR

Bley Jr. (2010), descreve que a energia solar é a que origina todas as outras energias renováveis: a energia eólica, parte do aquecimento desproporcional da atmosfera da terra e dos mares, dando origem a uma zona de baixa e alta pressão

permitindo o movimento das massas de ar. A energia híbrida se origina devido a evaporação da água que regressa a terra sob forma de precipitação pluviométrica. A biomassa se origina através da fotossíntese.

Ainda citando Bley Jr. (2010), existem dois princípios de aproveitamento da energia solar que são os sistemas solares térmicos e os sistemas fotovoltaicos.

Os sistemas solares térmicos, captam, armazenam e usam diretamente a energia do sol, como é o caso das placas solares para aquecimento de água e os sistemas fotovoltaicos, a luz do sol é transformada diretamente em eletricidade através dos painéis fotovoltaicos. (BLEY Jr. 2010).

2.3 ENERGIA EÓLICA

Castro (2007), fundamenta que a energia eólica ou energia do vento é causada pela diferença de pressão ao longo da superfície terrestre, devido à radiação solar recebida na terra nas zonas equatoriais ser maior que nas zonas polares.

Antigamente, essa fonte de energia era mais utilizada para bombear água ou moer cereais para a obtenção de farinha. Hoje em dia ainda se utiliza para o bombeamento de água, porém a sua principal utilização é para gerar eletricidade sem efeitos nocivos ao meio ambiente. (CARAPETO, 1998 *apud* BLEY Jr. 2010).

Devido à necessidade de produção de energia, o aumento do preço das energias convencionais e o estímulo a sustentabilidade ambiental, novas tecnologias vem sendo desenvolvidas e muitos projetos vêm sendo instalados nas regiões potenciais de todo o país. (BLEY Jr. 2010).

2.4 ENERGIA GEOTÉRMICA

É a energia existente no interior do nosso planeta, de acordo com Santamarta (2004), esse gradiente térmico gera um fluxo de calor do centro até a superfície terrestre esse fluxo é a fonte da energia geotérmica.

Ainda citando Santamarta (2004), o valor médio do gradiente térmico dessa energia é de 25 graus por quilômetro, aumentando nas zonas sísmicas e vulcânicas.

A exploração da geotermia inicia-se no final de século XIX na Itália para a geração de eletricidade. Hoje muitos países vêm utilizando essa fonte de energia encontrada no núcleo terrestre para gerar eletricidade, porém sua utilização só é viável com perfurações de no máximo 3.000 metros. (SANTAMARTA, 2004).

Segundo Bley Jr. (2010), numa central de energia geotérmica, retira-se o calor existente nas camadas interiores da terra para produzir o vapor e acionar turbinas.

2.5 ENERGIA HÍDRICA

Essa energia é proveniente dos rios, também denominada como energia hidráulica, a produção de hidroeletricidade é efetuada nas centrais hidrelétricas que são associadas a barragens, que represam as águas dos rios, constituindo um reservatório de água. A energia potencial da massa da água gira as turbinas hidráulicas, essas são acopladas a geradores que convertem essa energia mecânica em eletricidade. (PORTAL DA ENERGIA, 2012).

2.6 ENERGIA DOS OCEANOS

A energia dos oceanos ou energia das marés, também conhecida como maremotriz é aproveitada desde o século XI, quando ingleses e franceses utilizavam essa energia para a movimentação de moinhos. O sistema de aproveitamento dessa energia é semelhante ao de uma usina hidrelétrica, com barragens construídas próximas ao mar, e os diques captam a água durante a maré alta, essa água armazenada é liberada com a maré baixa, passando por uma turbina que gera energia elétrica. (BRASIL ESCOLA, 2012).

2.7 BIOMASSA

Representada pela massa total dos organismos vivos, constituída essencialmente por hidratos de carbono. (BLEY Jr. 2010).

Conforme Cortez, Lora e Gómez (2008), há algumas décadas a biomassa perdeu sua liderança histórica na geração de energia para o carvão mineral, e com a utilização do petróleo e o gás natural, sua utilização acabou se reduzindo quase que só para as regiões agrícolas. Atualmente muitos países estão voltando à prática de utilizar biomassa para gerar energia elétrica, e uma das maiores motivações para utilizar fontes de energias renováveis na geração de energia elétrica é a necessidade de reduzir o uso de derivados de petróleo e em consequência a isso também reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa.

Analisando as tecnologias das fontes energéticas alternativas renováveis, já suficientemente maduras para ser empregada

comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir energéticos tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes (CORTEZ, LORA, GOMÉZ, 2008, pg.15).

Para Farret (2010), podemos considerar como biomassa todos os materiais que se decompõem por efeito biológico, e ao se decomporem por bactérias metanogênicas produzem o metano.

Cortez, Lora e Gómez (2008), cita que as fontes da biomassa podem ser obtidas de vegetais não lenhosos, como os vegetais sacarídeos, celulósicos, amiláceos e os aquáticos, de vegetais lenhosos como a madeira, de resíduos orgânicos, onde temos os resíduos agrícolas, urbanos e industriais e também através dos biofluidos que são os óleos vegetais.

A biomassa é uma das fontes para a produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos e é considerada a principal alternativa para a diversificação da matriz energética quanto na redução da dependência de combustíveis fósseis (ANEEL, 2009 *apud* PRETO e MORTOZA, 2010).

Bley Jr. (2010), destaca que fontes de biomassa podem ser utilizadas de formas diferentes para produzir energia, de forma direta, tendo como principal processo a combustão que gera algum tipo de calor e de maneira indireta tendo vários processos para a utilização, como exemplos, a produção de biocombustíveis ou a produção do biogás.

2.7.1 Biomassa no Brasil

No Brasil essa fonte de energia vem ganhando cada vez mais espaço, pois ela é fundamental na diversificação da matriz energética. Gerar energia elétrica através da biomassa é considerar uma forma limpa de geração, como consequência, muitos programas nacionais começam a ser desenvolvidos, o que incentiva ainda mais a sua utilização. (BLEY Jr. 2010).

Preto e Mortoza (2010), definem como tipos de biomassas mais utilizadas no Brasil para a geração de energia elétrica, a de origem florestal, a derivada de culturas agrícolas e rejeitos industriais e urbanos.

A biomassa florestal é uma fonte promissora no Brasil sendo que a sua utilização na geração e co-geração de energia é essencial para o segmento das

serrarias, e hoje o setor florestal brasileiro tem participação significativa no PIB, respondendo em torno de 3,5%. Um fator importante que torna o Brasil um país destaque na utilização da madeira para a geração de energia elétrica e a grande extensão territorial, o que facilita um grande volume de produção de madeira (PEDRO e MORTAZA, 2010).

Ainda citando Pedro e Mortoza (2010), com o aumento da tecnologia na área agrícola, o Brasil hoje é considerado o celeiro de varias culturas, batendo recordes de produção a cada ano, e esse aumento de produtividade agrícola gera uma grande quantidade de resíduos, outro combustível para geração de energia.

O Brasil também possui uma forte indústria produtora de proteína animal devido ao investimento realizado ao longo de seis décadas, por cooperativas e indústrias, chamadas de integradores. Esse crescimento aumentou a emissão de metano (CH_4), oriunda dos dejetos produzidos por aves, suínos e bovinos, anualmente chegando a 1,36 milhões de toneladas (BLEY Jr. 2009).

Neste contexto ainda podemos citar os rejeitos urbanos sólidos e líquidos, que quando acumulados em áreas abertas tornam - se um grave problema ambiental, trazendo além do mau cheiro muitas doenças.

2.8 BIODIGESTOR

Um biodigestor é uma câmara fechada na qual a biomassa é fermentada anaerobicamente. O biodigestor não é o responsável pela formação do biogás, mas sim por fornecer as condições ideais para que as bactérias metanogênicas, degradem o material orgânico que conseqüentemente libera o gás metano (BARRERA, 1993, *apud* GASPAR, 2003).

Existem vários tipos de biodigestores, que segundo Gaspar (2003), todos são compostos basicamente por duas partes: um recipiente para abrigar e permitir a digestão da biomassa e o gasômetro que armazena o biogás gerado.

2.8.1 Tipos de Biodigestores

Há dois sistemas básicos de biodigestores, o contínuo e o intermitente. O primeiro é mais conhecido e se adapta melhor a maioria das biomassas, já o segundo é específico para biomassas de decomposição lenta (SGANZERLA, 1983 *apud* COLDEBELLA, 2006).

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com o fornecimento de gás, ou seja, contínuo que quando corretamente operados oferecem gás permanente e descontínuo que durante certos períodos a produção do biogás é interrompida para a descarga do material fermentado e nova recarga do material a ser digerido. (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Gaspar (2003) e Coldebella (2006), os modelos de biodigestores mais conhecidos no Brasil são o chinês e o indiano. O modelo Chinês é mais rústico e geralmente construído de alvenaria e fica quase que totalmente abaixo do solo, já o modelo indiano geralmente tem forma de poço e sua cápsula é feita de aço, mas atualmente pode ser construído de fibra, plástico ou mantas de PVC.

Oliveira (2009), aponta como os principais biodigestores contínuos utilizados no Brasil os modelos indiano, modelo chinês e o modelo da Marinha Brasileira e o biodigestor modelo Batelada como o principal tipo descontínuo.

2.8.1.1 Biodigestor tipo Indiano

Esse tipo de biodigestor tem sua cúpula geralmente construída de Fibra ou ferro em forma de poço conforme ilustra a Figura 2. Seu processo de fermentação ocorre mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, apesar de ser eficiente sua utilização só não é maior devido aos custos de instalação (FRANÇA Jr. 2008).



Figura 2: Biodigestor modelo Indiano. Fonte: França Jr. 2008.

2.8.1.2 Biodigestor tipo Chinês

Como o nome diz, foi desenvolvido na China, Segundo França Jr. (2008), é construído em alvenaria em propriedades pequenas, por isso esse modelo é enterrado, conforme ilustra a Figura 3, para ocupar menos espaço, por sua cúpula ser construída em alvenaria seu custo é menor em relação aos outros modelos.

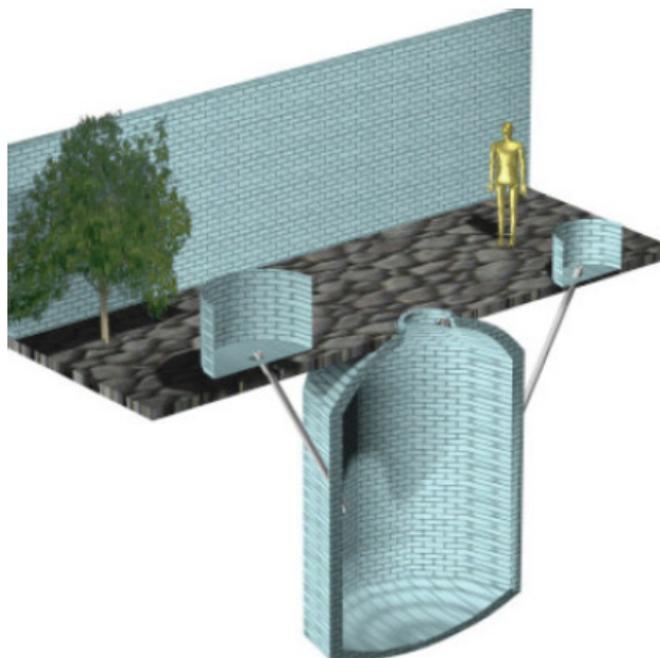


Figura 3: Biodigestor modelo Chinês. Fonte: França Jr. 2008.

2.8.1.3 Biodigestor modelo da Marinha Brasileira

Também conhecido como biodigestor Australiano, um modelo do tipo horizontal, conforme a figura 4, possui uma largura maior que a profundidade, sua produção de biogás é maior em relação aos outros modelos devido a sua característica geométrica que permite uma exposição maior ao sol. Sua cúpula é de polímero maleável, tipo PVC que infla como se fosse um balão e a mesma pode ser retirada o que facilita a limpeza quando necessário (FRANÇA Jr. 2008).

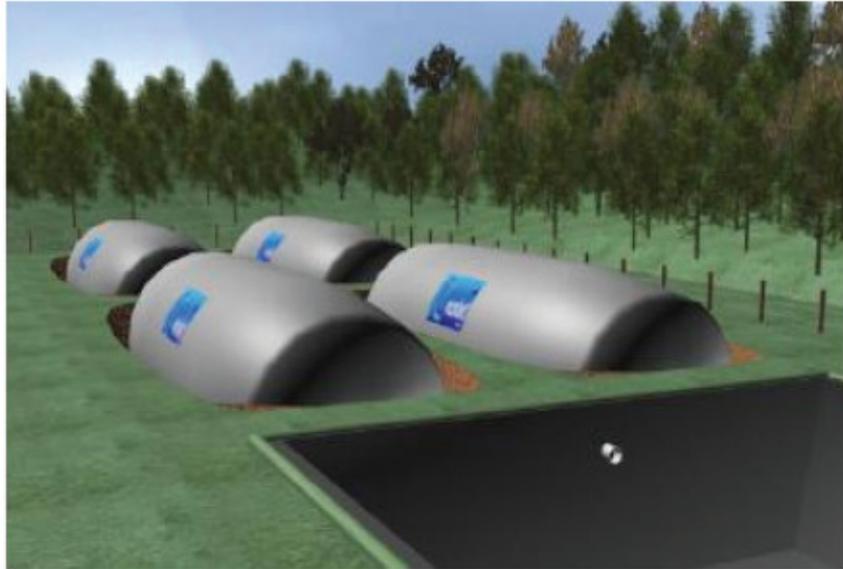


Figura 4: Biodigestor modelo da marinha Brasileira. Fonte: França Jr. 2008.

2.8.1.4 Biodigestor tipo Batelada

O biodigestor de batelada é do tipo descontínuo, conforme a Figura 5 não tem abertura para entrada e saída dos dejetos, pois são carregados uma vez e mantidos fechados por um período determinado, depois de abertos são descarregados (CETESB, 2006).



Figura 5: Biodigestor do tipo Batelada. Fonte: Oliveira, 2009

2.9 BIOGÁS

O biogás é também denominado como metano (por ser seu principal componente) ou Gobar Gas (que em indiano significa gás de esterco) é um combustível com enorme capacidade calorífica que provem da fermentação anaeróbica da biomassa, a sua utilização pode ser no aquecimento de fogões, estufas, aquecedor, funcionamento de motores ciclo Otto, entre outros aparelhos co-geradores de energia (FARRET, 2010).

2.9.1 Histórico do Biogás

Segundo Casseb (1996) *apud* COLDEBELLA (2006), a produção do biogás já é conhecida a muito tempo, pois em 1776 um químico italiano descobriu a presença de metano no gás emitido pelos pântanos, resultado da decomposição dos vegetais.

E de acordo com Deublein (2006) *apud* CACHETO (2010), fontes muito antigas indicam que utilização de recursos renováveis para o fornecimento de energia em forma gasosa, já era conhecido antes do nascimento de Cristo. Tem relatos que em 3.000 a. C. os Sumérios praticavam a purificação anaeróbica de resíduos. Em 50 a. C. um estudioso romano chamado Plínio observou algumas luzes cintilantes aparecendo debaixo de pântanos.

Em 1884 ocorreu à primeira tentativa de produção do biogás, Louis Pasteur conseguiu produzir cem litros (100 L) de gás metano a partir de cem metros cúbicos (100m³) de estrume de cavalos, e publicou que essa taxa de produção era suficiente para cobrir as exigências de energia para a iluminação das ruas de Paris (DEUBLEIN, 2006 *apud* CACHETO, 2010).

Nas décadas de 50 e 60, Índia e China, utilizarem o processo de biodigestão sendo os primeiros países a exercer essa prática, com a crise do petróleo na década de 70 essa tecnologia foi trazida ao Brasil (COELHO, 2001 *apud* FIGUEIREDO, 2010).

No final da década de 70 e início da década de 80 o interesse pelo biogás de intensificou ainda mais no Brasil, especialmente entre os suinocultores, pois programas governamentais estimularam a implantação de muitos biodigestores com o objetivo de gerar energia elétrica e produzir o biofertilizante, diminuindo assim o impacto ambiental, infelizmente os resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados foram desativados. No final da década de 90 um novo

movimento envolveu o interesse no Biogás, motivados pela inserção no mercado de carbono via MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo). Porém a flutuação de preços na comercialização das RCEs (Redução certificadas de emissões), dificuldades operacionais e a recente crise mundial, tornaram as expectativas iniciais em frustrações. No final da última década, a geração de energia passou a ser considerada em projetos o que deu um novo impulso na utilização do biogás. (BLEY Jr. 2010).

2.9.2 Aplicações do Biogás

Existem inúmeras alternativas para aproveitarmos o biogás. A Figura 6 mostra esquematicamente as possíveis aplicações para a utilização do biogás.

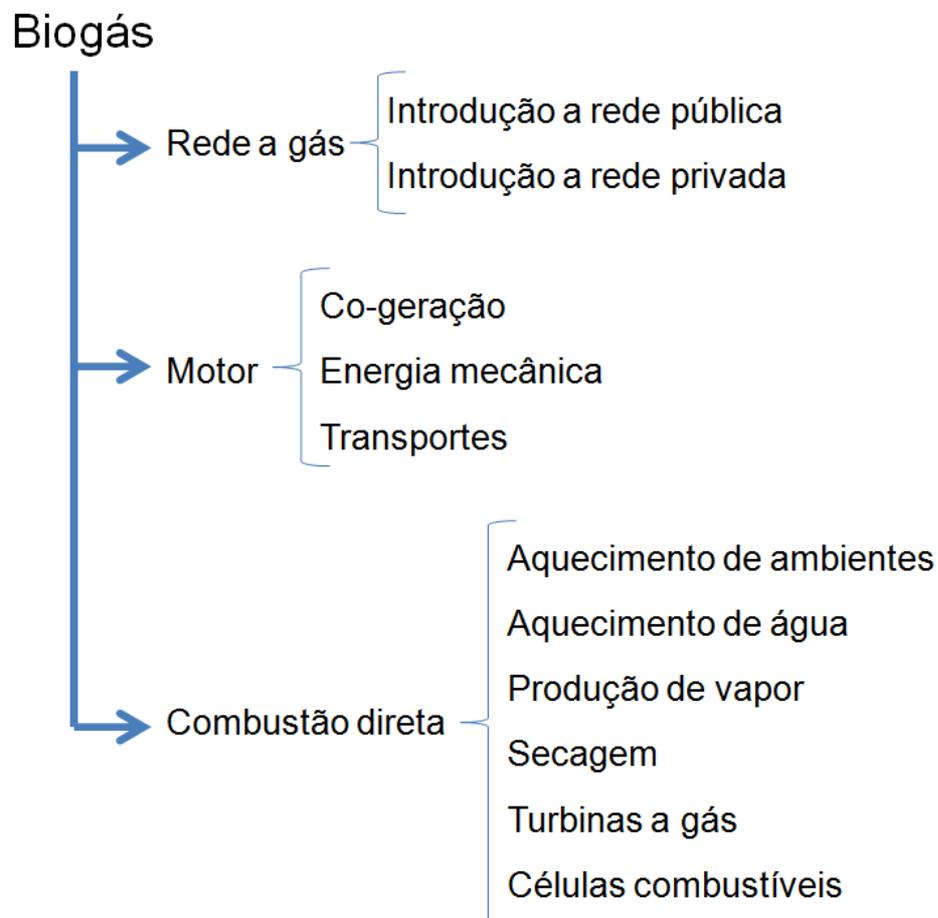


Figura 6: Esquematização das formas de utilização do biogás. Fonte: Adaptado de COLDABELLA (2006).

2.9.2.1 Rede de gás

Uma forma de aproveitamento do biogás gerado principalmente pelos aterros sanitários é injetá-lo a rede de gás natural, para que o mesmo possa ser utilizado em domicílios, porém para esse fim, uma serie de requisitos são necessários conforme estipula a Entidade Regulamentadora de Serviços Energéticos (ERSE) (SILVA, 2009).

2.9.2.2 Motor

Motores de combustão interna, ou motor ciclo Otto, é o equipamento mais utilizado para a queima do biogás, isso devido ao seu rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima do biogás em motores são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão (ICLEI, 2009).

França Jr. (2008), profere que esses motores são divididos em dois tipos de ciclos, Otto e Diesel, e para a utilização de gases como combustível o ciclo Otto é o mais recomendável, no entanto, pode-se utilizar o gás em equipamentos de ciclo Diesel desde que o combustível inserido na câmara seja uma mistura de gás com 3 a 5% de diesel.

Os motores geram energia mecânica, mas quando acoplados a geradores elétricos são capazes de produzir energia elétrica. Segundo Oliveira (2009), um metro cúbico de biogás (1 m³ de biogás) é equivalente a 6,5 kWh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de co-geração varia entre 30 e 38% ou seja, entre 1,95 e 2,45 kWh. O que representa um grande potencial para a co-geração de energia.

Ainda citando Oliveira (2009), a utilização do biogás como combustível veicular é juntamente com a opção de geração de energia elétrica uma das alternativas mais atraentes, porém para utilizá-lo como combustível veicular é necessário realizar a purificação do biogás, pois como esse gás é corrosivo isso pode trazer sérios problemas para os motores.

2.9.2.3 Combustão direta

Entende por combustão direta o processo em que a energia química dos combustíveis é transformada em calor como é o caso de caldeiras, ou no caso de turbinas, a energia dos combustíveis se transforma em potência (COLDABELLA, 2006).

2.9.3 Equivalências energéticas

Pensando em dimensionar uma instalação para o aproveitamento do biogás como combustível e gerar energia elétrica em propriedades rurais é relevante sabermos suas equivalências energéticas.

No Quadro 1, temos uma relação da produção do biogás por dia em relação com a quantidade de dejetos de animais semiestabulados.

Material (Esterco)	Kg de dejetos/dia	M ³ de gás/kg de dejetos	M ³ de gás/animal/dia
Aves	0.09	0.055	0.0049
Bovinos	10.00	0.040	0.4000
Equinos	6.50	0.048	0.3100
Ovinos	0.77	0.070	0.0500
Suínos	2.25	0.064	0.1400

Quadro 1: Produção de dejetos/biogás/animais. Fonte: Farret (2010) pg. 126.

Analisando os dados do quadro pode - se presumir que para termos um metro cúbico de biogás (1 m³ de biogás) proveniente de dejetos suínos necessitamos de 15,6 quilogramas (kg) de esterco, conforme Gaspar (2003), essa quantidade de biogás é capaz de originar 1,428 kW de eletricidade.

2.9.4 Tecnologias de conversão

Existem diversas tecnologias para a conversão energética do biogás, entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo energia em outro, nesse caso a energia química do biogás é convertida em energia mecânica através de um motor ciclo Otto e essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. COELHO et. al. (2006).

Muitos são os fabricantes de equipamentos operados a biogás existentes no Brasil, alguns foram selecionados para a elaboração da pesquisa proposta.

A empresa Biogás Motores Estacionários, situada em Toledo – PR foi fundada em 2004 e atende o mercado de combustíveis alternativos, trabalhando com motores movidos a biogás. Trabalha com equipamentos que variam de 30 a 140 KVA, o custo é em torno de R\$1.100, 00 por KVA, esses motores são da marca

Mercedes Bens adaptados para o biogás e neles são acoplados um gerador WEG. (BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS, 2012).

A empresa ER BR Energias renováveis LTDA, foi fundada em 2008 e é situada em Londrina – PR. Trabalha com vários equipamentos para o desenvolvimento e valorização da biomassa com fonte geradora de energia, tendo em seu segmento grupos geradores que variam de 30 a 330 KVA, esses motores são da marca MWM especiais para gás e neles são acoplados um gerador WEG, tendo como custo aproximado de R\$70.500 um moto-gerador de 30 KVA e R\$72.600 um moto gerador de 50 KVA. (ER BR ENERGIAS RENOVAVEIS, 2012).

Outra empresa de renome a mais de 60 anos no mercado brasileiro em projetos e instalações elétricos o grupo Fockink, localizada em Panambi – RS trabalha com uma série de grupos geradores movidos a biogás, que variam de 50 KVA a 150 KVA, tendo um custo aproximado de R\$70.000,00 para grupos geradores de 50 KVA e R\$180.000,00 para grupos geradores de 150 KVA. (GRUPO FOCKINK, 2012).

A empresa Branco trabalha com um grupo gerador bioflex que utiliza como combustível tanto o biogás como o álcool, esse grupo gerador tem a capacidade de 9,5 KVA e um consumo aproximado de 4 m³/h. Esse tem um preço de R\$3.515,00 (BRANCO PRODUTOS, 2012)

2.9.5 Limpeza e purificação

Conforme França Jr. (2008), o biogás para não danificar os componentes internos do motor, precisa passar por uma purificação, esse sistema segundo o autor deve ser composto por dois compartimentos instalados na linha de captação do gás um para retirar a água e o outro para retirar o ácido sulfídrico (H₂S), para a retirada da água o biogás passa por um recipiente onde a mesma é removida por condensação, mesmo processo de sistemas de ar-comprimido e o H₂S é retirado ao passar por um filtro composto de sílica gel e cavacos de ferro.

Além da danificação interna do motor, a presença de substâncias não combustíveis no biogás prejudica no processo de queima diminuindo a eficiência e para a retirada da umidade Coelho, et. al. (2006), menciona que se utilizam filtros de coalescentes e secadores de refrigeração, e para a remoção do H₂S, se utiliza filtros de carvão ativo.

Godoy Jr. et. al. (2011), desenvolveu um sistema de filtragem do biogás composto por dois filtros, esse serve para reter o H_2S , é um sistema simples composto por limalha de ferro oxidada, esses filtros ficam dispostos em paralelo onde apenas um fica em aberto retraindo o H_2S e o outro fica em espera até que sature o primeiro, assim não é necessária a substituição.

Silva (2009), menciona que podem ser utilizados diversos métodos de purificação do biogás, como o método por membrana onde o gás passa por uma membrana de acetato-celulose e são removidos o CO_2 , O_2 e H_2S , porém para uma melhor separação a temperatura ideal é $25^\circ C$, o método Walter Scrubbing (SW), geralmente aplicado e bastante eficiente em baixas produções de biogás, nesse sistema o gás é comprimido e alimentado no sentido ascendente e água pressurizada é pulverizada no sentido contrário ao biogás, com isso é removido o CO_2 e H_2S , o método Pressure Swing Adsorption (PSA), nesse processo é utilizada uma mistura de gases sob pressão, onde são retirados CO_2 , O_2 e H_2S , o método de purificação por tecnologia criogênica, consiste em separar os componentes por condensação e destilação fracionária a baixas temperaturas e o método CO_2 Wash.

2.9.6 Tubulação de condução do biogás

Uma rede de distribuição de biogás, ou biogasoduto é a responsável por transportar o biogás produzido no biodigestor até o grupo moto-gerador, para a construção de um gasoduto de acordo com Godoy Jr. et. al. (2011) pode-se utilizar tubos de aço carbono, com ou sem costura, conforme ABNT NBR 5580, tubos de cobre rígidos, sem costura com espessura mínima de 0,8 mm conforme ABNT NBR 13206, tubos de cobre flexível, sem costura conforme ABNT NBR 14754, tubos de polietileno (PE80 ou PE100), conforme ABNT 14462, para redes enterradas.

Godoy Jr. et. al. (2011) cita ainda que o polietileno é o material mais apropriado para a construção de um biogasoduto, pois o PVC, apesar de utilizado em muitas instalações permite a passagem de gás pelas suas paredes, além disso, segundo Braskem (2010) *apud* Godoy Jr. et. al. (2011), o metano e o cloreto de metileno presentes no biogás reagem com o PVC, mas em muitos casos se torna viável devido ao baixo custo de instalação e fácil manutenção.

Existem no mercado brasileiro inúmeras empresas que fabricam e fornecem tubulações e conexões de polietileno e PVC as principais são a Tigre, Brastubo e Kanaflex.

A empresa Tigre fabrica todos os tipos de tubulações e conexões para diversos segmentos do mercado, como predial, infraestrutura, irrigação e indústrias, tendo em sua linha de produtos as tubulações de polietileno (PE), um material termo plástico destinado para diversas aplicações uma delas a utilização em tubulações para transportar gás combustível, além das conexões de eletrofusão essas conexões permitem a união dos tubos de PE em sistemas pressurizados de água, esgoto e gás, como as tubulações em PE não são coláveis o processo de união das tubulações e conexões são por eletrofusão. (TIGRE, 2012).

A Brastubo é uma empresa fabricante de tubos e conexões, localizado no estado de São Paulo, fabrica tubos de PVC e polietileno entre 10 e 1.200 milímetros atuando no mercado de fundações, saneamento, energia, petróleo, gás, mineração e construções metálicas. (BRASTUBO, 2012).

Outra empresa fabricante de tubos de PVC e PE é a Kanaflex uma empresa japonesa fundada em 1952 e a pioneira na fabricação de tubos corrugados de PEAD (polietileno de alta densidade), possui duas fábricas no Brasil que fabricam tubos e conexões de PE. (KANAFLEX, 2012).

Uma tubulação de PE e suas conexões apesar de apropriadas para esse tipo de construção podem não ser viáveis devido ao custo, que podem variar em média 70% a mais do que tubulações de PVC, além do custo de instalação ser elevado, pois como esse tipo de material, na aceita cola, é necessário à união por soldagem de eletrofusão, para esse tipo de solda é necessário técnicos e equipamentos especializados, o que acaba aumentando ainda mais o custo de fabricação da tubulação.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para utilizarmos o Biogás existente em uma propriedade rural localiza no interior de Horizontina, na região noroeste do Rio Grande do Sul, como combustível para gerar eletricidade utilizou os seguintes métodos:

A primeira etapa foi calcular a quantidade de biogás produzido diariamente pelo biodigestor, esta se fez em forma de uma visita a propriedade, onde se procurou conhecer as instalações e através de uma entrevista informal se obteve a quantidade de cabeças de suínos criadas, a massa média dos animais e período de maturação.

A segunda etapa realizada foi o levantamento dos equipamentos elétricos utilizados na propriedade, o tempo de utilização de cada equipamento e períodos do dia em que são utilizados, essa etapa se fez através de um levantamento de dados, onde em uma visita a propriedade esses equipamentos foram observados e tomado nota de sua potência, quantidade e tempo de utilização com isso foi possível estipular quanto a propriedade consome em cada segmento de atuação, sendo a bovinocultura e a suinocultura.

Uma terceira etapa foi visitar propriedades que já utilizam esses sistemas de co-geração de energia tendo como combustível o biogás, com isso, pode-se identificar as reais necessidades para a elaboração do projeto proposto.

A última etapa a ser realizada foi definir o layout da instalação proposta, os equipamentos e acessórios que a compõem e orçamentos para os cálculos de viabilidade.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a elaboração do trabalho proposto, foi necessário a utilização dos seguintes equipamentos:

Um computador HP (Processador Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU T5250 @ 1.50GHz) com pacote Office e Solid Works, software utilizado para a modelagem dos itens que compõem o sistema de co-geração de energia.

Uma máquina fotográfica Digital Sony (Syber-Shot 7.2 mega pixels) utilizada para a obtenção das fotos que foram importantes para a coleta de dados para análise posterior.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para efetuar o dimensionamento de um sistema para o aproveitamento do biogás existente em pequenas propriedades rurais, foi realizado um levantamento das instalações existentes e posteriormente a avaliação dos componentes instalados, com isso determinou as necessidades de melhorias, para que fosse possível diminuir poluição do meio ambiente e ao mesmo tempo agregar valor ao biogás.

4.1 SITUAÇÃO ATUAL

Na figura 7 podemos observar que o queimador utilizado para a queima do biogás está deteriorado e inoperante, com isso o gás gerado no biodigestor é liberado diretamente na atmosfera, não havendo assim a redução dos efeitos nocivos.



Figura 7: Queimador utilizado na queima do Biogás.

Analisando a situação em que se encontra a instalação propõem-se um novo sistema que além de reduzir a contaminação ao meio ambiente proporcionada pelo gás metano existente no biogás, se estará agregando valor através da geração de eletricidade.

4.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DO BIOGÁS

De acordo com Farret (2010), para uma decomposição anaeróbica ideal dos dejetos dentro de um biodigestor a temperatura correta é de 35 ° C.

Na região noroeste do Rio Grande do Sul, local onde o trabalho é realizado temos um clima temperado do tipo subtropical, o que não nos favorece muito a biodigestão, pois as temperaturas médias anuais variam entre 15 e 18 ° C, com mínimas de -10 ° C e máximas de 40° C. (ATLAS SOCIECONOMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Em estudos realizados por Lima (2007), que comparou a produção de biogás variando as temperaturas internas do biodigestor de 35° C para 20° C e obteve uma redução de 30% na produção de biogás com a temperatura menor.

Para cálculos da capacidade de produção de biogás na propriedade utilizaremos as fórmulas mencionadas por Farret (2010) assim temos:

$$T_{\text{gás/animal}} = m_{\text{dejetos/dia}} \times f_{\text{produção/animal}} \quad (1)$$

Onde:

T = Total de Gás produzindo por um animal por dia (m³/dia)

m = Massa de dejetos produzido por um animal por dia (Kg)

f = Quantidade de gás gerado por 1 kg de dejetos para cada espécie. (m³)

$$T1_{\text{gás/dia}} = T_{\text{gás/animal}} \times N \quad (2)$$

Onde:

T1 = Quantidade de gás diário gerado na propriedade (m³/dia)

N = Numero de animais da propriedade

4.2.1 MEMORIAL DE CALCULO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para cálculos da capacidade de produção de biogás na propriedade será levando em conta a tabela 1, de produção de biogás de acordo com a quantidade de dejetos gerado pelo animal por dia. Onde um suíno produz em média 2,25 kg de

dejetos por dia e 1 Kg de dejetos produz aproximadamente 0,064 m³ de gás por dia, a propriedade trabalha com 600 cabeças de suínos então temos:

$$T_{\text{gás/animal}} = m_{\text{dejetos/dia}} \times f_{\text{produção/animal}}$$

$$T_{\text{gás/animal}} = 2,25 \times 0,064$$

$$T = 0,144 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Cada suíno produz em média 0,144 m³ de gás por dia para sabermos o total da propriedade é só multiplicarmos esse valor pela quantidade de cabeças de suínos nela criada.

$$T1_{\text{gás/dia}} = T_{\text{gás/animal}} \times N$$

$$T1_{\text{gás/dia}} = 0,144 \times 600$$

$$T1 = 86,4 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Levando em consideração os fatores climáticos e os comparativos de Lima (2007), diminuiremos do valor encontrado 30 %, o que nos dará uma margem menor de erros no dimensionamento do gerador a ser utilizado.

$$T_{\text{gás/animal}} = m_{\text{dejetos/dia}} \times f_{\text{produção/animal}}$$

$$T1_{\text{gás/dia}} = T1 \times 0,7$$

$$T1 = 60,5 \text{ m}^3 \text{ Gás/dia}$$

4.3 CONSUMO ELÉTRICO DA PROPRIEDADE

Além do cálculo de produção diária de biogás da propriedade outro fator importante para o dimensionamento do sistema de aproveitamento do mesmo é o consumo elétrico diário, além dos períodos do dia em que se tem o maior consumo.

Para isso, foi realizado um levantamento de todos os equipamentos elétricos utilizados na propriedade para as suas atividades diárias, e a dividimos pelos dois segmentos de atuação da propriedade, a suinocultura e a bovinocultura, com isso sabemos o que cada segmento consome de energia e o período em que a consome, comparando com o consumo mensal pago a concessionária de energia local temos

o consumo gasto nas atividades de negocio (bovinocultura e suinocultura) e atividades diversas.

Os dados expostos no Quadro 2, relacionam os equipamentos utilizados na propriedade juntamente com o tempo de sua utilização ao longo do dia.

Assim, podemos observar que se utilizarmos todos os equipamentos presentes na propriedade durante uma hora teremos o consumo de 13,8 KVAh.

Consumo elétrico da propriedade para as atividades					
Atividade: Bovinocultura					
Equipamentos	Potencia (W)	Quantidade	Potencia total (W)	Horas de consumo	KVA (1W = 1VA)
Lâmpadas	60	16	960	1	0,96
Resfriador de Leite	3995	1	3995	16	3,995
Aquecedor de água	2000	1	2000	24	2
Motor Ordenhadeira	2200	1	2200	3	2,2
				Total / hora (KVA)	9,155
Atividade: Suinocultura					
Equipamentos	Potencia (W)	Quantidade	Potencia total (W)	Horário de consumo	KVA (1W = 1VA)
Lâmpadas	60	19	1140	1	1,14
Lâmpada	200	1	200	1	0,2
Motor Ração	1103,248125	3	3309,744375	1	3,309744375
				Total / hora (KVA)	4,649744375
				Total geral / hora(KVA)	13,80474438

Quadro 2: Relação dos equipamentos elétricos utilizados por atividades.

$$\text{Consumo total} = 13,8 \text{ kVAh}$$

Descontando as lâmpadas que são utilizadas 1 hora por dia temos:

$$\text{Consumo total} = 13,8 \text{ KVAh} - 2,3 \text{ kVAh}$$

$$\text{Consumo total} = 11,5 \text{ kVAh}$$

Descontando o motor de ração que é utilizado 2 horas diárias temos:

$$\text{Consumo total} = 11,5 \text{ KVAh} - 3,31 \text{ kVAh}$$

$$\text{Consumo total} = 8,19 \text{ kVAh}$$

Descontando o motor da ordenhadeira que é utilizado por 3 horas diárias temos:

$$\text{Consumo total} = 8,19 \text{ KVAh} - 2,2 \text{ kVAh}$$

$$\text{Consumo total} = 5,99 \text{ kVAh}$$

Descontando o resfriador de leite que trabalha por 16 horas diárias temos:

$$\text{Consumo total} = 5,99 \text{ KVAh} - 2 \text{ kVAh}$$

$$\text{Consumo total} = 3,99 \text{ kVAh}$$

Sabemos que os equipamentos como aquecedor e resfriador não ficam exercendo trabalho durante todo o tempo em que estão ligados, pois esses equipamentos são regulados a uma temperatura desejada através de um termostato, e ao atingir essa temperatura desejada ele se desliga, voltando a funcionar novamente no momento em que tiver variação da temperatura, por esse motivo não se levaremos em consideração o tempo total dos equipamentos ligados.

Analisando o consumo mensal da propriedade observa-se que ocorrem muitas oscilações dependendo o período do ano, mas nos resulta em um consumo médio de 1,7 kVAh, multiplicando por 24 horas (1 dia) teremos:

$$\text{Consumo diário} = 1,7 \times 24$$

$$\text{Consumo diário} = 40,8 \text{ kVAh}$$

Com esses dados de consumo elétrico da propriedade podemos observar que para suprir a demanda de 1 hora com todos os equipamentos de trabalho em operação, necessitamos de um motor gerador que gere 13,8 KVA/h para as atividades de negócio da propriedade, como toda a propriedade consome uma média diária de 40,8 kVA/h, se conclui que aproximadamente apenas 12% da demanda é para as atividades diversas.

Então temos:

Consumo estimado = 13,8 + 12%

Consumo estimado = 25,8 kVAh

4.4 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

Segundo Godoy Jr. et al. (2011), algumas considerações iniciais são importantes para o dimensionamento de uma tubulação para o transporte do biogás, o primeiro passo é o cálculo da densidade específica, como o gás natural o biogás tem uma densidade menor em relação ao gás atmosférico e devido esses gases serem muito semelhantes podemos utilizar a seguinte equação para o cálculo.

$$\rho_{\text{biogás}} = \rho_{\text{CH}_4} \cdot 10^{-2} \cdot \% \text{CH}_4 + \rho_{\text{CO}_2} \cdot 10^{-2} \cdot \% \text{CO}_2 \quad (3)$$

Conforme Godoy Jr. et al. (2011), o biogás tem sua composição de CH₄ e CO₂ variada, ficando entre 50 e 80% de CH₄ e de 20 a 50% de CO₂, através dessas variações e utilizando a equação 3, temos os seguintes dados expostos na tabela 1.

Tabela 1

Massa específica e densidade relativa em relação ao ar de gases de acordo com a composição do biogás.

$\rho_{\text{Gás}}$	Ar	CO ₂	CH ₄	Biogás 50%CH ₄ 50%CO ₂	Biogás 65%CH ₄ 35%CO ₂	Biogás 80%CH ₄ 20%CO ₂
$\rho(\text{kg.m}^3)$	1,2	1,562	0,717	1,138	0,97	0,8856
S= prelgás	1		0,597	0,94	0,82	0,738

Fonte: Godoy et al. (2011).

Para calcularmos a perda de pressão do sistema podemos utilizar de acordo com Godoy Jr. et al. (2011), a seguinte fórmula, que segundo a ABNT NBR 15526:2007, em partes verticais da tubulação deve ser considerada uma variação de pressão, com isso, em trechos com descentes se perde pressão e em trechos ascendentes se ganha pressão.

$$\Delta_p = 1,318 \cdot 10^{-2} \cdot h \cdot (S - 1) \quad (4)$$

Onde:

$$S = \rho_{\text{relgás}} = \rho_{\text{gás}} / \rho_{\text{ar}};$$

h = Desnível da tubulação;

Para o dimensionamento do diâmetro da tubulação Godoy Jr. et al. (2011), indica que podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$D = \frac{2,4 \sqrt{(S^{0,8} L)^{0,5} Q^{0,9}}}{\sqrt{2,22 \times 10^{-2} H^{0,5}}} \quad (5)$$

Onde:

$$S = \rho_{\text{relgás}} = \rho_{\text{gás}} / \rho_{\text{ar}};$$

Q = Produção volumétrica de metano (m³/dia);

H = máximo admissível = 0,034 kPa;

O sistema a ser dimensionado está representado na figura 8, nela contém a distância do biodigestor ao moto-gerador e as respectivas diferenças de altura do sistema e essa será a base para os cálculos de dimensionamento.

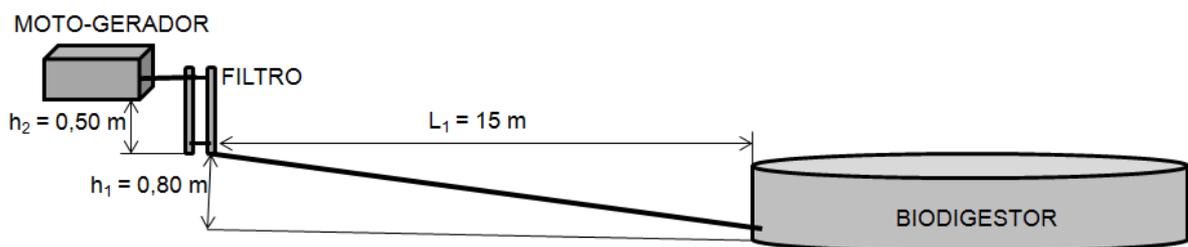


Figura 8: Rede de transporte do biogás do biodigestor ao moto-gerador.

4.4.1 MEMORIAL DE CÁLCULOS DA TUBULAÇÃO

- Perda de Pressão

$$h = h_1 + h_2$$

$$h = 0,80 + 0,50$$

$$h = 1,30 \text{ m}$$

$$S = 0,738(80\%CH_4)$$

$$\Delta_p = 1,318 \cdot 10^{-2} \cdot h \cdot (S - 1)$$

$$\Delta_p = 1,318 \cdot 10^{-2} \cdot 1,3 \cdot (0,738 - 1)$$

$$\Delta_p = 0,01318 \cdot 1,3 \cdot (-0,262)$$

$$\Delta_p = -0,00449 \text{ kPa}$$

Com o valor negativo tenho um ganho de pressão de aproximadamente 4,5 Pa na tubulação.

- Diâmetro da tubulação

$$S = 0,738(80\%CH_4)$$

$$Q = 60,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$H = 0,034 \text{ Kpa (máximo admissível)}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[2,4]{\frac{(S^{0,8}L)^{0,5}Q^{0,9}}{2,22 \times 10^{-2}H^{0,5}}}$$

$$D = \sqrt[2,4]{\frac{(0,738^{0,8}15)^{0,5}60,5^{0,9}}{2,22 \times 10^{-2}0,034^{0,5}}}$$

$$D = \sqrt[2,4]{\frac{137,68}{0,0040}}$$

$$D = \sqrt[2,4]{34420,05}$$

$$D = 77,68 \text{ mm}$$

Devido o resultado do diâmetro de 77,68 mm adotaremos uma tubulação próxima do obtido, nesse caso utilizaremos uma tubulação de PVC de 85 mm de diâmetro externo, tendo uma espessura de 4,5 mm que nos proporcionará um diâmetro útil de 76 mm, é um pouco menor do que o necessário, mas como a

próxima medida é 110 mm de diâmetro externo com 6,1 mm nos proporcionando um diâmetro útil de 97,8 mm estaria subdimensionando a tubulação.

Para estipular o valor que será investido na tubulação de transporte do biogás os materiais foram descritos e solicitado um orçamento, conforme quadro 3, apresentando um custo estimado de R\$120,30.

Quant.	Descrição	Preço um.	Preço total
3	Tubulação de 85 mm (6m)	R\$ 39,00	R\$ 117,00
3	Luva 85 mm	R\$ 1,10	R\$ 3,30
Total			R\$ 120,30

Quadro 3 - Lista de materiais e preços para a fabricação da tubulação.

4.5 SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Para limpeza e purificação do biogás do sistema vamos utilizar o sistema de filtragem com limalha de ferro oxidada composto por dois elementos filtrante, conforme figura 9.



Figura 9: Imagem ilustrativa do sistema de purificação. Fonte: Godoy Jr. et al (2011).

Levando em consideração os materiais utilizados para a fabricação do filtro, teremos um custo de R\$355,30 conforme exposto no Quadro 4.

Quant.	Descrição	Preço um.	Preço total
7	Válvula de esfera 50 mm	R\$ 27,50	R\$ 192,50
8	Joelhos 90° 50 mm	R\$ 2,10	R\$ 16,80
2	Tê 50 mm	R\$ 2,00	R\$ 4,00
1	Tubo 50 mm (6 m)	R\$ 33,00	R\$ 33,00
1	Tubo 110 mm (6 m)	R\$ 45,00	R\$ 45,00
4	Redução 110 x 50	R\$ 6,00	R\$ 24,00
1	Despesas diversas	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Total			R\$ 355,30

Quadro 4: Lista de materiais e preços para a fabricação da tubulação.

4.6 ESPECIFICAÇÃO DO MOTOGERADOR

De acordo com os cálculos de consumo elétrico da propriedade elaborados acima, será necessário um motogerador com capacidade de no mínimo 25,8 kVA, analisando os modelos existentes no mercado e comparando com os preços e tecnologia aplicada o modelo que mais se adapta as necessidade é o moto-gerador fabricado pela empresa Biogás Motores com capacidade de 30 kVAh.

Esse conjunto motor/gerador é composto por um motor de combustão interna adaptado para a utilização do biogás como combustível, acoplado ao um gerador da marca WEG, com rotação de 1800 RPM, frequência de 60 Hz e tensão de 380 V. Sua denominação na empresa segue como modelo GGB 30 KVA Biogás, com potência de 30 kVA Stand By, um painel de comando para o monitoramento do seu funcionamento e um radiador para a refrigeração, conforme demonstrado na Figura 10.



Figura 10: Moto-Gerador selecionado. Fonte: Barichello, Hoffmann e Cassaroto Filho (2011).

O sistema de moto-gerador também acompanha um painel com chave seletora manual, esse sistema permite que o proprietário selecione qual energia utilizar, a gerada pelo gerador a biogás ou a provida da concessionária local, na figura 11 apresenta um modelo semelhante.



Figura 11: Ilustração da instalação de um painel seletor de energia manual.

Esse equipamento foi orçado e seu custo de instalação ficará em R\$44.000,00.

Para prolongarmos a vida útil dos componentes, manutenções periódicas são necessárias, conforme recomendações do fabricante: Troca de óleo e filtro a cada 250 horas de trabalho, Troca das velas a cada 500 horas, tem um custo anual de aproximadamente R\$1.000,00.

4.7 SISTEMA ALTERNATIVO DE ENERGIA

Como todo o sistema de geração independente, é necessário um sistema alternativo de energia, pois em casos de panes no sistema onde o mesmo para de operar, ou com esse caso em específico, não utilizaremos o sistema de motogerador por 24 horas, então alternativa é continuar utilizando a energia da concessionária local quando o gerador não estiver operando.

Para isso será instalado um sistema de chave seletora manual que será responsável pela troca de sistemas, ou opera com a energia elétrica oriunda do moto-gerador ou da concessionária local.

Esse sistema seletor de energia é um equipamento fornecido junto com o moto-gerador, conforme mostra na Figura 11.

4.8 TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DA INSTALAÇÃO

Todo o projeto a ser implantado é necessário a análise econômica, para identificarmos se o mesmo é viável, seguindo a metodologia descrita por Souza et al (2004) *apud* Coldebella (2006) os custos estão relacionados ao capital de investimento na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motogerador, nesse caso específico, onde o biodigestor já está instalado, nosso custo se resumirá apenas na instalação da tubulação, filtro e do sistema de moto-gerador que tem um valor estimado totalizado conforme o quadro 5 de R\$45.475,60

Para efeito de cálculo se utilizará uma taxa de desconto de 8% (usualmente aplicado em financiamento do governo para atividades agrícolas). Para os gastos de manutenção e operação será utilizado o valor estimado de acordo com as manutenções periódicas necessárias no conjunto motogerador que equivale a 2,2% do investimento total ao ano.

Descrição	Custos
Tubulação	R\$ 120,30
Filtro	R\$ 355,30
Moto-gerador	R\$ 44.000,00
Manutenção/ano	R\$ 1.000,00
Total	R\$ 45.475,60

Quadro 5: Valor total estimado para a instalação.

Para determinar o custo da produção do biogás podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$C_c = \frac{CAG+CAB}{PE} \quad (6)$$

Onde:

C_c = Custo da energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh);

CAB = Gasto anual com o biogás;

PE = Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano);

CAG = Custo anualizado do investimento no conjunto moto-gerador (R\$/ano);

Como o biodigestor já está instalado não temos custo anual com o biogás então podemos descrever a fórmula novamente:

$$C_c = \frac{CAG}{PE} \quad (7)$$

Para calcular o custo anualizado do moto-gerador pode utilizar a seguinte fórmula:

$$CAG = CIG \cdot FRC + \frac{CIG \cdot OM}{100} \quad (8)$$

Onde:

CIG = Custo de investimento do moto-gerador (R\$);

OM = Custo de operação em manutenção (%/ano);

FRC = Fator de recuperação de capital;

Para Calcular a produção de eletricidade podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$PE = Pot \cdot T \quad (9)$$

Onde:

Pot = Potência nominal da planta (kW);

T = Disponibilidade anual da planta (horas/ano);

Para calcular o fator de recuperação de capital podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$FRC = \frac{j \cdot (1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \quad (10)$$

Onde:

j = Taxa de desconto (%/ano);

n = Anos de amortização do investimento

Para cálculo do tempo de retorno de investimento podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$TRI = \frac{CIG}{A} \quad (11)$$

Onde:

A= Economia de energia com a Planta (R\$/ano);

4.8.1 MEMORIAL DE CÁLCULOS DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

- Cálculo do fator de retorno do capital;

Para a concepção do sistema de aproveitamento do biogás, o capital será oriundo de um financiamento do FINAME parcelado em 96 meses (8 anos).

j = Taxa de desconto (%/ano)

n = Meses de amortização do investimento

$j = 8\% = 0,08$

$$FRC = \frac{j \cdot (1 + j)^n}{(1 + j)^{n-1} - 1}$$

$$FRC = \frac{0,08 \cdot (1 + 0,08)^8}{(1 + 0,08)^{8-1} - 1}$$

$$FRC = 0,208$$

- Produção de eletricidade através do sistema de biogás;

Como o moto-gerador consome uma média de 10 m³ por hora e nossa capacidade de produção de biogás varia de acordo com a época do ano entre 60 e 80 m³, utilizaremos o moto-gerador entre 8 a 6 horas diárias, com isso temos um total de 2880 a 2160 horas anuais de trabalho, com isso nossa produção de eletricidade equivale-se:

$$PE = Pot \cdot t$$

$$PE = 30 \text{ kVa} \cdot 2160\text{h}$$

$$PE = 64800 \text{ Kwh/Ano}$$

- Custo anualizado da instalação;

$$CAG = CIG \cdot FRC + \frac{CIG \cdot OM}{100}$$

$$CAG = 45475,60 \cdot 0,208 + \frac{45475,60 \cdot 2,2}{100}$$

$$\mathbf{CAG = R\$10459,37}$$

- Custo da energia elétrica produzida pelo moto-gerador

$$C_c = \frac{CAG}{PE}$$

$$C_c = \frac{10459,37}{64800}$$

$$C_c = 0,16 \text{ R\$/kWh}$$

- Gasto anual de eletricidade pago para a concessionária;

De acordo com a tabela do apêndice B, onde demonstra o consumo mensal da propriedade, podemos calcular o gasto anual paga a concessionária, é só somar os 12 meses e multiplicar pelo valor do kWh cobrado pela concessionária que equivale a R\$0,305652, assim temos um total de R\$5163,92 por ano gasto em energia elétrica.

Então;

$$A = R\$5163,92/\text{ano}$$

- Tempo de retorno do investimento (TRI);

Utilizando o biogás para gerar energia durante 8 horas diárias, levando em consideração os períodos mais utilizados, termos uma economia de 33,3% de consumo elétrico o que nos resulta em um total de R\$1704,10 por ano.

$$TRI = \frac{45475,60}{1704,10}$$

$$\text{TRI} = 27 \text{ anos}$$

4.8.2 MEMORIAL DE CÁLCULOS DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO (SIMULAÇÃO) UTILIZANDO O SISTEMA 24 HORAS DIARIAS

- Produção de eletricidade através do sistema de biogás;

Com o moto-gerador operando por 24 horas diárias, teremos um total de 8640 horas por anos, com isso nossa produção de eletricidade equivale-se:

$$\text{PE} = \text{Pot} \cdot T$$

$$\text{PE} = 30 \text{ kVa} \cdot 8640\text{h}$$

$$\text{PE} = 259200 \text{ Kwh/Ano}$$

- Custo da energia elétrica produzida pelo moto-gerador

$$C_c = \frac{\text{CAG}}{\text{PE}}$$

$$C_c = \frac{10459,37}{259200}$$

$$C_c = 0,004 \text{ R\$/kWh}$$

- Gasto anual de eletricidade pago para a concessionária;

$$A = \text{R\$}5163,92/\text{ano}$$

- Tempo de retorno do investimento (TRI);

Utilizando o biogás para gerar energia durante 24 horas diárias, levando em consideração os períodos mais utilizados, termos uma economia de 100% de consumo elétrico o que nos resulta em um total de R\$5163,92 por ano.

$$\text{TRI} = \frac{45475,60}{5163,92}$$

$$\text{TRI} = 8,8 \text{ anos}$$

4.9 LAYOUT DO SISTEMA DIMENSIONADO

A exposição no layout para a identificação dos itens e sua localização, o item 1 apresentado na figura 12, representa o biodigestor já existente na propriedade, o item 2 simula a tubulação de PVC calculada e projetada para o transporte do biogás, o item 3, esboça o filtro para purificação, ou seja a retirada das substâncias presente no gás combustível que podem vir a prejudicar a vida útil do motor e os itens 4 e 5 representam o conjunto moto-gerador e painel seletor de energia que melhor se adapta a solução proposta.

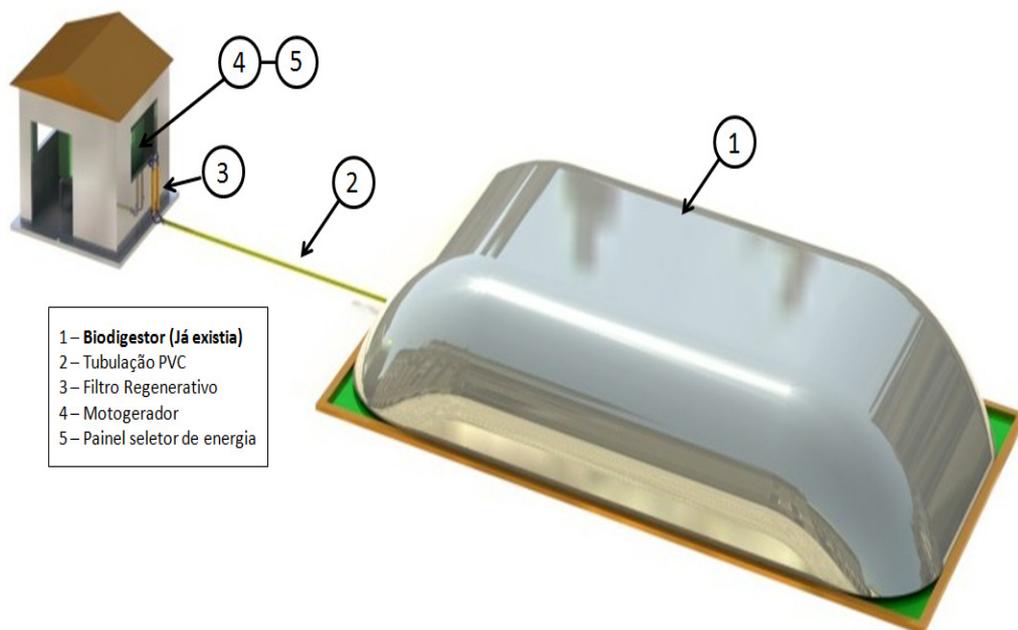


Figura 12: Layout do sistema dimensionado.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas com o dimensionamento do de um sistema para aproveitamento do biogás como proposto.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho final de curso apresenta o dimensionamento de um sistema para o aproveitamento do biogás existente nas pequenas propriedades rurais. Nele foram coletados dados referentes à quantidade de dejetos produzidos diariamente pela propriedade, para com isso calcular a capacidade de produção de biogás pela planta e definir a melhor tubulação para o transporte desse gás, foi realizado um levantamento dos equipamentos elétricos utilizados diariamente e com isso o cálculo do consumo energético que foi essencial para o dimensionamento proposto.

Através de uma revisão bibliográfica foi fundamentado um sistema que melhor se adaptou as condições da propriedade.

De forma geral pode-se afirmar que os objetivos propostos foram alcançados e a utilização do biogás como combustível na produção de energia elétrica em pequenas propriedades rurais é uma simples alternativa para a diminuição dos efeitos nocivos ao meio ambiente o que se soma a nova matriz energética composta de combustíveis renováveis.

Por outro lado a parte econômica nesses casos, onde a planta de produção do biogás é pequena e pelo custo desses equipamentos serem elevados, acaba não sendo muito animador, o que contribuem para que esses sistemas não sejam utilizados em maior proporção. Nessa propriedade específica o sistema dimensionado atuando por 6 a 8 horas diárias, levará 27 anos para atingir seu retorno financeiro, porém se o mesmo sistema atuasse 24 horas diárias o tempo de retorno cairia drasticamente para um pouco mais de 8 anos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Muitos estudos ainda podem ser realizados para o aprimoramento do sistema e conseguir que o investimento retorne rapidamente. Dessa forma apresentam-se sugestões possíveis para trabalhos futuros.

- Aumentar a produção de biogás para a propriedade conseguir gerar sua própria energia por um período de 24 horas;
- Aumentar a eficiência do moto gerador para que consuma menos combustível;
- Projetar um sistema para o armazenamento da energia elétrica excedente;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS SOCIECONOMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=340#>> Acesso em: 22 out. 2012.

BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R.; FILHO CASSAROTTO N. **Abordagem ambiental, energética e de sustentabilidade da produção: Um estudo de caso na geração de energia elétrica com biogás proveniente do tratamento de dejetos suínos.** Artigo apresentado no Congresso Internacional de Administração 2011. 19 a 23 de Setembro de 2011. Ponta Grossa PR.

BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS. Disponível em: <<http://biogasmotores.com.br/index.html>> Acesso em: 08 ago. 2012

BLEY Jr. Cícero. **Energias do Biogás.** Apostila do curso de atualização em energias do biogás. Modulo I. Introdução: Objetivos e contexto. 2010.

BLEY Jr. Cícero. **Agro energia da biomassa residual: Perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2a edição. Revista Itaipu Binacional/FAO. Foz do Iguaçu/Brasília. 2009.

BRANCOS PRODUTOS. Disponível em:<<http://www.brancoprodutos.com/produtosbranco> > Acesso em: 27 ago. 2012.

BRASIL ESCOLA. **Energia das Marés.** Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/energia-das-mares.htm> > Acesso em: 22 out. 2012.

BRASTUBOS. Disponível em: <<http://brastubos.com.br/produtos>> Acesso em: 25 ago. 2012.

CACHETO, Tamires Daniele Francisco. **Geração de energia elétrica através da biodigestão da vinhaça.** Araçatuba, SP. Trabalho de graduação apresentado ao curso de Tecnologia em Biocombustíveis. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. 2010. Disponível em: <http://www.fatecaracatuba.edu.br/suporte/upload/Biblioteca/BIO_2017701020007.pdf> Acesso em: 21 mar. 2012.

CASTRO, RUI M. G. **Introdução a energia eólica.** Apostila de energias renováveis e produção descentralizada. 3ª edição. Universidade Técnica de Lisboa. Março de 2007. Disponível em: < www.forma-te.com/mediateca/download.../14065-eólica-ed3.html> Acesso em: 26 mai. 2012.

CETESB. **Biogás: Projetos e pesquisas no Brasil.** São Paulo - SP. Companhia de tecnologia ambiental – CETESB, Secretaria do meio ambiente de SP. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.gov.br> Acesso em: 28 fev. 2012.

COELHO, S. T. et. al. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto.** Trabalho publicado e apresentado no XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE). Rio de Janeiro. 16 a 19 de Agosto de 2006. Disponível em: < http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/7_purefa.pdf > Acesso em: 08 ago. 2012.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** Cascavel – PR. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Paraná. Junho de 2006. Disponível em:

<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/coldedella.pdf>
Acesso em: 29 fev. 2012.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas - SP. Editora Unicamp, 2008. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/inte-biomassa_energia070814.pdf> Acesso em: 06 mar. 2012.

EMPRAPA. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Projeto de controle da degradação ambiental decorrente da suinocultura em Santa Catarina. PMNA II (Programa Nacional do Meio Ambiente II) Jun. 2006. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/doc115.pdf> Acesso em: 20 fev. 2012.

ER BR ENERGIAS RENOVAVEIS. Disponível em: <<http://erbr.com.br/default/>> Acesso em: 08 ago. 2012.

FRANÇA JR, Antonio Tavares de. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzindo numa estação de tratamento de esgoto**. Ilha Solteira – SP. Dissertação apresentada à faculdade de da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. 2008. Disponível em: <http://www.dem.feis.unesp.br/nuplen/downloads/dissertacoes/Analise_Aproveitamento_Energetico_do_biogas_Produzido_numa_Estacao_de_Tratamento_de_Esgoto.pdf> Acesso em: 27 fev. 2012.

FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2ª edição. Santa Maria - RS. Editora UFSM, 2010.

FIGUEIREDO, Natalie J. V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para a geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso**. São Paulo – SP. Trabalho de graduação interdisciplinar apresentado ao curso de Engenharia Mecânica. Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2009. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/Natalie.pdf>> Acesso em: 21 mar. 2012.

GASPAR, Rita 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**. Florianópolis – SC. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. 2003. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEPS4022.pdf>> Acesso em: 22 mar. 2012.

GODOY JR. et. al. **Dimensionamento de biogasodutos para o uso energético e saneamento ambiental do biogás**. Artigo publicado no I Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental (COLASSA). Foz do Iguaçu – PR. De 28 a 30 de Setembro de 2011. Disponível em: <<http://inbradess.org.br/wp-content/uploads/2012/01/t09.pdf>> Acesso em: 08 ago. de 2012.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps>> Acesso em: 20 out. 2012.

GRUPO FOCKINK. Disponível em: <<http://www.fockink.ind.br>> Acesso em: 08 ago. 2012

ICLEI. **Manual de aproveitamento do biogás: Aterros sanitários. Volume 1**. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para America Latina e Caribe.

Escritório de projetos no Brasil. São Paulo – SP. 2009. Disponível em:<www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf> Acesso em: 26 mar. 2012.

KANAFLEX. Disponível em: <<http://www.kanaflex.com.br/produtos>> Acesso em: 25 Ago. 2012.

LIMA, Paulo César Ribeiro. **Biogás da Suinocultura: Uma importante fonte de geração de energia.** Biblioteca digital da câmara dos deputados. 2007. Disponível em:<<http://bd.camara.gov.br>> Acesso em: 18 set. 2012.

MANSUR ALEXANDRE. **Quanto vale o futuro.** Revista Época edição verde, São Paulo, 18 de junho de 2012. Ideias, pag. 70 a 100.

OLIVEIRA, Rafael D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono.** São Carlos – SP. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo. 2009. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-26042010-091847/>> Acesso em: 27 fev. 2012.

PEREIRA, Fabio P. **2013 – Brasil a quinta potência mundial.** Revista Exame online. Publicação em 10 Jan. 2012 Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/rede-de-blogs/brasil-no-mundo/2012/01/10/2013-brasil-a-quinta-potencia-mundial/>> Acesso em: 29 fev. 2012.

PORTAL DA ENERGIA. **Energias Hídricas.** Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/energia-hidrica/>> Acesso em: 22 out. 2012.

PRETO, E. V.; MORTOZA G. L. **Geração de energia elétrica utilizando biomassa.** Brasília, DF. Trabalho final de graduação no curso de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília. Agosto de 2010. Disponível em:< <http://www.lippel.com.br/br/downloads/category/1-bioenergia.html> > Acesso em: 24 mar. 2012.

SANTAMARTA, José. **Las energias renovables son el futuro.** Revista World Watch 2004. Disponível em < <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>> Acesso em: 08 ago. 2012.

SILVA, Claudio A. B. Veloso e. **Limpeza e purificação do biogás.** Dissertação para obtenção de mestre em Engenharia Mecânica. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2009. Disponível em: <http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/263/1/msc_cabvsilva.pdf> Acesso em: 04 abr. 2012.

TIGRE. Disponível em: <<http://tigre.com.br/produtos>> Acesso em: 30 ago. 2012.

WHITE PAPER. **O mundo sustentável das energias renováveis.** Material didático digital. Edição 001. Março de 2011. Disponível em: <<http://www.instalacoeseltricas.com/download/energias%20renovaveis.pdf> > Acesso em: 20 ago. 2012.