

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTUDO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA
OPERAÇÃO DE BIODIGESTORES TUBULARES PARA A
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DA
SUINOCULTURA**

Marcelo Antonio Morais

Itajubá, dezembro 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Marcelo Antonio Morais

**ESTUDO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA
OPERAÇÃO DE BIODIGESTORES TUBULARES PARA A
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DA
SUINOCULTURA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

**Dezembro de 2012
Itajubá- MG**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

M792e

Morais, Marcelo Antonio

Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura / Marcelo Antonio Moraes. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2012.

92 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Biodigestor. 2. Biogás. 3. Dejetos suínos. 4. Bioenergia. I. Nogueira, Luiz Augusto Horta, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Marcelo Antonio Morais

**ESTUDO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA
OPERAÇÃO DE BIODIGESTORES TUBULARES PARA A
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DA
SUINOCULTURA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em
03 de dezembro de 2012, conferindo ao autor o
título de *Mestre em Ciências em Engenharia de
Energia*.

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Mauro Costa Monteiro

Prof.^a Dr.^a Regina Mambeli Barros

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

**Itajubá
2012**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido o dom da vida e pela graça de estar concluindo mais esta jornada.

A Nossa Senhora Aparecida, pela intercessão, por estar sempre mostrando as sendas do Senhor Jesus, sempre me envolvendo e protegendo com seu manto sagrado. “Nunca se ouviu dizer que alguns daqueles que têm recorrido a Vossa proteção, implorando a Vossa assistência e reclamando o Vosso socorro, fosse por Vós desamparado”.

A minha amada esposa Luana, pelo amor, carinho, incentivo e paciência inesgotável que teve comigo durante estes anos e, principalmente, a compreensão em minhas ausências.

A minha amada filha Maria Clara, que mesmo em sua singeleza de criança sempre me estimulou. Esta vitória também é sua.

A minha Mãe, seiva invisível que engenhou meu canto e meu grito. Tudo o que ousou saber e fazer germinou na reserva inesgotável da sua ternura, da sua força, e do seu saber. Obrigado Mãe. Deus a abençoe sempre.

Ao meu orientador prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira. Sinto-me lisonjeado e inefável por ter sido seu orientando. Sem seu precioso auxílio este trabalho também não seria possível.

A meus irmãos, que direta ou indiretamente contribuíram para que este momento pudesse acontecer. Deus os abençoe.

Aos amigos, pela força, incentivo e amor que me proporcionaram durante estes anos. “Quem tem um amigo tem um tesouro”.

Ao Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho por disponibilizar o espaço físico para implantação e todos os materiais que me levaram a realizar esse trabalho.

O que torna uma pessoa importante não é a posição que ela ocupa na sociedade, nem o dinheiro que ela possui, nem a autoridade que exerce. O que a torna particularmente bela e importante, querida e respeitada é a sua simplicidade, e a sua educação no falar e no agir.

Autor desconhecido

RESUMO

MORAIS, M. A. *Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura*. 2012. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

A suinocultura é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social. Todavia, é considerada uma atividade altamente poluente ao meio ambiente, devido ao despejo incorreto e sem o tratamento apropriado de seus resíduos, causando degradação ambiental e disseminação de doenças vinculadas pela falta de saneamento. O presente trabalho objetivou desenvolver um estudo experimental da produção de biogás utilizando biodigestores tubulares em pequenas e médias propriedades suinocultoras. O estudo foi desenvolvido no sistema de produção de suínos do IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, no qual conta com 56 matrizes em sistema intensivo de confinamento em ciclo completo. O sistema de tratamento de resíduos implantado foi constituído por dois biodigestores tubulares em paralelo de fluxo contínuo com capacidade total de 150 m³ por biodigestor e tempo de retenção hidráulica de 40 dias. Foram efetuadas medições diárias da temperatura, volume de resíduos e produção de biogás no qual observou durante o estudo uma temperatura média de 20,8°C; uma produção diária de resíduos de 7,78 m³; uma produção diária de biogás de 53,7 m³ e uma produção de gás por matriz instalada de 0,96 m³ por dia. Após o levantamento dos dados, realizou-se uma análise de viabilidade técnica e econômica utilizando três métodos de avaliação de projetos de investimento, o Valor Presente Líquido (VLP); o Pay Back e a Taxa Interna de Retorno (TIR) que apontaram o retorno do investimento no segundo ano, mostrando que a implantação dos biodigestores é um investimento no qual o retorno é rápido, tornando-se atrativo com a intensificação do uso do sistema. O trabalho mostrou que os biodigestores podem ser ferramentas adequadas para diminuir a poluição causada pelos dejetos suínos e agregar valor por meio do biogás e biofertilizante às pequenas e médias propriedades rurais. Além disso, sua utilização melhora a higiene e o padrão sanitário do meio rural, diminui a disseminação de doenças, melhora a qualidade ambiental e gera empregos e renda para população rural.

Palavras-chave: Biodigestor, biogás, dejetos suínos, bioenergia.

ABSTRACT

MORAIS, M. A. *Experimental study and economic evaluation of the operation of anaerobic digesters to produce biogas from swine waste*. 2012. 92p. Dissertation (Master's Degree in Energy Engineering) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012

The swine is an important activity in terms of economic and social views. However, it is considered a highly polluting activity to the environment, due to improper eviction and without the proper treatment of its waste, causing environmental degradation and the spread of diseases linked by poor sanitation. This dissertation aimed to develop an experimental study of biogas production using anaerobic digesters on small and medium swine farms. The research was developed in the swine production system of IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, in which there are 56 arrays in intensive confinement system in complete cycle. The implanted waste treatment system was constituted by two anaerobic digesters in parallel of continuous flow with total capacity of 150 m³ by digester and hydraulic retention time of 40 days. Daily measurements of temperature, waste volume and biogas production were made, in which it was observed during the study an average temperature of 20,8°C; a daily waste production of 7,78 m³ and a daily biogas production of 53,7 m³ and a gas production by installed matrix of 0,96 m³ per day. After the data collection it was carried out an analysis of technical and economic viability using three methods of investment projects, the Net Present Value (NPV), Pay Back and Internal Rate of Return (IRR) that showed the return of investment in the second year, showing that the deployment of biodigester is an investment whose return is fast, becoming attractive with the increased use of the system. The work showed that the biodigesters may be appropriate tools to reduce the pollution caused by waste swine and may add value through biogas and biofertilizer to small and medium rural areas. Furthermore, its use improves hygiene and rural areas sanitary standard, it decreases the spread of diseases, improves environmental quality and generates jobs and income for rural population.

Key-words: Biodigester, biogas, waste swine, bioenergy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Sequência metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão, com redução de sulfeto.	19
Figura 2.2 - Sistema descontínuo (batelada) de produção de biogás.	37
Figura 2.3 - Diagrama esquemático do Biodigestor tipo Contínuo.	38
Figura 2.4 - Biodigestor, Modelo Chinês.	39
Figura 2.5 - Biodigestor Modelo Indiano.	41
Figura 2.6 - Biodigestor de fluxo tubular ou do tipo marinha.	42
Figura 3.1 - Diagrama esquemático de implantação dos biodigestores.	55
Figura 3.2 - Trator com scraper iniciando a terraplanagem.	55
Figura 3.3 - Escavação dos biodigestores.	56
Figura 3.4 - Montagem dos biodigestores.	56
Figura 3.5 - Biodigestores já instalados e inflados com ar.	56
Figura 3.6 - Biodigestores em pleno funcionamento.	57
Figura 4.1 - Temperatura média durante os meses de experimento.	58
Figura 4.2 - Produção diária de gás em função da temperatura.	61
Figura 4.3 - Produção diária de gás em função da temperatura média (TM).	62
Figura 4.4 - Produção diária de gás por matriz instalada em função da temperatura média (TM).	62
Figura 4.5 - Produção diária de gás por animal equivalente em função da temperatura média (TM).	63
Figura 4.6 - Chuva de pedra.	64
Figura 4.7 - Biodigestores perfurados.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Produtos finais do processo de degradação anaeróbia.....	25
Tabela 2.2 - Concentrações e fator de inibição do processo de fermentação.....	26
Tabela 2.3 - Composição do biogás processado num biodigestor.....	29
Tabela 2.4 - Poderes Caloríficos com outros Gases.	30
Tabela 2.5 - Equivalências energéticas entre 1m ³ de biogás com outras fontes a outras fontes caloríficas.	32
Tabela 2.6 - Consumo do biogás em diferentes utilidades.....	33
Tabela 2.7 - Componentes do Biofertilizante.....	47
Tabela 3.1. Produção média de dejetos por diferentes categorias de suínos.....	53
Tabela 3.2 - Potencial de Produção de Biogás a partir de dejetos de suínos.	53
Tabela 3.3 - Volume de dejetos produzidos, de acordo com o tipo de granja.	54
Tabela 4.1 - Determinação do animal equivalente.	59
Tabela 4.2 - Concentração de sólidos dos resíduos	60
Tabela 4.3 - Médias da temperatura média (TM), produção diária de gás (GD), produção diária de gás por animal equivalente (G/NAEq.) e produção diária de gás por matriz instalada (GAS/MA) nos meses de fevereiro a junho de 2010 no IF sul de Minas – Campus.....	61
Tabela 4.4 - Valores estimados e observados durante o estudo	64
Tabela 5.1 - Descrição e custo dos materiais utilizados no projeto.....	67
Tabela 5.2 - Despesa anual com manutenção e operação dos biodigestores	68
Tabela 5.3 - Receitas obtidas com a implantação dos biodigestores.....	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 EXPOSIÇÃO DO ASSUNTO	11
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 BIOGÁS	16
2.2 CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS	28
2.3 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS	32
2.4 TECNOLOGIAS APLICADAS À PRODUÇÃO DE BIOGÁS	33
2.5 BIOFERTILIZANTE	44
2.6 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS.....	47
2.7 BARREIRAS E PROPOSTAS POLÍTICAS.....	49
3. ESTUDOS INICIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	52
3.1 ESTIMATIVA DO VOLUME DE DEJETOS.....	52
3.2 ESTIMATIVA DO VOLUME DE BIOGÁS GERADO	53
3.3 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E BOTIJÕES DE 13 KG DE GLP (GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO).	54
3.4 DIMENSIONAMENTO BÁSICO DO BIODIGESTOR.....	54
3.5 IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES.....	55
3.6 RESULTADOS E COMENTÁRIOS	57
4. AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR	58
4.1 MEDIÇÕES EFETUADAS.....	58
4.2 RESULTADOS E COMENTÁRIOS	60
4.3 COMENTÁRIOS COMPLEMENTARES	64
5. ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES ...	66
5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	66
5.2 ANÁLISE FINANCEIRA.....	68
5.3 RESULTADOS E COMENTÁRIOS	71
6. CONCLUSÃO.....	73
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
7. REFERÊNCIAS.....	76
ANEXO A – PLANILHA DE RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO	82
ANEXO B – CARGA DIÁRIA DE RESÍDUOS	89
ANEXO C – LAUDO DE ANÁLISE DO TEOR DE SÓLIDOS DO RESÍDUO	90
ANEXO D – MEDIDOR DE GÁS.....	91

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo expõe-se o assunto a ser tratado pela dissertação e estabelece-se o problema de pesquisa. São apresentados os objetivos a serem alcançados e a metodologia de estudo empregada, justifica-se a escolha do tema e relacionam-se as limitações que envolvem o estudo.

1.1 Exposição do Assunto

A suinocultura é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social, estando presente em 46,5% das 5,8 propriedades rurais existentes no país, empregando mão-de-obra tipicamente familiar e constituindo importante fonte de renda e estabilidade social para a população rural (TAKITANE, 2000).

O plantel efetivo de suínos no ano de 2010 foi de 38,957 milhões de unidades, aumento de 2,4% com relação ao ano imediatamente anterior. O Estado de Santa Catarina, com 20,1%, tinha o maior efetivo de suínos em termos nacionais, sendo que a Região Sul representava 47,9% do efetivo nacional. Aumentos significativos de efetivos foram constatados nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste, respectivamente, 7,6% e 6,6%. No mesmo comparativo, a Região Sul do País manteve estabilidade, assim como a Região Norte. O Estado de Santa Catarina teve queda de 2,1% no efetivo de suínos, enquanto Minas Gerais, outro importante estado no alojamento de suínos, registrou crescimento de 8,2% no comparativo com o ano de 2009 (IBGE, 2010).

Os problemas causados pela suinocultura ao meio ambiente estão principalmente relacionados aos dejetos dos animais, altamente poluentes. Os despejos incorretos e sem tratamento adequado, aliado às inadequações dos sistemas de manejo e armazenamento desses resíduos causam a degradação da qualidade ambiental da região e prejuízos para a população com a disseminação de doenças vinculadas pela falta de saneamento.

A produção de dejetos suínos, até meados da década de 70, não representava um fator muito preocupante, uma vez que a concentração de animais era relativamente pequena e o solo das propriedades suinocultoras tinha capacidade para absorver o volume de dejetos produzidos até aquela data, sendo que parte da produção era utilizada na forma de adubo orgânico (GASPAR, 2003).

A partir da segunda metade dos anos 70, a produção de suínos aumentou e, conseqüentemente, a de dejetos também. Com isso, a poluição de determinados mananciais de água brasileiros aumentou drasticamente, pois o déficit de oxigenação de uma fonte de água atingida pela contaminação de esgoto doméstico é muitíssimo menor do que o produzido pela contaminação com dejetos de suínos. As águas atingidas pela emissão de efluentes das pocilgas perdem, em pouco tempo, a capacidade de manutenção da vida da fauna e flora aquáticas (GASPAR, 2003). Conforme Von Sperling (2005), considerando-se uma unidade de produção na suinocultura como sendo $t_{\text{viva}\cdot\text{d}}$, produz-se uma vazão específica de esgoto de $0,2 \text{ m}^3/\text{unidade}$, com carga específica de 2 kg DBO/unidade , cujo equivalente populacional situa-se entre 35 a 100 [hab/(unidade/d)], com concentração de DBO entre 10.00 a 50.000 $\text{mg}_{\text{DBO}}/\text{L}$.

Segundo Lima (2001), um suíno adulto produz em média $0,27 \text{ m}^3$ de dejetos por mês. Isto fornece uma quantidade expressiva de dejetos produzidos nas regiões predominantemente suinocultoras. É preciso evitar que uma massa tão grande de dejetos continue a ser lançada nos mananciais d'água, pois comprometem a qualidade de vida das populações rurais e urbanas do país e a sobrevivência da fauna e da flora das regiões vizinhas a tais mananciais.

Uma das primeiras alternativas viáveis a serem empregadas na diminuição dessa forma de poluição talvez seja a racionalização da alimentação dos animais. Uma alimentação adequada dos suínos diminuirá não só a capacidade poluidora de suas fezes, mas também o volume diário emitido pelos mesmos. No entanto, tal procedimento reduzirá a produtividade.

Outra possibilidade de remanejamento do esterco suíno reside na sua utilização como biofertilizante. Os dejetos de suínos podem ser usados na fertilização das lavouras, trazendo ganhos econômicos ao produtor rural, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação, considerando a composição química dos dejetos, a área a ser utilizada, a fertilidade e tipo de solo e as exigências da cultura a ser implantada. No campo, por meio da determinação da densidade dos dejetos, é possível estimar a sua composição em nutrientes e calcular a dose adequada a ser aplicada para uma determinada cultura (GASPAR, 2003).

Embora todas estas medidas auxiliem muito na diminuição da contaminação dos rios por dejetos suínos, elas acabam se chocando com fatores restritivos importantes. Assim, a utilização de dejetos puros (sem sofrer transformação anaeróbia) como adubo não pode ultrapassar o limite máximo de absorção do solo da propriedade rural. A racionalização na alimentação dos animais, por outro lado, pode representar um custo que venha a tornar a

criação dos animais uma prática mais onerosa para o produtor, pois envolve, por exemplo, a contratação de um nutricionista que elabore a quantidade adequada de nutrientes, sais minerais e outros aspectos da dieta dos suínos (MIRANDA; et al., 1999).

Talvez uma das medidas mais eficazes no combate à poluição, associada à criação intensiva de suínos seja a implantação de biodigestores nas propriedades rurais criadoras desses animais. O biodigestor consiste, basicamente, em uma câmara fechada onde a biomassa, o volume de esterco suíno produzido, é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença do ar atmosférico, produzindo biogás e biofertilizante. Ressalte-se que o biodigestor é um aparelho destinado a conter a biomassa e o produto desta, o biogás. Por si só, o biodigestor não produz o biogás, mas cria condições para que as archaeas metanogênicas - que degradam a matéria orgânica produzindo o gás metano, atuem sobre os materiais orgânicos na produção deste combustível (GASPAR, 2003).

A energia tem contribuído de forma determinante para o desenvolvimento humano. Nos dias atuais, são cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e de produção, lazer e para promover o desenvolvimento econômico, social e cultural; contudo, a disponibilidade de recursos energéticos tem sido uma preocupação cada vez mais presente. Dentro deste contexto, as fontes renováveis de energia vêm ganhando incentivos para o seu desenvolvimento e aplicação, tornando-se uma alternativa atrativa para o atual contexto energético mundial.

A maioria das propriedades rurais já utiliza a energia elétrica fornecida pela rede de distribuição majoritariamente produzida pelas hidrelétricas. Este tipo de geração de energia, entretanto, resulta em grandes impactos negativos na natureza, haja vista a necessidade de serem alagadas grandes extensões de terras para a formação de reservatórios de água, terras estas que, em geral, são ocupadas por produtores rurais em plena atividade. O grande benefício trazido pela energia elétrica acaba anulado, em parte, pelos problemas sociais que acabam sendo gerados, pois os moradores das áreas inundadas precisam ser realocados e, em parte, pelos problemas ambientais, uma vez que as áreas cobertas pela água se tornam improdutivas, ao mesmo tempo em que a fauna e a flora da região são grandemente afetadas.

Neste sentido, o biodigestor apresenta-se também como fonte alternativa de produção e geração de energia. Evidentemente, a quantidade de energia produzida é, em geral, muito menor que a das hidrelétricas, devido, especialmente ao porte destas em relação ao número de biodigestores, mas em compensação, os impactos ambientais e sociais são reduzidos, a

produção de energia é barata, e o aproveitamento dos resíduos animais evita que estes sejam lançados no meio ambiente, poluindo-o.

Sem dúvida, os biodigestores anaeróbios são alternativas a serem consideradas, podendo ser uma solução bastante oportuna para cumprir o seu papel de dar aos pequenos e médios produtores rurais a possibilidade de reduzir custos, uma vez que os dejetos produzidos na propriedade são transformados em biogás que substitui outros combustíveis fósseis como o gás liquefeito de petróleo, gasolina, lenha e os resíduos deste processo ainda podem ser utilizados como biofertilizante, substituindo os fertilizantes químicos.

Nesse contexto, é de efetivo interesse estudar as condições para a implantação de biodigestores no tratamento de resíduos na criação intensiva de suínos.

1.2 Objetivos

Considerando o quadro anterior de potencialidades, importância e necessidades de aproveitamento desta biomassa, o presente trabalho pretende desenvolver um estudo experimental da produção de biogás utilizando biodigestores tubulares com resíduos de suínos, analisando a viabilidade de sua implantação em pequenas e médias propriedades suinocultoras.

Mais especificamente, esta dissertação tem como objetivos:

- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre o assunto;
- Descrever a biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos de suinocultura;
- Descrever a utilização do biogás;
- Instalar e operar um biodigestor tubular com resíduos de suínos;
- Acompanhar a produção diária de biogás e avaliar sua relação com a carga e temperatura ambiente;
- Avaliar a viabilidade técnica econômica do emprego de biodigestores na suinocultura.

1.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo introdutório são descritos o assunto a ser tratado, a problemática da pesquisa; traçados os objetivos; justificativa e como o trabalho é organizado.

O segundo capítulo aborda uma revisão bibliográfica sobre o assunto, apresentando os principais conceitos, aplicações e características de interesse da biomassa, do biogás e do biofertilizante, bem como as características, funções e modelos mais conhecidos de biodigestores. Também são apresentados as formas de utilização dos mesmos, além da descrição dos aspectos sociais e ambientais que este sistema de tratamento de resíduos traz às pequenas e médias propriedades suinocultoras.

No terceiro capítulo são apresentados os estudos iniciais para a implantação de um biodigestor em um sistema de produção de suínos, descrevendo o local da pesquisa, toda a metodologia aplicada e os resultados e comentários do estudo.

No quarto capítulo encontra-se descritos a metodologia eleita para a operação de um biodigestor, mostrando como foram realizadas as medições de temperatura, a vazão de resíduos e produção de biogás. Apresenta ainda, os resultados e comentários estudados no capítulo.

No quinto capítulo desenvolveu-se o estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação dos biodigestores, discriminando as despesas, receitas e os instrumentos financeiros utilizados para realização da análise de viabilidade investimento e por fim, os resultados e comentários deste capítulo.

No sexto capítulo são apresentadas as considerações finais, resumindo as conclusões obtidas pelo presente estudo e apresentando recomendações para trabalhos futuros que possam abordar este tema.

Por fim, são apresentados as referências e anexos que embasaram a realização deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos, aplicações e características de interesse da biomassa, do biogás e do biofertilizante, bem como as características, funções e modelos mais conhecidos de biodigestores. São apresentadas também, as formas de utilização dos mesmos, além da descrição dos aspectos sociais e ambientais que este sistema de tratamento de resíduos traz às pequenas e médias propriedades suinocultoras.

2.1 Biogás

Atribui-se o nome de biogás (também conhecido como gás dos pântanos) à mistura gasosa, combustível, resultante de fermentação anaeróbia da matéria orgânica (decomposição de matérias orgânicas, em meio anaeróbio, por archaeas denominadas metanogênicas). A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH_4), com valores médios na ordem de 55 a 65%, e por dióxido de carbono (CO_2) com aproximadamente 35 a 45% de sua composição, estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa.

A seguir apresentam-se elementos históricos do biogás relativos à sua descoberta e utilização discutindo-se em seguida aspectos da biologia da biodigestão anaeróbia e as características de utilização do biogás.

2.1.1 Histórico do biogás

A data de descoberta do biogás é do ano de 1667 (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999) e só um século mais tarde é que se volta a reconhecer a presença de metano no gás dos pântanos, atribuído a Alessandro Volta, em 1776. Já no século XIX, Ulysses Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m^3 de matéria (NOGUEIRA, 1986). Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia de Ciências, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão, de forma mais intensa e com finalidade energética foram à Índia e China (décadas de 50 e 60), sendo que esses países e outros, geralmente do terceiro mundo, desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores (NOGUEIRA, 1986).

Com a crise do petróleo na década de 70 foi trazida para o Brasil a tecnologia da digestão anaeróbia. Na região nordeste foram implantados vários programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era grande, porém os benefícios obtidos a partir do biogás e do biofertilizante, não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram satisfatórios (BOLETIM ENFOQUE, 1999).

Atualmente, esse processo vem se difundindo por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbio teve grande impulso com a crise do petróleo, quando diversos países buscaram alternativas para a sua substituição. Entretanto, como descreve Nogueira (1986), as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Assim, o impulso recebido no período de crise não chegou a constituir um sólido movimento de substituição dos recursos não renováveis por outras fontes renováveis.

Até pouco tempo, o biogás era simplesmente conhecido como um subproduto obtido a partir da decomposição anaeróbia de lixo urbano, resíduos animais e de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a alta acentuada do preço dos combustíveis convencionais tem encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes renováveis e economicamente atrativas, tentando sempre que possível, criar formas de produção energética que possibilitem a poupança dos recursos naturais esgotáveis (PECORA, 2006).

O primeiro documento relatando a coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbia ocorreu em uma estação de tratamento de efluentes da Inglaterra, em 1895, sendo que o primeiro estudo de aproveitamento em uma pequena planta, com uso de estrume e outros materiais, remontam de 1941, na Índia. Desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais (ROSS; DRAKE, 1996).

Villen (2001) discorre sobre digestão anaeróbica, salientando que na natureza existem vários ambientes favoráveis ao desenvolvimento desse processo, sendo representados pelos pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas.

Esses sistemas anaeróbios possuem concentrações baixas de oxigênio, facilitando a ocorrência da geração do biogás. Da observação casual da combustão natural desse gás na superfície de regiões pantanosas, o ser humano tomou ciência da possibilidade de produzir gás combustível, partindo de resíduos orgânicos.

Posteriormente, passou-se a desenvolver e utilizar esse processo fermentativo para o tratamento de esgoto doméstico, objetivando, principalmente, a mineralização da matéria orgânica. Isso ocorreu na metade do século XIX e o gás produzido era destinado à iluminação (PECORA, 2006). Além da via fermentativa de geração do metano, na qual o acetado é um precursor, existe também a via oxidativa (catabolismo oxidativo, em que o agente é o sulfato, o nitrato e o dióxido de carbono), que produz o metano em menor monta. No entanto, este é fundamental para o equilíbrio de hidrogênio no sistema, pois se dá a partir do dióxido de carbono (CO_2) e o Hidrogênio. No catabolismo oxidativo (respiração), a forma do carbono no produto final é o Carbono inorgânico oxidado (CO_2), cujo estado de oxidação é + 4. Já, na fermentação (catabolismo fermentativo), o carbono no produto final é carbono inorgânico oxidado (CO_2) e o carbono orgânico reduzido (CH_4). Neste último, o carbono encontra-se em seu estado de oxidação - 4 (podendo ser posteriormente oxidado, por exemplo, por combustão) (VON SPERELING, 1996)

No começo do século XX, ocorreu na Índia e na China, o início do desenvolvimento de biodigestores para a produção de gás metano a partir de esterco de animais, principalmente bovinos. Somente a partir de 1960, a digestão anaeróbia passou a ser pesquisada com caráter mais científico, havendo então, grandes progressos quanto à compreensão dos fundamentos do processo e também de projetos de biodigestores e equipamentos de auxiliares. Segundo Chambers e Potter (2002), a aplicação da digestão anaeróbia na América do Norte encontra-se predominante, na estabilização do lado do esgoto urbano e no tratamento anaeróbio de efluentes industriais e agropecuários.

2.1.2 O processo de biodigestão anaeróbia

A palavra biodigestão é derivada da palavra grega *bios*, que significa vida, e da palavra latina *digestione*, que significa digestão ou decomposição, ou ainda, transformação de matérias não assimiláveis, por outras assimiláveis pelos seres vivos.

A digestão anaeróbia é um processo segundo o qual, algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc, extraindo em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento. A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se por meio de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Só as archaeas anaeróbias metanogênicas produzem gás metano. Pertencem a quatro grupos morfológicos e são muito sensíveis à variações de temperatura, atuando numa faixa entre 10 a 45°C. São as chamadas bactérias mesofílicas. Essencialmente distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogênica. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou gás. A segunda é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono. O organismo anaeróbio não pode sobreviver enquanto tiver oxigênio. Por isso, no digestor não deve entrar o ar atmosférico. As reações bioquímicas principais que ocorrem no processo caracterizam os grupos de microrganismos predominantes, podendo o mesmo ser dividido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A Figura 2.1 são apresentados às sequências metabólicas e os grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia.

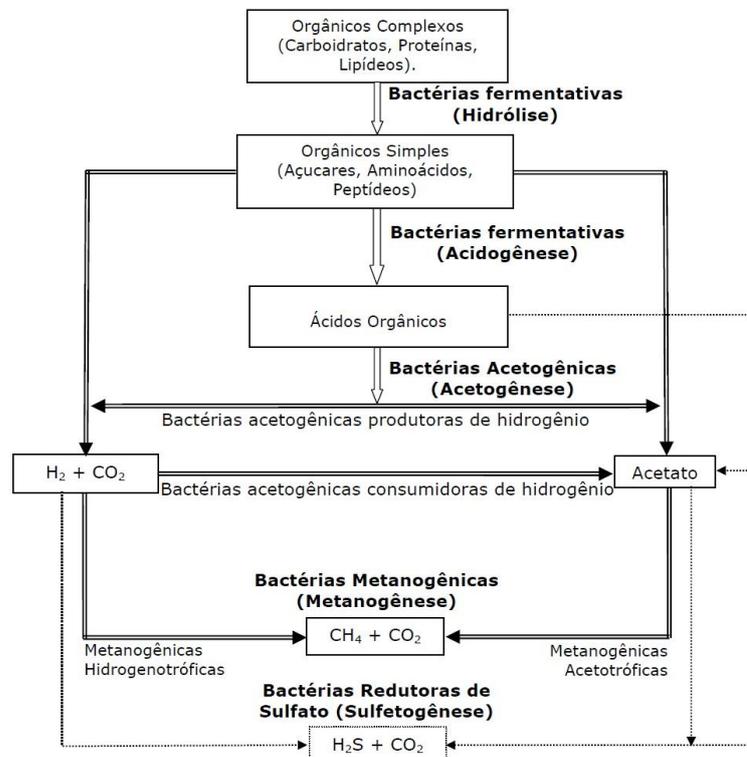


Figura 2.1 - Sequência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão, com redução de sulfeto.
Fonte: adaptado de SPEECE (1996) apud GALAVOTI (2003)

A produção de biogás também é possível a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas. Nesse caso, quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa pode ser usada como combustível, o qual além de seu alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo, um lodo que é um excelente biofertilizante (PECORA, 2006).

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000). Dependendo da eficiência do processo, influenciada por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

2.1.2A Aspectos Microbiológicos

No tratamento anaeróbio de efluentes, após a diminuição da quantidade de oxigênio, começam a predominar microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, podendo, porém, utilizá-lo. Segundo Foresti (1999), essas bactérias, primeiramente, convertem o material orgânico particulado em compostos dissolvidos, num processo, denominado hidrólise ou liquefação (primeira fase). Os polímeros orgânicos (glucídios, lipídeos, protídeos,...) de tamanho consideravelmente grande para penetrarem no interior das células bacterianas, podem somente ser degradados sob a ação de enzimas hidrolíticas extracelulares (celulases, hemicelulases,...).

Os oligômeros e os monômeros assim formados, de tamanho suficientemente pequeno para penetrar no interior das células, são então metabolizados. A passagem da membrana citoplasmática se faz por duas vias: difusão passiva segundo o gradiente de concentração ou por transporte ativo das proteínas membranáceas. No interior das células, estes substratos são metabolizados em função do equipamento enzimático da célula, em ácidos orgânicos, cetonas, álcoois, NH_3 , H_2 , e CO_2 é a fase de acidificação (segunda fase). De um ponto de vista bioquímico, percebe-se que a hidrólise e a fase ácida constituem duas etapas distintas (FORESTI, 1999).

Por outro lado, microbiologicamente, verifica-se que as bactérias não podem sobreviver somente da fase de hidrólise, visto que tudo acontece no interior da célula. São, portanto, as mesmas bactérias que realizam as duas fases, agrupadas por esta razão em uma só fase. Estas bactérias são anaeróbias estritas ou facultativas, porém na sua maioria são anaeróbias estritas. Esta segunda fase se caracteriza, portanto, por ser um processo bioquímico pelo o qual as bactérias obtêm energia para transformação da matéria orgânica hidrolisada (FORESTI, 1999).

Durante esta fase são produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis (AGV). Metabólitos finais das bactérias hidrolíticas acidogênicas são excretas das células e entram em solução no meio. Eles passam, então, a ser substrato das bactérias acetogênicas. As bactérias acetogênicas produzem o hidrogênio como metabólico obrigatório (em inglês, denominados OHPA – *obligate hydrogen acetogenic*). A existência destas bactérias foi mostrada por Cunha Bianchini Jr. (1967).

Na terceira fase (acetogênese), as bactérias acetogênicas desempenham um importante papel entre a acidogênese e a metanogênese. Bactérias acetogênicas, produtoras de hidrogênio são capazes de converter ácidos graxos com mais de dois carbonos a ácidos acéticos, CO_2 , H_2 que são os substratos para as bactérias metanogênicas. Nesta fase, o efluente possui alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), valor usado para indicar a concentração de matéria orgânica em um dado volume líquido. Os valores de DBO são superiores a 10 g/l. outro indicador de quantidade de compostos orgânicos em um líquido é a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (FORESTI, 1999).

A quarta e última fase, os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica, são consumidos por bactérias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH_4) e ao gás carbono (CO_2). Estas bactérias metanogênicas desenvolvem-se preferencialmente em valores de pH próximos do neutro (pH = 7,0) entre 6,8 e 7,3. Uma vez estabelecido este equilíbrio no pH, qualquer acúmulo de ácidos pode provocar uma queda na quantidade de bactérias metanogênicas, prejudicando o processo de decomposição dessa fase. Estando o pH próximo do neutro, reduz-se a solubilização de compostos inorgânicos (IPT/CEMPRE, 2000). Enquanto o consumo dos ácidos voláteis simples faz o pH subir, a DBO, por sua vez, começa a baixar, sobretudo pela competição entre as bactérias redutoras de sulfatos (BRS) e as metanogênicas.

2.1.2B Temperatura e Tempo de Retenção

A biodigestão anaeróbia tem sido observada entre 0°C até 97°C. O desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente, a produção de gás é função da temperatura do biodigestor. Três grupos de bactérias metanogênicas são identificados quanto à temperatura: bactérias termofílicas, para temperaturas maiores que 45°C; bactérias mesofílicas, em temperaturas entre 20 e 45°C e bactérias psicofílicas, para temperaturas menores que 20°C. A taxa de produção de gás aumenta com a elevação da temperatura, em termos gerais (NOGUEIRA, 1986).

Apesar da produção de gás ser elevada se o biodigestor operar na faixa termofílica, isto é raramente realizado porque a energia necessária para manter a temperatura adequada é maior que a correspondente vantagem para produzir gás. Além disso, as bactérias termofílicas são mais sensíveis às alterações das condições ambientes, o que impõe um sistema de controle mais caro, de modo a conseguir que a temperatura no biodigestor varie pouco. No contexto industrial, eventualmente tem-se resíduos orgânicos liberados à altas temperaturas, como é o caso do vinhoto, que sai da destilaria a aproximadamente 80°C, situação que pode viabilizar a faixa termofílica.

Em situações normais a faixa considerada é entre 5 e 40°C. Como na maioria dos processos biológicos, a taxa de produção de metano virtualmente dobra a cada aumento de 10 – 15°C da temperatura. A quantidade de gás produzido a partir de uma quantia fixa de resíduos orgânicos, também aumenta. Embora se espere que para uma dada quantia de resíduos orgânicos se produza uma quantidade constante de gás, a elevação de produção se justifica por um aumento da proporção de acetato convertido em metano em relação àquele incorporado pela célula bacteriana (NOGUEIRA, 1986).

Tem sido demonstrado que a faixa ideal de temperaturas, para a biodigestão, é entre 30 e 35°C. Esta é a faixa de temperatura que combina as melhores condições para o crescimento das bactérias mesofílicas e para a produção de metano, com o mínimo tempo de retenção da matéria orgânica no biodigestor.

Segundo Nogueira (1986), uma equação que relaciona a influência da temperatura à produção de gás é a seguinte relação aproximada: (Equação 1)

$$\frac{t}{t_0} = \theta^{(T-T_0)}$$

(1)

Onde: t – tempo requerido para atingir uma digestão tecnicamente completa, por exemplo, 90% do material orgânico digerido, a uma temperatura T ;

t_0 – tempo requerido para um digestão tecnicamente completa, a uma temperatura de referência T_0 ;

θ – declividade da reta que associe o logaritmo do tempo relativo de digestão à temperatura.

Um valor recomendável para θ , na faixa mesofílicas de 15 a 35°C é 0,948, para $T_0=15^\circ\text{C}$.

A sensibilidade da bactéria metanogênica não pode ser esquecida, seu metabolismo será severamente afetado por rápidas variações de temperaturas. Quando se coloca um digestor em operação, a temperatura não deve variar mais que 2°C por dia. Variações de 1°C já afetam a produção, quando em regime normal.

O tempo de retenção ou de residência é o período em que o material orgânico permanece no digestor, isto é, o tempo entre a entrada e saída do digestor. De acordo com a natureza do material no biodigestor, podem-se definir três tempos de retenção. Assim têm-se o tempo de retenção hidráulico, o tempo de retenção das células e o tempo de retenção dos sólidos. O tempo de retenção hidráulico é o período, geralmente em dias, que o líquido permanece no biodigestor (NOGUEIRA, 1986).

No caso de digestor tipo batelada, com carga e descarga única, é dado como o intervalo entre as operações de entrada e saída de material orgânico. Para biodigestores contínuos, em que há constantes cargas e descargas ao longo do funcionamento, o tempo de retenção hidráulica é dado por: (Equação 2)

(2)

$$TRH = \frac{VD}{VC} \text{ (dias)}$$

Onde: VD – Volume do digestor (m^3);

VC – Volume de carga adicionada por dia (m^3/dia).

O tempo de retenção de sólidos é o período em que a fração orgânica sólida permanece no digestor. Em sistemas biodigestores contínuos com agitação perfeita ou tipo batelada é igual o tempo de retenção hidráulica e em sistemas contínuos sem agitação (“*plug*”

flow”) é geralmente superior. O tempo de retenção das células é o tempo em que as bactérias permanecem no sistema. Apenas nos biodigestores munidos de dispositivos de fixação para bactérias, é que o tempo de retenção de células é maior que o tempo de retenção hidráulico (NOGUEIRA, 1986).

Geralmente, quando se remete o termo tempo de retenção do digestor, refere-se ao tempo de retenção hidráulico ou simplesmente TR, já que os outros são iguais ou muito próximos. O tempo de retenção é o principal fator de avaliação do desempenho e eficiência de um biodigestor.

O máximo tempo de retenção é aquele requerido para degradar toda a matéria orgânica, o que pode ser tão longo quanto a seis meses. Dessa forma, é necessário encontrar-se um compromisso que estabeleça qual a fração que se deseja biodigerir, de modo a aproveitar em um tempo razoável uma parcela considerável da matéria orgânica. O mínimo tempo de retenção, para o processo operar é em torno de 2 a 4 dias, valores menores não são possíveis, pois as archaeas metanogênicas se reproduzem muito devagar. Algumas bactérias aeróbias dobram de número em quase meia hora, mas as anaeróbias são mais lentas, pois retiram menos energia da matéria orgânica. As bactérias produtoras de metano dobram a cada 2 a 4 dias, ou mais, e se o tempo de retenção for menor que isso, as bactérias serão retiradas do sistema antes de se reproduzirem, estancando o processo. Não obstante, existem biodigestores que operam com tempo de retenção da ordem de horas, usando novos conceitos construtivos que estabilizam a população bacteriana (NOGUEIRA, 1986).

Segundo Nogueira (1986), recomenda-se adotar, para digestor contínuo, tempos de retenção de 20 a 30 dias. Isto dá bons resultados em digestores de grande ou pequeno porte. Caso a matéria orgânica adicionada já esteja solubilizada, a temperatura esteja em torno do valor ideal e a agitação seja perfeita, pode-se adotar tempos de retenção entre 5 a 10 dias. Observe-se que essas recomendações devem ser analisadas caso a caso, não se aplicando a digestores tipo batelada, em que há um intervalo inicial de operação, da ordem de uma semana, para iniciar a produção de gás.

2.1.2C Fatores que influenciam a geração de biogás

Os produtos intermediários da decomposição da degradação anaeróbia são os ácidos graxos voláteis (AGVs) e seus principais efeitos são o impacto sobre o pH quando existe acúmulo dos ácidos graxos voláteis, geração de poluição global da fase aquosa pelas matérias

orgânicas e ação complexante de certos metabolitos. Quanto aos metabolitos finais da degradação anaeróbia, pode-se verificar os principais na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Produtos finais do processo de degradação anaeróbia

Elementos constituintes de matéria orgânica	Produtos finais da biodegradação anaeróbia
H	H ₂ O, H ₂ S, CH ₄
C	CO ₂ , CH ₄
N	NH ₄
O	CO ₂
S	S ⁻ , H ₂ S
METAIS	Seus sulfetos

Fonte: JUNIOR, 2000.

Os principais efeitos são: a influência do CO₂, dos bicarbonatos e carbonatos sobre o pH do meio aquoso e sua capacidade ácido-básica, a possível insolubilização dos metais sob a forma de sulfetos muito pouco solúveis, a complexação do cobre pelos íons NH₄⁺ e a emissão eventual de maus odores (PECORA, 2006).

Resumem-se abaixo os principais parâmetros da digestão anaeróbia relacionados à produção de biogás:

a) Impermeabilidade ao ar

As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO₂).

b) Natureza do substrato

Os substrato nutritivos devem prover as fontes de alimentos aos micro-organismos (elementos químicos constituído o material celular e os necessários às atividades enzimáticas), particularmente os oligo - elementos, como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês. Em fortes concentrações, estes elementos têm um efeito inibidor sobre o processo de fermentação. Por outro lado, os elementos majoritários (carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre) têm uma importância fundamental no rendimento dos gases de fermentação. A tabela 2.2 mostra a concentração de inibição do processo de fermentação.

Tabela 2.2 - Concentrações e fator de inibição do processo de fermentação.

Íons	Concentração mg/l		
	Estimulante	Inibidora	
		Fraco	Forte
Sódio Na ⁺	100 a 200	3.500 a 5.500	8.000
Potássio K ⁺	200 a 400	2.500 a 4.500	12.000
Cálcio Ca ⁺	100 a 200	2.500 a 4.500	8.000
Magnésio Mg ⁺⁺	75 a 150	1.000 a 1.500	3.000
Nitrogênio NH ₄ ⁺	5 a 200	1.500 a 3.000	3.000
Sulfetos S ⁻		Menos de 200	200
Ni ⁺⁺ , Cr ₆ , Zn ⁺⁺ , zn ⁺⁺ , Pb ⁺⁺			100

Fonte: JÚNIOR, 2.000

c) Composição dos resíduos

Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Porém, existe uma carga, acima da qual o sistema entra em sobrecarga. Por exemplo, com relação ao acúmulo dos ácidos voláteis (AV), Nuvolari (2003) relacionou os principais motivos do acúmulo dos mesmos: sobrecarga orgânica (aumentos súbitos na carga orgânica aplicada); Sobrecarga hidráulica (aumentos repentinos na vazão, que incorram na lavagem das bactérias metanogênicas); sobrecarga tóxica (aumentos repentinos na concentração de compostos potencialmente tóxicos aos micro-organismo), além de outros fatores.

Na estimativa da produção de biogás outro fator a ser considerado é a diluição dos dejetos em função do desperdício de água utilizado na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros, pela entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos e pelo uso da lâmina d' água em alguns sistemas de produção (OLIVEIRA, 2005).

O grau de diluição dos dejetos pode ser determinado pela observação da matéria seca ou sólidos totais presentes. No entanto, o conhecimento da quantidade de sólidos voláteis (SV) na biomassa é muito importante, porque eles é que são fermentados para produzir biogás. Quanto maior for a produção de SV de uma biomassa, maior será a produção de gás, dentro de certos limites, pois dependerá da eficiência do sistema digestor. Segundo Nogueira

(1986), normalmente, para materiais orgânicos de origem vegetal, inclusive os estrumes, o teor de SV, que representa a fração sólida transformável em gás, é da ordem de 80% ou mais dos sólidos totais, que por sua vez, correspondem à fração excedente do material quando subtraído seu teor de água.

Os principais nutrientes (substrato) dos micro-organismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. A principal fonte de nitrogênio está nas dejeções humanas e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono. A produção de biogás não é bem sucedida, se apenas uma fonte de material for utilizada (PECORA, 2006).

d) Teor de água

O teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total (PECORA, 2006).

e) Temperatura

A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas archaeas formadoras de metano. Em torno 10°C esta atividade é muito reduzida e acima de 60°C as enzimas são destruídas pelo calor. Portanto, para a produção de biogás, a biodigestão anaeróbia desenvolve-se bem na faixa de 30°C a 40°C (bactérias mesofílicas), sendo otimizado à temperatura entre 35 e 37°C. Na faixa termofílica, a temperatura ótima está entre 57 e 62°C (bactérias termofílicas), e esta apresenta maior rendimento. Operando próximo à temperatura ótima há indícios de que os micro-organismos suportam melhor uma carga tóxica. (SOUZA, 1984 apud NUVOLARI, 2003). Porém, mais importante do que operar na faixa ótima de temperatura é impedir que ocorram variações bruscas de temperatura, pois esta afetam a população microbiológica presente no biodigestor.

f) pH

A concentração em íons OH⁻ no meio exterior tem um grande influencia sobre o crescimento dos micro-organismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases sucessivas: a primeira se caracteriza por uma diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e a segunda por aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade.

A redução do pH é devida à ação das bactérias acidogênicas, as quais liberam rapidamente ácidos graxos voláteis. As archaeas metanogênicas (que têm taxas de crescimento mais fracas que as primeiras) se instalam progressivamente e induzem a elevação do pH por meio da catálise do ácido acético. No caso de tratamento anaeróbio em biodigestores (processos contínuos), o pH permanece neutro (pH~7) (PECORA,2006).

2.2 Características do biogás

O Biogás é um gás inflamável produzido por micro-organismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar.

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre.

A presença do gás sulfídrico (H_2S) no biogás torna-o corrosivo; portanto, para seu uso adequado é necessário um tratamento. Este tratamento consiste em eliminar este gás sulfídrico por meio de uma lavagem com lixívia de Hidróxido de Potássio. O resultado será um sal que poderá ser adicionado ao biofertilizante para enriquecê-lo com enxofre e potássio (MARTINS, 2003).

Segundo o TECPAR (2002), outra maneira de remover o gás sulfídrico é através da utilização de esponjas ou limalhas de ferro e resíduos de serragem da madeira, formando assim, um filtro purificador. A serragem serve para absorver a umidade e evitar formação de blocos de ferro no interior do filtro, os quais impediriam a circulação do biogás dentro do purificador. O ferro metálico em contato com o gás sulfídrico reage formando sulfetos de ferro. Após certo período, todo o ferro é transformado em sulfeto; assim, o filtro perde sua capacidade de purificação, sendo necessária a renovação da carga do purificador.

Na produção do biogás existem vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia (TECPAR, 2002). Vantagens do aproveitamento energético do biogás de biodigestores:

- É um processo natural para tratamento de rejeitos orgânicos;
- Requer menos espaço que aterros sanitários;
- Diminui o volume de resíduo a ser descartado;
- É uma fonte de energia renovável;
- Reduz significativamente a quantidade emitida de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4), gases causadores do efeito estufa;

- Apesar do custo inicial, numa perspectiva em longo prazo o processo resulta numa grande economia, pois reduz gastos com eletricidade, transporte de botijão de gás, esgoto, descarte dos demais resíduos, etc.

As principais desvantagens seriam:

- Formação de gás sulfídrico, gás tóxico com cheiro desagradável;
- Dependendo do tipo de resíduo, a quantidade de biogás será maior ou menor, o que implica em uma possível etapa de tratamento do gás obtido, dependendo do uso dado ao mesmo;
- Custo extra de manutenção devido à escolha inadequada do material utilizado na construção do biodigestor, pois há formação de gases corrosivos (CETTO, 2002).

2.2.1 Composição química do biogás

A mistura dos gases que constituem o biogás é resultante do tipo de material orgânico degradado biologicamente. A tabela 2.3 a seguir mostra a composição média dos gases que formam o biogás:

Tabela 2.3 - Composição do biogás processado em um biodigestor.

Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Nitrogênio (N)	0.5 – 2.5
Oxigênio (O)	0.1 – 1
Acido sulfídrico (H ₂ S)	0.1 – 0.5
Amoníaco (NH ₃)	0.1 – 0.5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0.1
Hidrogênio (H)	1 – 3

Fonte: CASTANÓN, (2002).

O principal componente do biogás, quando se pensa em utilizá-lo como combustível, é o metano, que é um gás a ser considerado para geração de energia térmica, mesmo como combustível para motores de explosão. Segundo Alves (2000), a presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima

tornando-o menos eficiente; uma vez que, presentes na combustão de impurezas, o poder calorífico do biogás torna-se menor.

O biogás, devido à presença do metano, é um gás combustível, sendo o seu poder calorífico inferior (PCI) cerca de 5500 Kcal/m³, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60%. Segundo Barnett (1978), a queima de um m³ de biogás gera 5200-5900 kcal de energia térmica. Esta variação decorre de sua maior ou menor pureza, ou seja, maior ou menor quantidade de metano. O biogás altamente purificado pode alcançar 12000kcal por m³. Para fins de comparação, a tabela 2.4 que segue apresenta os PCIs de diferentes gases:

Tabela 2.4 - Poderes Caloríficos com outros Gases.

GÁS	P.C.I EM Kcal / m³
METANO	8500
PROPANO	22000
BUTANO	28000
GÁS DE CIDADE	4000
GÁS NATURAL	7600
BIOGÁS	5500

Fonte: ZACHOW, 2000

O biogás é um gás leve e de baixa densidade. Mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão, na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil. A sua baixa densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe um volume significativo e que a sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização (CASTANÓN, 2002). Sob uma pressão de 140 atm, o metano se liquefaz a 0 °C, enquanto que outros hidrocarbonetos mais pesados (como os gases componentes do GLP- propano, isobutano e butano) se liquefazem a baixas pressões (o propano se liquefaz a 80,7 atm; o isobutano a 3,2 atm e o butano a 2,2 atm).

Assim como os gases puros, as características do biogás dependem da temperatura e da pressão, variando com elas e com o teor de umidade. O fundamental, quando se trata de gases para fins de geração de energia é conhecer seu volume, seu poder calorífico e a própria umidade. O poder calorífico do biogás bruto é de cerca de 6 kwh/m³ – aproximadamente meio litro de óleo diesel, e o do gás purificado 9,5 kwh/m³. O poder calorífico líquido, entretanto,

depende da eficiência dos equipamentos empregados no uso energético do gás (COELHO et al., 2001).

Outro aspecto importante a ser considerado é a umidade presente no biogás, uma vez que tem influencia diretamente no processo de combustão, afetando a temperatura de chama, limites de inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e taxa ar – combustível do biogás.

Além da umidade, o volume de biogás, representado pelo peso específico (relação entre a sua densidade e a densidade do ar) é outro parâmetro importante quando se deseja manipular o gás para armazenamento (CASTANÓN, 2002).

O biogás, em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1%) não é tóxico, contrariamente, por exemplo, o gás de cidade, cujo teor neste gás, próximo dos 20%, é mortal.

Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biogás é muito corrosivo. O gás mais corrosivo desta mistura é o sulfureto de hidrogênio que ataca, além de outros materiais, o cobre, o latão, e o aço, desde que a sua concentração seja considerável.

Quando o teor deste gás é fraco, o cobre que se torna mais sensível. Para teores elevados, da ordem de 1% (excepcionais nas condições normais de produção do biogás) torna-se tóxico e mortal. A presença do sulfureto de hidrogênio pode constituir um problema a partir do momento em que haja uma combustão do gás e que sejam inalados os produtos desta combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre (SO_2) é extremamente nocivo, causando, nomeadamente, perturbações pulmonares. O amoníaco, sempre em concentrações muito fracas, pode ser corrosivo para o cobre, sendo os óxidos de azoto liberados durante a sua combustão, igualmente tóxicos. Os outros gases contidos no biogás, não suscitam problemas em termos de toxicidade ou nocividade (CASTANÓN, 2002).

O gás carbônico, em proporção significativa (35%), ocupa um volume perfeitamente dispensável e obriga, quando não suprimido, a um aumento das capacidades de armazenamento. O vapor de água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado.

O gás final será metano, um ótimo combustível, que tanto poderá ser utilizado a baixas pressões, em fogões e estufas como armazenados sob altas pressões em cilindros apropriados, que apresentem resistência à pressão similar àquela dos utilizados para engarrafamento de hidrogênio ou de oxigênio.

2.2.2 Equivalência entre o biogás e outras fontes caloríficas

O poder calorífico, no processo de comparação com outros combustíveis, não é um bom indicador, por que não leva em conta a eficiência de combustão que se deve considerar para cada caso. Combinado à eficiência usualmente alcançável com os poderes caloríficos, tem-se a fração realmente aproveitável e uma comparação adequada aos diversos combustíveis, bem como, a equivalência do biogás a outras fontes caloríficas (CASTANÓN, 2002). Cada metro cúbico de biogás equivale a uma determinada quantia de outro combustível, conforme indica a tabela 2.5. Os dados desta tabela levam em conta não apenas o poder calorífico, mas também, a eficiência média de combustão, variável em cada caso.

Tabela 2.5 - Equivalências energéticas entre 1m³ de biogás com outras fontes a outras fontes caloríficas.

ENERGÉTICO	Ferraz & Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Motta (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0, 613	0,61	0,70	0,6
Querosene(L)	0,58	0, 579	0,62	-	-
Óleo Diesel (L)	0,55	0, 533	0,55	-	0,6
GLP (kg)	0,45	0, 454	1,43	0,40	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-	-
Carvão Mineral (kg)	-	1, 538	0,74	-	-
Lenha (kg)	-	1, 428	3,50	-	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43		-	1,25	6,5

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3 Utilização do biogás

O biogás, em uma propriedade, pode ser utilizado de várias maneiras:

- no fogão a gás;
- na geladeira a gás ou querosene;
- no lampião a gás;
- no aquecimento de água;
- em motores térmicos;

- na substituição de energia elétrica em equipamentos cujo tempo de funcionamento não é contínuo; por exemplo, televisores, rádios, iluminação elétrica (TECPAR, 2002). CETEC (1982) cita o consumo de biogás em algumas atividades apresentado na tabela 2.6 a seguir.

Tabela 2.6 - Consumo do biogás em diferentes utilidades.

Utilização	Consumo
Cozinhar	0,33 m ³ /dia/pessoa
Iluminação com Lampião	0,12 m ³ /hora/lampião
Chuveiro a Gás	0,8 m ³ /banho
Incubador	0,71 m ³ /m ³ Espaço Interno/hora
Motor Combustão Interna.	0,45 m ³ /Hp/hora
Aquecedor Água a 100°C	0,08 m ³ /litro
Gerar eletricidade (1kWh)	0,62 m ³

Fonte: CETEC, 1982.

O transporte do biogás para seu uso final deve ser feito por uma bomba compressora de gás, caso o seu destino seja uma distância superior a 500 metros do local de produção. Isto é necessário uma vez que o biogás é produzido e armazenado sob baixa pressão (FERRAZ; MARRIEL, 1980). Considerando que usualmente o biogás é utilizado em lugar afastado do seu local de produção, o transporte por compressores de ar evita a formação de “barrigas d’água” nas tubulações causadas pelo vapor d’água presente no gás. A água condensa pela diferença de temperatura entre o interior da tubulação e o ar ou solo (quando estão enterradas) (TECPAR, 2002).

2.4 Tecnologias aplicadas à produção de biogás

Desde a década de 70, a suinocultura vem obtendo ganhos expressivos de produtividade. Este aumento deve-se a uma especialização da produção acompanhada de uma modernização no setor, com avanços tecnológicos na criação intensiva e confinada. Desse modo, permitindo um grande crescimento da suinocultura no país, promovendo uma produção mais eficiente e rentável. A consequência deste aumento de produtividade é uma movimentação econômica maior neste setor (TAKITANE, 2000).

O desenvolvimento da suinocultura industrial trouxe consigo a produção de grandes quantidades de dejetos que, pela falta de tratamento adequado, vêm se transformando em uma das maiores fontes poluidoras (LASLOWSKI, 2004).

Dentre as tecnologias aplicadas para o tratamento dos dejetos da suinocultura, o sistema de biodigestor é o mais vantajoso devido ao aproveitamento dos resíduos; este sistema pode agregar valor ao resultado dos subprodutos gerados pelo tratamento (MORAES, 1980).

2.4.1 Biodigestores

Segundo Magalhães (1986), o biodigestor é uma câmara na qual ocorre um processo bioquímico denominado digestão anaeróbia, que tem como resultado a formação de biofertilizante e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono.

2.4.2 História dos biodigestores

Na realidade, a história dos biodigestores não começou com a construção da primeira instalação operacional destinada à produção de gás combustível para um hospital em Bombaim, Índia, datada de 1857 (AVELLAR; CARROCCI; SILVEIRA, 2001).

A observação dos micro-organismos presentes nos resíduos sugeriu o emprego dos processos biológicos que utilizassem estes sistemas para a estabilização dos resíduos, propiciando inclusive, futuros estudos para o aproveitamento ou utilização da energia produzida a partir dos diversos substratos orgânicos. O processo propriamente dito iniciou-se por meio de sua aplicação no tratamento de esgotos domésticos.

Desde 1850, o desenvolvimento de tanques para sanar e reter os sólidos dos esgotos e, posteriormente, tentativas para se construir digestores para produzir metano a partir de esterco bovino, foram também desenvolvidos e aperfeiçoados. Em 1923, foi construída em São Paulo, a estação experimental de tratamento de esgotos do Ipiranga que permaneceu em operação até 1973.

Um primeiro fato importante ocorreu com a descoberta de metano como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes fechados, realizada por Alessandro Volta, em 1776, na Itália. Nesta mesma época, bases teóricas experimentais, no tocante à biodigestão

anaeróbia foram estabelecidas por vários pesquisadores em diferentes países como Fisher e Scharader, na Alemanha e Grayon, na França. Mas a principal contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi realizada na Alemanha por volta de 1920, por Karl Imhoff, que desenvolveu o Tanque biodigestor Imhoff (AVELLAR; CARROCCI; SILVEIRA, 2001).

Apesar disso, o grande avanço ocorreu em 1950, no interior da Índia, com o modelo de biodigestor indiano. Assim, quase meio milhão deles foi instalado com o objetivo de tratar o esterco, obter gás combustível e fertilizante.

A China, no auge da Guerra Fria, nas décadas de 50 e 60, investiu em uma política de descentralização energética, daí a busca por uma auto-suficiência em suas pequenas vilas. Assim, em 1972, os biodigestores chineses atingiram seu cume, com a instalação de aproximadamente 7,2 milhões de unidades.

A partir da Segunda Grande Guerra Mundial, com a escassez de combustível, a Alemanha construiu plantas de digestão anaeróbia na zona rural, utilizando, o gás produzido, em tratores. A repercussão dessa ideia, só voltou a ser considerada a partir da década de 70 devido à crise do petróleo, quando este processo passou a significar uma interessante fonte renovável de energia.

No Brasil, também só após os primeiros “choques do petróleo” em 1973, com a busca de novas “alternativas energéticas”, os biodigestores se alavancaram com o “Projeto Biogás” (projeto de difusão do biogás no meio agrícola brasileiro), lançado em 1977 pela EMATER (Empresa Brasileira de Tecnologia e Extensão Rural), que possuía como objetivo implantar cerca de 9.000 unidades. Tal projeto, apesar de ter implantado mais de 3.000 biodigestores em propriedades rurais, não atingiu seus objetivos, devido principalmente à insuficiência de investimentos do governo, ao agravamento da política governamental e amenização da crise do petróleo de tal época. Além disso, também houve influências negativistas, por meio da adoção lenta e difícil do meio rural, devido à mentalidade do homem do campo, e pela ausência de unidades biodigestoras comerciais já prontas para uso, fatos que continuam a acontecer neste início de terceiro milênio (AVELLAR; CARROCCI; SILVEIRA, 2001).

O uso de biodigestores de uma forma genérica apresenta as seguintes vantagens:

- Produção de energia (gás);
- Eliminação de poluentes (resíduos que afetam principalmente a água);
- Remoção de agente patogênicos;

- Fazem uso dos mais diversos resíduos de animais (esterco bovino, avícola, equino, suíno, etc.);
- Além também de resíduos vegetais (palha de feijão, trigo, arroz, soja, vinhoto), folhas de árvore, parreira, etc.);
- O metano gerado é um gás de alto poder energético, capaz de substituir a lenha, a gasolina e o gás (GLP);
- Pode ser usado como biofertilizante, aumentando a capacidade de retenção de umidade e desenvolvimento de micro-organismos no solo;
- Eliminação do mau cheiro, moscas e parasitas.

Genericamente, de acordo com sua utilização, os biodigestores podem ser classificados em três tipos:

1 - Biodigestores Industriais

2 - Biodigestores Urbanos

3 - Biodigestores Agrícolas (setores rurais)

O sistema que permite o mais eficiente funcionamento do biodigestor é constituído pelos seguintes componentes (MAGALHÃES, 1986):

- Tanque de entrada: local onde são depositados os dejetos;
- Tubo de carga: conduto através do qual se faz a introdução do resíduo no digestor;
- Digestor: tanque fechado onde se processa a fermentação da matéria orgânica;
- Septo: parede que divide e direciona o fluxo do resíduo dentro do digestor;
- Gasômetro: câmara em que se acumula o biogás gerado pela digestão anaeróbia;
- Tubo de descarga: conduto por meio do qual é expelido o resíduo líquido depois de fermentado;
- Leito de secagem: tanque onde é recolhido o resíduo líquido, que após a perda do excesso de água, transforma-se no biofertilizante;
- Saída do biogás: tubulação instalada na parte superior do gasômetro para conduzir o biogás até o ponto de consumo.

2.4.3 Tipos de biodigestores

Vários foram os sistemas de digestão concebidos, sendo impressionante o número de digestores diferentes que existem. No entanto, distinguem-se dois grandes tipos ou dois processos de digestores: os contínuos e os descontínuos.

A. Processo descontínuo (Batelada).

O biodigestor de batelada é modelo simples, próprio para produções pequenas de biogás. Este tipo de modelo recebe um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período adequado à digestão de todo o lote. Trata-se de um tanque de alvenaria, metal ou fibra de vidro, o qual é carregado, fechado e, depois de 15 a 20 dias de fermentação (isso em função ao tamanho do biodigestor), começa a produzir biogás. Depois de usar o gás, o biodigestor de batelada é aberto, descarregado, para logo limpar e carregar de novo, reiniciando o processo. É interessante e recomendável ter duas unidades. Quando um biodigestor começa a produzir, o outro é carregado, e quando acaba o biogás de um, o outro já começa a produzir (CASTAÑÓN, 2002). A Figura 2.2 apresenta o processo descontínuo de biodigestão.

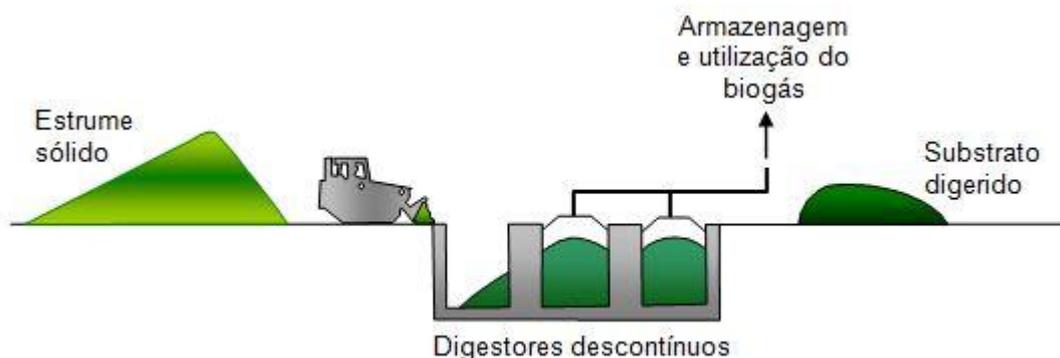


Figura 2.2 - Sistema descontínuo (batelada) de produção de biogás

B. Processo contínuo

Os biodigestores contínuos são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado, apresentado na Figura 2.3. Os modelos mais conhecidos de

biodigestores contínuos são o Indiano e o Chinês. Ambos são construções que possuem a sua maior parte abaixo do nível do solo.

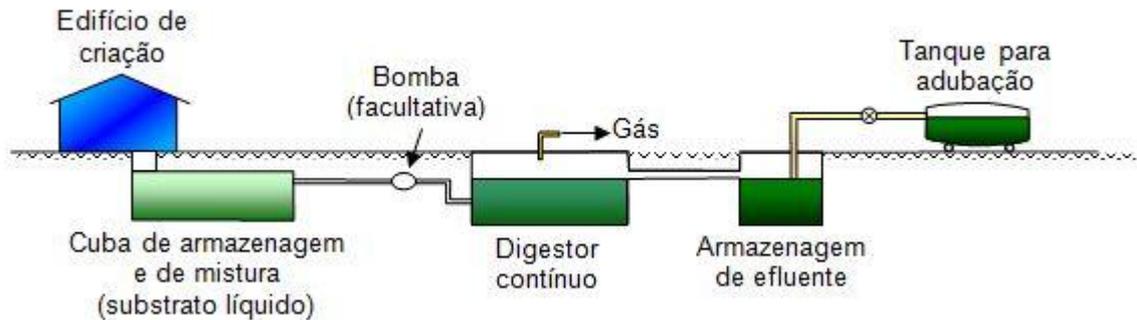


Figura 2.3- Diagrama esquemático do biodigestor tipo contínuo

Em um sistema contínuo, a matéria orgânica é introduzida na câmara de fermentação, com uma determinada taxa de diluição (a qual depende do tipo de matéria orgânica a fermentar), onde fica retida durante vários dias. O tempo de retenção resulta de certo compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de digestão que se pretende e a temperatura de funcionamento. Depois de carregada a cuba e iniciada a fermentação, impõe-se a estabilização do sistema. É importante a verificação de todos os parâmetros como o pH, temperatura, qualidade do efluente, produção e qualidade do gás. É de notar que a estabilização poderá ser demorada e exigir correções. Neste tipo de fermentação, é absolutamente necessária a agitação da matéria orgânica incubada, a fim de evitar a formação de crostas na superfície, a deposição de matéria no fundo, permitir uma homogeneização na concentração das bactérias e manter uma temperatura uniforme no interior da cuba. A produção de biogás é uniforme no tempo e a quantidade produzida é função do tipo de matéria orgânica utilizada (SGANZERLA, 1983).

A escolha de um sistema depende essencialmente das características do substrato, das necessidades de depuração, da disponibilidade de mão-de-obra e de condições de ordem econômica. Existem vários tipos de biodigestores, como:

- a) horizontais ou verticais;
- b) alvenaria ou concreto;
- c) plástico ou lona;
- d) metal ou fibra de vidro.

A seguir estão alguns exemplos de diferentes modelos de biodigestores rurais:

a) MODELO CHINÊS

Na China, o estudo do biogás começou por volta de 1900, sendo inventado em 1920 e somente patenteado em 1930. A difusão do uso do biodigestor iniciou-se em 1929-1930 em mais de 20 distritos. Em 1931, formou-se a Primeira Companhia de biogás em Xangai. A partir de 1934, iniciaram-se cursos de treinamento em escala nacional, atingindo maior grau de desenvolvimento na década de 70, devido ao apoio do Governo Central e a escassez de lenha para a combustão. Em fins de 1970, foram construídos modelos – piloto para divulgação do consumo de biogás do meio rural para a zona urbana. O rápido desenvolvimento ou a urgência no programa de divulgação e implantação dos digestores deveu-se à falta de lenha, ansiedade da população para melhoria das condições de vida, amplo apoio do Governo e, embora o carvão mineral, petróleo e o gás natural fossem abundantes, o problema de transporte tornou inviável seu fornecimento (CASTAÑÓN, 2002).

No modelo chinês a cúpula é fixa, de alvenaria, guarnecida por uma espécie de válvula, composta por uma tampa e pressionada por um depósito de água. A característica desse modelo exige que se esgote o gás com mais frequência, a fim de evitar o desperdício, apresentado na figura 2.4.

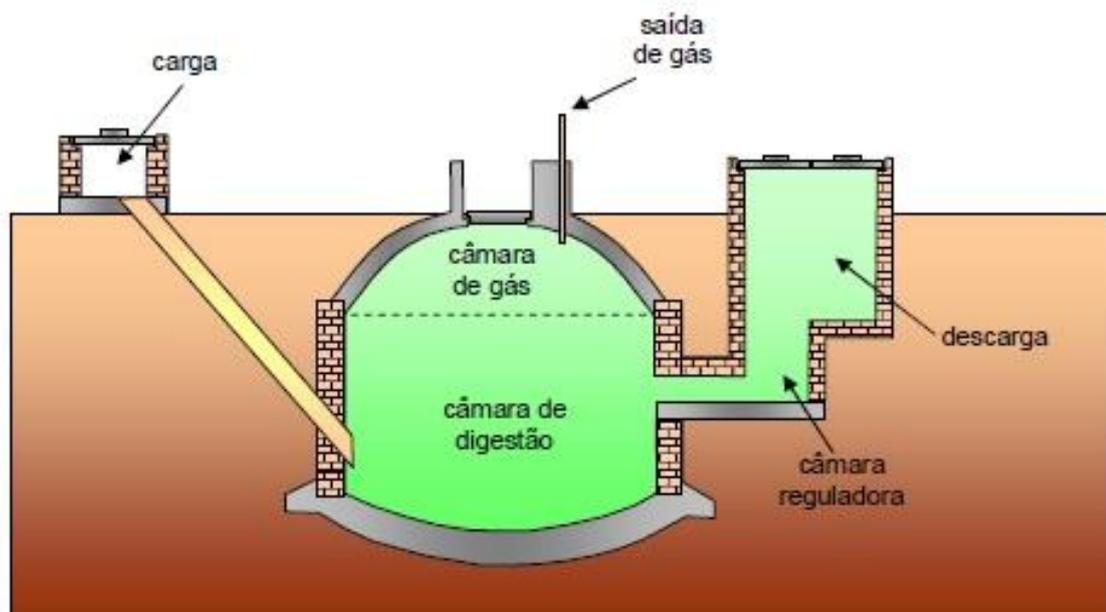


Figura 2.4 - Biodigestor, Modelo Chinês
Fonte: (CASTAÑÓN, 2002).

Vantagens:

- Este modelo tem um custo mais barato em relação aos outros, pois a cúpula é feita de alvenaria.

- O biodigestor chinês é o que ocupa menos espaço na superfície do solo.
- Como é construído completamente enterrado no solo (tanto o digestor, como o gasômetro), sofre muito pouca variação de temperatura.

Desvantagens:

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

b) MODELO INDIANO

As origens da produção do gás assim como sua utilização remontam ao ano de 1937. Em 1978, a Índia já apresentava um total de 75 mil unidades implantadas, sendo o modelo mais amplamente difundido o denominado GOBAR (esterco bovino). A primeira instalação em regime de batelada para a produção de biogás foi construída em Bombaim (1857). Intensivas pesquisas foram mais tarde conduzidas por S.V. Desal e Mr. Biswas que patentearam em 1946 uma unidade de geração de biogás a partir da decomposição de esterco bovino, inspirada em modelo alemão, sendo, portanto o primeiro digestor em regime contínuo de alimentação (CASTAÑÓN, 2002).

No modelo indiano, a cúpula vai subindo em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de gás a cúpula funciona como gasômetro. Seu peso acaba imprimindo certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por fixação de pesos especiais na cúpula de metal. Por meio desse sistema, imprime-se maior pressão quando for necessário aumentar a velocidade de saída do gás, conforme apresentado na figura 2.5.

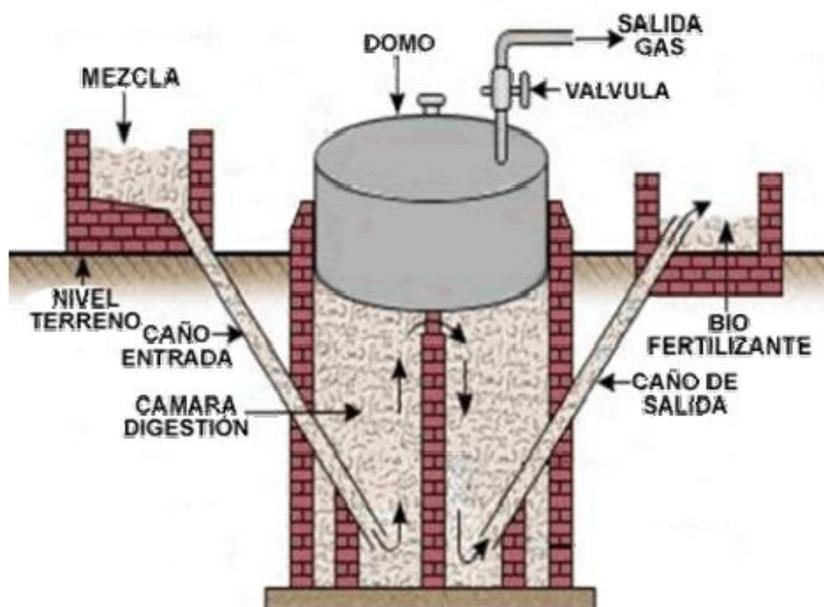


Figura 2.5 - Biodigestor Modelo Indiano
Fonte: (CASTAÑÓN, 2002)

Vantagens:

- O digestor do modelo indiano é construído enterrado no solo e, como a temperatura do solo é pouco variável, o processo de fermentação que ocorre em seu interior tem a vantagem de sofrer pouca variação de temperatura. A temperatura elevada favorece a ação das bactérias (responsáveis pelo processo de fermentação anaeróbia) e a sua queda provoca uma menor produção de biogás.
- Ocupa pouco espaço do terreno (em relação ao da marinha, a seguir), porque sua maior extensão é vertical.
- Em termos de custos, sendo as paredes de seu digestor construídas dentro do solo, o modelo dispensa o uso de reforços, tais com cintas de concreto, o que torna as despesas menos custosas.

Desvantagens:

- No caso em que a cúpula for de metal, ela está sujeita ao problema de corrosão. Para evitá-lo, recomenda-se fazer uma boa pintura com um antioxidante.
- O sistema de comunicação entre a caixa de carga e o digestor, sendo feito através de tubos, poderão ocorrer entupimentos.
- Sua construção é limitada para áreas de lençol freático alto, ou seja, não é um modelo indicado para terrenos superficiais, pois nestes casos, pode ocorrer infiltração.

As diferenças entre modelos chinês e indiano de biodigestores não são expressivas. O detalhe se refere à cúpula do gasômetro, região onde fica armazenado o biogás gerado pela fermentação; isto é, o biodigestor indiano tem cúpula móvel de metal, em que o gás é retido e a partir de onde pode ser distribuído. E o modelo chinês, uma cúpula fixa de alvenaria, uma câmara cilíndrica para fermentação, com o teto em forma de arco, onde o gás fica retido (CASTAÑÓN, 2002).

c) **MODELO DA MARINHA OU FLUXO TUBULAR**

No biodigestor tubular, também chamado *plug-flow* ou fluxo pistão, a biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e é descarregada na outra extremidade, na mesma sequência que entrou. O fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para garantir isso os biodigestores são longos, com uma elevada relação comprimento/largura, na qual a disposição longitudinal é mínima (VON SPERLING, 1996).

É um modelo tipo horizontal, tem a largura maior que a profundidade, sua área de exposição ao sol é maior, com isso é maior a produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão como mostra a figura 2.6. Devido a este fato também é conhecido como tipo lona. Pode ser construído enterrado ou não. A caixa de carga é feita em alvenaria, por isso pode ser mais larga evitando o entupimento. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza.



Figura 2.6 - Biodigestor de fluxo tubular ou do tipo marinha
Fonte: IFSMG – Campus Muzambinho

Vantagens:

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

Desvantagens:

- Neste modelo, como no indiano, tem-se o custo da cúpula.

2.4.4 Dimensionamento do Biodigestor

O volume do biodigestor deve estar de acordo com as necessidades energéticas da propriedade, com a capacidade de consumo do biogás produzido, com o número de animais existentes e com a área disponível para aplicação do biofertilizante.

Um método prático para estimar o volume do biodigestor é dado pela seguinte equação (3) (OLIVER, A. P. M. et al, 2010).

$$V_B = V_C \times T_{RH} \quad (3)$$

Onde:

V_B = Volume da câmara de digestão (m³);

V_C = Volume de carga (Vazão diária de dejetos em m³ / dia);

T_{RH} = Tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica.

Barrera (1993) caracteriza como tempo de retenção o tempo que o material passa no biodigestor, isto é, o tempo de entrada e saída dos diferentes materiais no biodigestor. Como a água, sólidos e células. O tempo de retenção varia de acordo com a temperatura e a eficiência do modelo de biodigestor adotado, mas em geral é de 22 a 60 dias (OLIVEIRA, 2005).

2.5 Biofertilizante

O biofertilizante é a sobra de biomassa que fica dentro do biodigestor depois que o biogás é produzido. Ao ser retirada e devidamente tratada constitui-se num excelente adubo orgânico para a fertilização do solo e, conseqüentemente, para o desenvolvimento das plantas. Pois, constitui uma fonte de macro e micronutrientes, sobretudo o nitrogênio e fósforo (principais componentes dos adubos industrializados). Além disto, tem grande facilidade de imobilização pelos micro-organismos no solo devido ao avançado grau de decomposição (FARIAS, 1958). Segundo Parchen (1981), os principais efeitos do adubo orgânico no solo são uma melhor estruturação, maiores capacidade de retenção-hídrica, atividade microbiana, solubilização dos nutrientes do solo e a redução nos processos de erosão. Por causa da ação das bactérias, Farias (1958) cita que o adubo orgânico se apresenta rico em nutrientes e isento de mau cheiro (com cheiro de terra limpa), possuindo excelente qualidade, não atraindo moscas e outros insetos, sendo livre de agentes transmissores de doenças. São reconhecidos os excelentes resultados que se obtêm pela utilização desse material como biofertilizante em culturas agrícolas. Opcionalmente, se for da conveniência do produtor, o adubo digerido pode ser bombeado ainda em estado fluido até o local de utilização e lançado ao solo sem nenhum inconveniente para as plantações (MORAES, 1980).

Desta forma, o uso do biofertilizante apresenta algumas vantagens, como:

- Não tem nenhum custo se comparado aos fertilizantes inorgânicos;
- Não propaga mau cheiro;
- É rico em nitrogênio, substância muito carente no solo;
- A biomassa que fica dentro do biodigestor sem contato com o ar, mata parte das bactérias aeróbias e germes existentes nas fezes e demais matérias orgânicas;
- Está livre dos parasitas da esquistossomose, de vírus da poliomielite e bactérias como a do tifo e malária;
- Recupera terras agrícolas empobrecidas em nutrientes, pelo excesso ou uso contínuo de fertilizantes inorgânicos, ou seja, produtos químicos;
- É um agente de combate à erosão, porque mantém o equilíbrio ecológico retendo maior quantidade de água pluvial; e,
- O resíduo da matéria orgânica apresenta uma capacidade de retenção de umidade pelo solo, permitindo que a planta se desenvolva durante o período da seca.

Por outro lado, vale destacar que a única desvantagem do uso de biofertilizante é a não eliminação da acidez do solo, causada pelo uso exagerado de fertilizantes inorgânicos, dificultando muitas vezes, a absorção, pela raiz, da água e de nutrientes do solo como o potássio e o nitrogênio que influenciam na germinação e crescimento da planta.

Vale ressaltar que vários estudos apontam o uso da biomassa como importante fonte energética do futuro, pois sua matéria-prima é renovável, ou seja, passa por ciclos. Desta forma, torna-se imprescindível aprimorar cada vez mais os estudos sobre essa fonte (SALOMOM, K. , R. ; FILHO, G. , L., T. , 2007)

2.5.1 Produção, Características e utilização do Biofertilizante.

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o interior do biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização. Este biofertilizante, aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. É possível, logicamente, usar adubos químicos em lugar da matéria orgânica, mas estes não podem suprir as qualidades físicas e biológicas fornecidas por aquela. Além disso, Sganzerla (1983) lembra que o excesso de adubação química causa mineralização do solo, ressecando-o, endurecendo-o e dificultando a entrada da água e do ar, o que provoca e facilita a ocorrência de erosão. Além disso, os sais, muito solúveis, destroem as bactérias que vivificam o solo, deixando-o indefeso, propenso a invasões por insetos, fungos, nematoides e vírus, entre outros, que causarão, certamente, danos às plantas. O agricultor lança mão, neste momento, do uso de defensivos agrícolas, os quais, além de poluírem o solo, eliminam os predadores naturais das pragas, criando a necessidade de novos defensivos serem aplicados, o que dá início a um ciclo vicioso, que só poderá ser quebrado com a aplicação de grande quantidade de matéria orgânica.

Percebe-se, portanto, a sensatez de se preservar a integridade físico-química e biológica do solo, pois a saúde deste resulta na saúde das plantas que o mesmo abriga.

A principal razão para a grande capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato da digestão da biomassa (no interior do biodigestor) diminuir drasticamente o teor de carbono presente na mesma. De acordo com Sganzerla (1983), isto ocorre porque, na biodigestão, a matéria orgânica, perde exclusivamente carbono sob a forma de CH₄ (Metano) e CO₂ (gás Carbônico). Além disso, há o aumento do teor de nitrogênio e demais nutrientes, devido à perda do carbono e, conseqüentemente, diminuição na relação C/N da matéria

orgânica. Com isso, os micro-organismos do solo (bactérias nitrogenadoras) conseguem um melhor índice de fixação do nitrogênio, além do fato do próprio biofertilizante conter alguns nutrientes já solubilizados. Com seu nível de pH (em torno de 7,5), o biofertilizante funciona como corretor de acidez, eliminando o alumínio e liberando o fósforo dos sais insolúveis do alumínio de ferro. Com a elevação do pH dificulta-se a multiplicação de fungos patogênicos.

A grande capacidade de fixação apresentada pelo biofertilizante evita a solubidade excessiva e a lixiviação dos sais, mantendo-os sob formas aproveitáveis pelas plantas, cujo delicado sistema radicular é o único capaz de desagregar estes nutrientes. O biofertilizante, ao contrário dos adubos químicos, melhora a estrutura e a textura do solo deixando-o mais fácil de ser trabalhado e facilitando a penetração de raízes, que conseguem absorver melhor a umidade do subsolo, podendo resistir mais facilmente a longos períodos de estiagem (SGANZERLA, 1983).

Outra vantagem advinda da aplicação de biofertilizante é que estes deixam a terra com uma estrutura mais porosa, permitindo maior penetração do ar na zona explorada pelas raízes. Com isso, a respiração dos vegetais fica facilitada e os mesmos obtêm melhores condições de se desenvolver. O gás carbônico presente no ar, ao circular melhor pelo solo, forma ácido carboxílico, o qual irá solubilizar sais que se encontram em formas insolúveis, facilitando sua assimilação pelas plantas (SGANZERLA, 1983).

O biofertilizante favorece a multiplicação das bactérias aos milhões, dando vida e saúde ao solo. A intensa atividade das bactérias fixa o nitrogênio atmosférico, transformando-o em sais aproveitáveis pelas plantas. As bactérias radicícolas - que se fixam nas raízes das leguminosas - têm seu desempenho e desenvolvimento melhorados (GASPAR, 2003).

Além dessas características de interesse, que aumentam muito a produtividade das lavouras, deve-se frisar ainda que o biofertilizante já se encontra completamente "curado", na expressão do campo, pois não sendo passível de nova fermentação, não apresenta odor nem é poluente e, com isso, não atrai moscas ou outros insetos. Ao contrário de outros tipos de adubos, o biofertilizante, segundo Sganzerla (1983), pode ser aplicado diretamente no solo, em forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais. O poder germinativo das sementes de plantas prejudiciais à lavoura, e que passaram incólumes pelos sistemas digestivos e excretor dos animais, é destruído pelos efeitos da biofermentação, não havendo perigo de que infestem as lavouras onde forem aplicados. A composição do biofertilizante varia de acordo com a biomassa utilizada, porém, análises têm mostrado os seguintes resultados médios. Na tabela 2.7 encontra-se a composição do biofertilizante.

Tabela 2.7 - Componentes do Biofertilizante.

COMPOSIÇÃO	QUANTIDADE %
pH	7,5
Matéria Orgânica	85
Nitrogênio	1,8
Fósforo	1,6
Potássio	1,0

Fonte: SGANZERLA, 1983

Depois de passarem no digestor, os resíduos sobranes apresentam alta qualidade para uso como fertilizante agrícola, devido principalmente aos seguintes aspectos: diminuição no teor de carbono do material, pois a matéria orgânica ao ser digerida perde exclusivamente carbono na forma de CH_4 e CO_2 ; aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes, em consequência da perda do carbono; diminuição na relação C/N da matéria orgânica, o que melhora as condições do material para fins agrícolas; maiores facilidades de imobilização do biofertilizante pelos micro-organismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição o que vem aumentar a eficiência do biofertilizante; solubilização parcial de alguns nutrientes (ZACHOW, 2000).

O biofertilizante pode ainda, depois de desidratado, ser utilizado para dar volume à composição de rações para animais.

2.6 Aspectos sociais e ambientais

No Brasil, os órgãos ambientais ainda não estão fiscalizando emissões de gases de efeito estufa, gerados em sistemas de tratamento de efluentes, embora haja levantamentos feitos por órgãos governamentais (ALVES, 1998).

O gás metano, principal componente do biogás, é o segundo gás em importância para o agravamento do efeito estufa sobre o planeta terra. O primeiro, pela quantidade produzida, é o gás carbônico. No entanto, o metano possui um poder estufa 21 vezes maior que o gás carbônico. A queima do gás metano o transforma em vapor d'água, calor e gás carbônico, este último, reciclado, pois foi absorvido pelo processo de fotossíntese na produção de cereais, transformados em ração, que alimentaram os animais.

Os ganhos sociais de um planejamento energético que contemple soluções de energia limpa como estas são evidentes e claros. Isto pode ajudar a resolver o problema da demanda elétrica e de aquecimento necessárias à auto-sustentabilidade das atividades deste setor importantíssimo para economia brasileira, como é a agroindústria, além de resolver os problemas ambientais intrínsecos. Segundo o IBGE (1996), se todos os produtores rurais com capacidade de instalação de biodigestores de produção de biogás para alimentar sistemas de geração distribuída o fizessem, tal produção de energia alternativa e barata equivaleria a duas usinas de Itaipu.

2.6.1 Benefícios Sociais

O desenvolvimento rural não significa apenas resultados econômicos para o país. Ele resulta também em benefícios sociais e econômicos para a população local e um eventual aumento nos respectivos índices de desenvolvimento humano (IDH). É muito importante desenvolver políticas governamentais mais adequadas em relação ao meio ambiente nas comunidades rurais, assim como desenvolver também uma política educacional para promover a consciência de desenvolvimento e aproveitamento dos rejeitos rurais na geração de biogás.

Ao se analisar os aspectos sociais e ambientais, devem ser considerados os benefícios e aspectos prejudiciais para o agricultor.

O uso e aproveitamento dos rejeitos rurais possibilitarão o aumento da eficiência e portanto, uma melhoria no desenvolvimento sustentável das populações rurais.

O uso dos biodigestores possibilita ao agricultor usufruir os seguintes benefícios:

- Substituição de gás liquefeito de petróleo (GLP) por biogás na cocção de alimentos, iluminação, aquecimento de granjas, etc;
- Substituição do uso de gasolina por biogás em motores estacionários de pequena potência;
- Utilização de biofertilizante na lavoura, com a conseqüente diminuição do uso de fertilizantes químicos;
- Melhoria da capacidade fertilizante do esterco. Todos os nutrientes tais como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio assim como os elementos menores são conservados no efluente. No caso do nitrogênio, boa parte do mesmo, presente no esterco em forma de macromoléculas é convertida a formas mais simples de amônio

(NH_4^+), as quais podem ser aproveitadas diretamente pela planta. Deve-se observar que nos casos em que o esterco é secado ao médio ambiente, perde-se aproximadamente um 50% do nitrogênio (HOHLFELD; SASSE, 1986);

- O efluente é muito menos odoroso que o afluente;
- Transformação de energia não convencional (biogás) em convencional (eletricidade);
- Estes equipamentos contribuem grandemente para a própria preservação dos recursos naturais, uma vez que permitem devolver ao solo o que dele foi retirado no processo de produção de alimentos;

Além disso, como qualquer outra atividade humana, a utilização de biomassa rural para a produção de energia elétrica certamente interferirá no meio ambiente, evitando os danos que ocasionarão o efeito estufa, já que se estará oxidando o metano no processo mencionado.

Pode ser bastante relevante o fato da biomassa produzida de modo sustentável, já que serve como um atenuador da emissão de metano ao meio ambiente, sobretudo quando se discute internacionalmente a penalização dos combustíveis fósseis com taxas crescentes com sua emissão específica de carbono ("carbon tax").

2.7 Barreiras e Propostas Políticas

O comodismo gerado pelas fontes centralizadas de energia: gás de cozinha, gasolina, óleo diesel, álcool e eletricidade fizeram com que a energia alternativa no meio rural não se desenvolvesse nas últimas décadas no Brasil. Um componente que também explica esta situação é o aspecto cultural no meio rural, que, somado ao baixo grau de instrução, forma um ciclo vicioso que dificulta a disseminação mais acelerada de novas tecnologias. Por outro lado, estas facilidades têm tido consequências, como receitas que saem da propriedade, diminuindo a viabilidade das atividades rurais/agroindustriais que possuam biomassa fermentável. Também se destaca a prioridade dada ao Pro-álcool em 1985 quando se retiraram incentivos de projetos e pesquisas para o biogás.

Outra explicação é o atraso tecnológico dos biodigestores no passado, e a falta de preparo de mão-de-obra para alimentar e operar os biodigestores, aliada a falta de acompanhamento técnico continuado.

A realidade atual mostra exemplos concretos do estado avançado e a capacidade de apresentar soluções confiáveis, e factíveis de implementação imediata, as quais demandam uma intensificação nos esforços para torná-las uma realidade em curto prazo.

Uma ferramenta de incentivo para auxiliar este processo de disseminação da tecnologia são os Fundos Setoriais do Governo, que uma vez adequadamente priorizados para tais aplicações, fomentarão em um curto prazo, a realização destes projetos no meio rural brasileiro. Isto não só propiciará a melhoria da qualidade de vida no setor, com redução nos custos de produção, mas também ocasionará preços mais competitivos no mercado internacional dos produtos da agroindústria (animais de corte e adubos), com aumento de divisas para o país. Além do que, acarretará a geração de empregos na indústria que se criará, em torno das atividades envolvidas, com a construção em escala de biodigestores, geradores elétricos e motores a gás, manutenção preventiva dos equipamentos, etc.

A legislação brasileira traz um arcabouço de leis ambientais que estruturam o país para o desenvolvimento sustentado e devem ser usadas efetivamente para tal. Partindo de preceitos Constitucionais, existe um conjunto de Leis Federais, Estaduais, Decretos, Regulamentos e Resoluções, as quais, mais do que o objetivo de regulamentação, pode criar um ambiente extremamente propício aos investimentos para um desenvolvimento limpo. Pode-se então citar:

- **CONSTITUIÇÃO FEDERAL (BRASIL, 1988).**

Art. 225 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

- **LEGISLAÇÃO FEDERAL INFRACONSTITUCIONAL**

Lei 6.938/81 – dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981).

Lei 9.795, de 27 de abril de 1999 – dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências (BRASIL, 1999).

Lei 10.438, de 26 de abril de 2002 – cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), entre outras providências (BRASIL, 2002).

Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007 – estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico (BRASIL, 2007).

Lei nº 225/2007 de 31 de Maio de 2007 (BRASIL, 2007). – Concretiza um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis previstas na estratégia nacional para a energia, estabelecida através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro.

Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, Institui a Política Nacional sobre a Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências (BRASIL, 2009).

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências (BRASIL, 2010).

- **DECRETOS**

Decreto 4.339, de 22 de agosto de 2002 – dispõe os Princípios e Diretrizes Gerais da Política Nacional da Biodiversidade (BRASIL, 2002).

- **RESOLUÇÕES CONAMA**

Resolução 5, de 15 de junho de 1989 – Instituiu o Programa Nacional da Qualidade do Ar - PRONAR (CONAMA, 1989).

Uma proposta de política nacional com base no gerenciamento do lado da demanda, pensando em aliviar o sistema interligado de transmissão e distribuição de energia elétrica já bastante sobrecarregada, poderia contemplar incentivos fiscais para os proprietários do setor rural que se propusessem a implementar biodigestores/geradores elétricos a biogás, para atender suas necessidades de aquecimento e de eletricidade. Outra possibilidade seria a de bancos como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), comprarem créditos de carbono do Banco Mundial criando uma bolsa para repassar ao setor rural financiando tais projetos alternativos de energias renováveis e limpas.

3. ESTUDOS INICIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS

Este capítulo descreve os procedimentos e explicações realizados para o dimensionamento básico e instalações dos biodigestores que foi realizado no Laboratório de Ensino, Pesquisa e Extensão de Produção Animal II – Suinocultura, do IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, no qual o modelo de biodigestor escolhido para a realização do estudo foi o de fluxo tubular também chamado *plug-flow*, o qual foi suficientemente detalhado no segundo capítulo. O Sistema de Produção de Suínos do Instituto Federal Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho, durante o experimento contava com 56 matrizes no sistema intensivo de confinamento em ciclo completo.

3.1 Estimativa do volume de dejetos

A quantidade de dejetos produzidos pelos suínos varia com o peso dos animais. Já a água ingerida pelos mesmos vai influenciar na produção de urina, fazendo variar a quantidade de dejetos líquidos. O suíno produz uma média de 2,3kg a 2,5kg de dejetos sólidos por dia. Os dejetos produzidos possuem elevado poder poluente e, por isso, necessitam de uma estocagem orientada (EMBRAPA, 2003). Conforme Oliveira (2004), na estimativa do volume de dejetos produzidos pelos suínos, deve-se considerar o número de animais presente nas diferentes fases de crescimento, sendo o volume total produzido o somatório do volume diário gerado pelos animais, em função da fase que pertencem.

Portanto, para estimativa do volume médio de dejetos produzidos em um sistema de produção de suínos, pode-se usar como valores de referência os dados citados na tabela 3.1. Esta tabela incorpora as perdas médias de água dos bebedouros tipo taça e chupeta, comumente usados nos sistemas de criação.

Tabela 3.1. Produção média de dejetos por diferentes categorias de suínos.

Categoria	Esterco kg/dia (Oliveira, 2004)	Nº médio de animais durante o experimento	kg estimado de dejetos/dia
Recria e terminação (63 a 147 dias)	2,3	180,58	415,33
Leitões (creche 21 - 63 dias)	0,35	211,05	73,87
Porcas reposição, cobrição e gestante	3,6	45,56	164,02
Porcas em lactação com leitões	6,4	10,57	67,65
machos (reprodutores)	3	5,62	16,86
Total		453	737,73

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, para se determinar o volume diário produzido, basta multiplicar o número de animais presentes em cada fase de crescimento ou classe pelas quantidades de dejetos média produzida pelos animais na fase ou classe correspondente. Sendo assim, o número total médio de animais durante o experimento tem uma produção estimada 737,73 kg de dejetos por dia.

3.2 Estimativa do volume de biogás gerado

Para a estimativa do volume de biogás, utilizou-se a metodologia com base nos dados de vários autores que determinou se a média para estimar o potencial de produção de biogás a partir de dejetos de animais conforme a tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Potencial de Produção de Biogás a partir de dejetos de suínos.

Referências	m³ de biogás/kg de dejetos de suínos
Kozen, 1983	0,05
Magalhães, 1986	0,07
Barrera, 1993	0,08
Lucas Júnior, 1994	0,10
Santos, 2000	0,08

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados dos autores mencionados na tabela 3.2, adotou-se 0,076 m³ de biogás/kg de resíduos de suínos. Considerando-se a produção diária estimada de resíduos que

é de 737,73 kg a suinocultura do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho tem potencial para produzir 56,04 m³ de biogás/dia.

3.3 Estimativa de produção de energia elétrica e botijões de 13 kg de GLP (gás liquefeito de petróleo).

Segundo Motta (1986), 1 m³ de biogás equivale a 1,25 kWh. Considerando-se a produção estimada de 56,04 m³ de biogás por dia, a suinocultura do IF- Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho tem potencial para produzir 70,05 kWh/dia. O mesmo autor menciona que 1 m³ de biogás equivale 0,40 kg de GLP e sendo a produção estimada de 56,04 m³ de biogás por dia da suinocultura deste Instituto, obtém-se um produção potencial para produzir 22,42 kg de GLP por dia o que equivale a 1,72 botijões de 13 kg.

3.4 Dimensionamento básico do biodigestor.

Para dimensionar o volume do biodigestor utilizou a equação (4).

$$V_B = V_C \times T_{RH} \quad (4)$$

Onde:

V_B = Volume da câmara de digestão (m³);

V_C = Volume de carga (Vazão diária de dejetos) m³/dia);

T_{RH} = Tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica.

O volume de resíduos diário (carga) é determinado de acordo com o nível de diluição e do tipo de produção da granja conforme a tabela 3.3 a seguir.

Tabela 3.3 - Volume de dejetos produzidos, de acordo com o tipo de granja.

Tipo de Granja	Nível de diluição		
	Pouca	Média	Muita
Ciclo Completo (l/matriz)	100	150	200
UPL* (l/matriz)	60	90	120
UTL** (l/matriz)	7,5	11,5	15

Fonte: Perdomo et al (1999); *Unidade produtiva de leitões; **Unidade terminadora leitões.

Considerando o nível de diluição média (150 l/ matriz) em ciclo completo, conforme tabela 3.3 e o número de 50 matrizes estima-se um volume de carga de 7500 l/dia e usando o tempo de retenção hidráulica de 40 dias, obtém-se o volume do biodigestor de 300 m³. Para facilitar a manutenção do mesmo, propõe-se que sejam construídos dois biodigestores em paralelo com capacidade de 150 m³ conforme demonstra a figura 3.1.

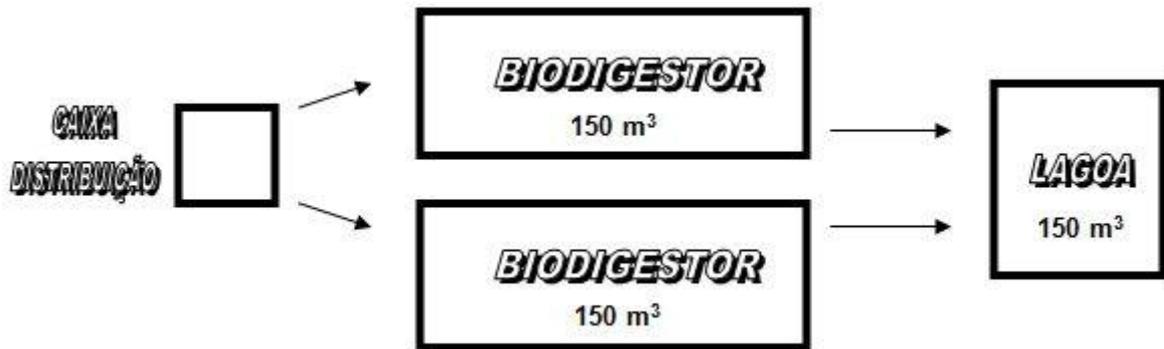


Figura 3.1 - Diagrama esquemático de implantação dos biodigestores
Fonte: Elaborado pelo autor

3.5 Implantação dos biodigestores

A instalação dos biodigestores contou com o auxílio de três técnicos da empresa SANSUY® e mais 16 funcionários do IFSMG –Campus Muzambinho. Este grande número de pessoas foi necessário devido ao peso de 745 kg do vinil dos biodigestores. A instalação foi concluída em 08 horas, conforme a previsão da empresa. Neste mesmo dia, todos os resíduos da granja foram direcionados para os biodigestores. As figuras de 3.2 a 3.6 mostram o processo de instalação dos biodigestores da terraplanagem até o início da produção de biogás.



Figura 3.2 - Trator com scraper iniciando a terraplanagem.



Figura 3.3 - Escavação dos biodigestores



Figura 3.4 - Montagem dos biodigestores



Figura 3.5 - Biodigestores já instalados e inflados com ar



Figura 3.6 - Biodigestores em pleno funcionamento

3.6 Resultados e comentários

No presente estudo foi estimada uma produção de 737,73 kg de dejetos por dia de acordo com o número de animais existente na granja que foi de 453 suínos. O volume total de resíduos foi estimado de acordo com o nível de diluição que segundo Perdomo *et all* (1999), o nível de diluição médio de resíduos para uma granja de ciclo completo é de 150 litros / matriz instalada. Então, o volume estimado dos resíduos do plantel de 56 matrizes em ciclo completo é de 7500 litros /dia ou 7,5 m³/dia. Esta quantidade de dejetos tem o potencial de produzir 56,04 m³ de biogás.

Segundo Motta (1986), 1m³ de biogás equivale 0,40 kg de GLP. Com a produção diária de 56,04 m³ de biogás/dia, obtêm-se 22,42 kg de GLP por dia, o que equivale a aproximadamente a 1,72 botijões de 13 kg, que poderá ser utilizado no refeitório, caldeira da agroindústria e aquecimento de leitões na granja do IF- Sul de Minas Gerais, Campus-Muzambinho, economizando assim, a utilização de gás GLP e lenha.

Os 56,04 m³ diários de biogás, além de serem utilizados *in natura* têm potencial para produzir 70,05 kWh, que poderão ser utilizados no Instituto nos horários de ponta, que é compreendido entre as 18 e 21 horas, em que o custo do kWh é mais elevado e nos horários fora de ponta; podendo assim diminuir os picos de consumo, que aumentam a quantidade de energia demandada ao sistema elétrico. Caso o Instituto não use a energia elétrica produzida, esta pode ser vendida à Concessionária.

O sistema de tratamento ainda tem potencial para produzir 150 m³ de biofertilizante por mês, que podem ser utilizados como fertilizante orgânico na área agrícola do mesmo Instituto, diminuindo os gastos com os fertilizantes químicos em torno de 30%.

4. AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR

Neste capítulo encontram-se descritos o estudo de avaliação da operação dos biodigestores que foi desenvolvido no sistema de tratamento de resíduos da granja de suínos do IF- Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho, em dois biodigestores tubulares paralelos de fluxo contínuo com capacidade total de 300 m³ por biodigestão e tempo de retenção hidráulica estimado em 40 dias. Foram realizadas medidas diárias da temperatura e da carga diária de resíduos, buscando avaliar os efeitos desses sobre a produção diária específica de biogás (m³/cabeça/dia). Os resultados encontrados durante o estudo podem ser observados na planilha do anexo A.

4.1 Medições efetuadas

a) Temperatura

A temperatura ambiente é uma variável de grande importância na produção de um biodigestor. Seu valor é significativo no processo de biodigestão anaeróbia, tendo sido suficientemente detalhada no segundo capítulo do presente trabalho.

No presente estudo foram tomadas leituras diárias dos valores de temperatura máxima ($T_{max.}$) e mínima (T_{min}) com termômetro analógico da marca *Incoterm*[®], que permitiram estimar a temperatura média neste dia conforme a figura 4.1 a seguir.

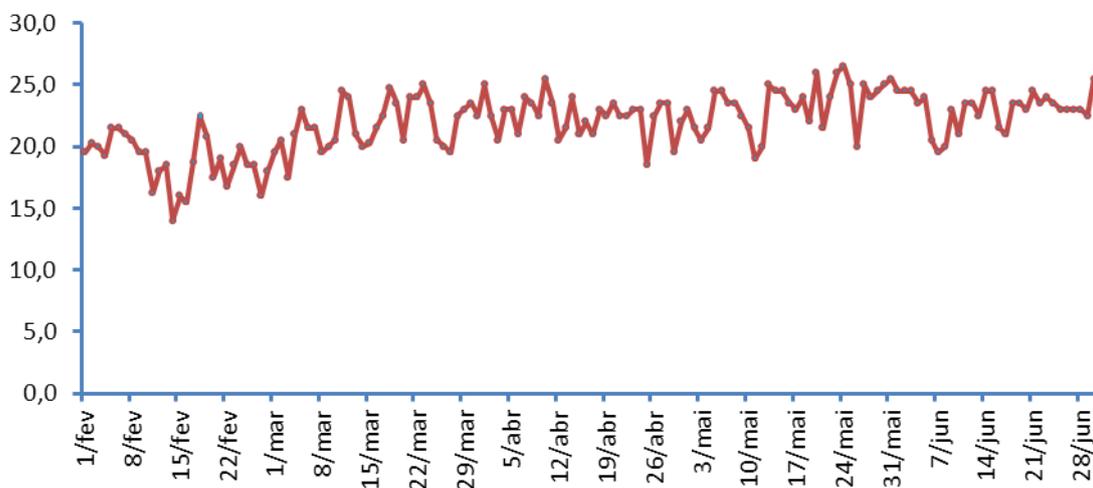


Figura 4.1 - Temperatura média durante os meses de experimento

b) Carga

A carga diária de resíduos foi determinada por meio da medição diária da vazão de resíduos durante 60 dias, na qual se obteve um volume médio de 7,78 m³/dia, cujo resultado podem ser observados no anexo B. Esse volume foi obtido em função de um manejo adequado dos suínos nas instalações. Nas fases de reprodução e maternidade, usou-se limpeza úmida três vezes na semana e os outros dias, realizou-se limpeza seca. Nas fases de creche, crescimento e terminação, usou-se limpeza seca realizando a limpeza total somente na saída dos animais.

A carga também foi associada ao número de animais na granja. Para homogeneizar tal número foi adotado um valor médio para o peso dos animais nos estágios de manejo de acordo com a eficiência de crescimento dos suínos com base em dados da Embrapa suínos e aves, na qual se determinou um animal equivalente, conforme a tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1 - Determinação do animal equivalente.

Animal	Peso Médio	Animal Equivalente
Reprodutores	250	1,25
Matrizes	200	1
0 a 21 dias	4	0,02
21 a 63 dias	14	0,08
63 a 147 dias	63	0,32

Fonte: Elaborado pelo autor

c) concentração dos sólidos dos resíduos

Outro fator a ser considerado, na estimativa da produção de biogás, é a diluição dos dejetos em função do desperdício de água utilizado na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros, pela entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos e pelo uso da lâmina d'água em alguns sistemas de produção (Scherer, *et al.*, 1996; Oliveira, 2005).

O grau de diluição dos dejetos, pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) e/ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os Sólidos Voláteis (SV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam entre 70 a 75% dos Sólidos Totais, para o caso dos dejetos dos suínos. Os SV, são os responsáveis diretos pela produção de biogás (Lucas Junior, 1994; La Farge, 1995; Centro para a Conservação de Energia, 2000;

Sanchez *et al.*, 2005). Sendo que, quanto maior for a concentração de SV na alimentação diária do biodigestor (kg/m^3), maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás.

A concentração de sólidos dos resíduos foi determinado através de análises no laboratório de bromatologia e água do IF- Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho, conforme pode ser observado no anexo C. Retiraram-se para análise os resíduos da caixa de entrada dos biodigestores, em que forem feitas cinco amostras chegando aos resultados demonstrados na tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2 - Concentração de sólidos dos resíduos

Amostra	Sólidos Totais (kg/m^3)	Sólidos Fixos (kg/m^3)	Sólidos Voláteis (kg/m^3)
A1	73,37	17,08	56,29
A2	72,94	17,55	55,39
A3	74,80	17,28	57,51
A4	70,77	17,11	53,67
A5	73,95	18,59	55,36
Média	73,17	17,52	55,64

Fonte: Laboratório de bromatologia e água do IFSMG – Campus Muzambinho

d) Produção (Vazão) diária de gás

A avaliação da produção diária do biogás foi realizada utilizando-se um medidor de vazão de gás fabricado, pelo Liceu de Arte e Ofícios de São Paulo (LAO INDÚSTRIA), modelo G4 LAO, cujo manual encontra-se no anexo D. Como a tubulação de saída de gás dos biodigestores sai de forma conjugada, realizou-se um desvio onde permitiu mensurar a vazão diária de biogás dos dois biodigestores ao mesmo tempo.

4.2 Resultados e comentários

Neste item são mostrados os resultados da pesquisa de campo. E para melhor visualização, os dados coletados foram passados para a forma de gráficos e tabelas, com vistas a auxiliar na análise da importância das opiniões emitidas.

A figura 4.2 mostra a produção diária de gás com relação à temperatura média desde o início das medições em agosto 2010 até o fim em junho. Percebe-se que houve uma

instabilidade na produção de biogás no início das medições até a estabilização aproximadamente em fevereiro.

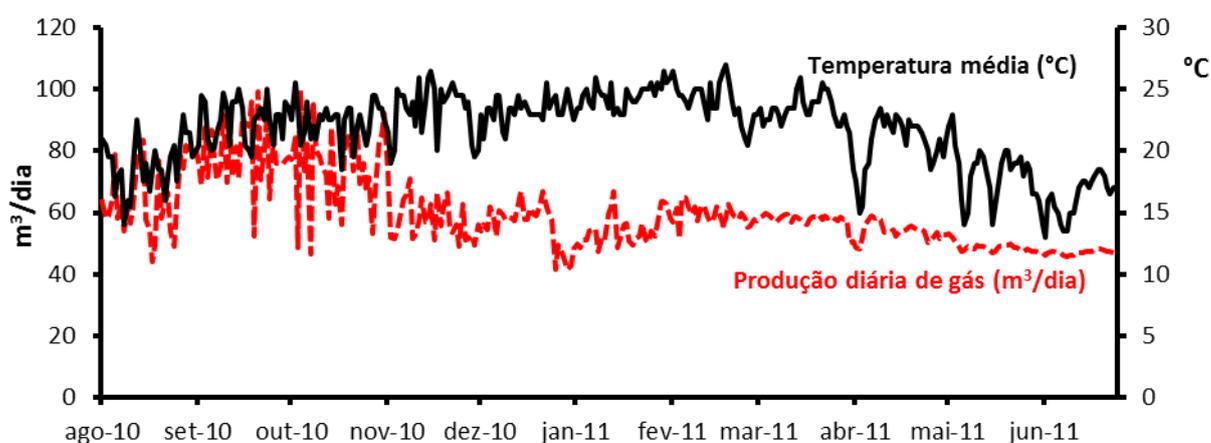


Figura 4.2 - Produção diária de gás em função da temperatura

Devido à instabilidade da produção de biogás, observado nas primeiras semanas, não foram considerados as medidas dos meses iniciais. Assim, considerou-se para a avaliação as medidas de fevereiro a junho de 2011, como mostrado nas figuras e tabela 4.3 a seguir.

Tabela 4.3 - Médias da temperatura média (TM), produção diária de gás (GD), produção diária de gás por animal equivalente (G/NAEq.) e produção diária de gás por matriz instalada (GAS/MA) nos meses de fevereiro a junho de 2010 no IF sul de Minas – Campus

MÊS	TM (°C)	GD (m ³)	G/NAEq. (L)	GAS/MA (m ³)
FEVEREIRO	24,82±0,22 a	59,59±0,0,64 a	431,97±5,58 a	1,025±0,012 a
MARÇO	23,31 ±0,22 b	58,07 ±0,21 a	446,88±2,65 a	1,092 ±0,005 a
ABRIL	21,07 ±0,39 c	54,52 ±0,55 b	413,05±4,38 b	0,983 ±0,012 b
MAIO	18,69 ±0,38 d	49,55 ±0,34 c	382,12±3,06 c	0,886 ±0,006 c
JUNHO	16,35 ±0,30 e	47,12 ±0,11 d	340,89±1,46 d	0,813 ±0,002 d
CV(%)	8,48	4,38	5,14	4,88

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).
CV (%) – Coeficiente de Variação.

A figura 4.3 a seguir mostra a produção de gás em função da temperatura média. Após os dados levantados obteve-se uma produção média de 53,7 m³ de biogás / dia e a temperatura média de 20,8°C. Pode-se observar que a produção de biogás aumenta com o aumento da temperatura.

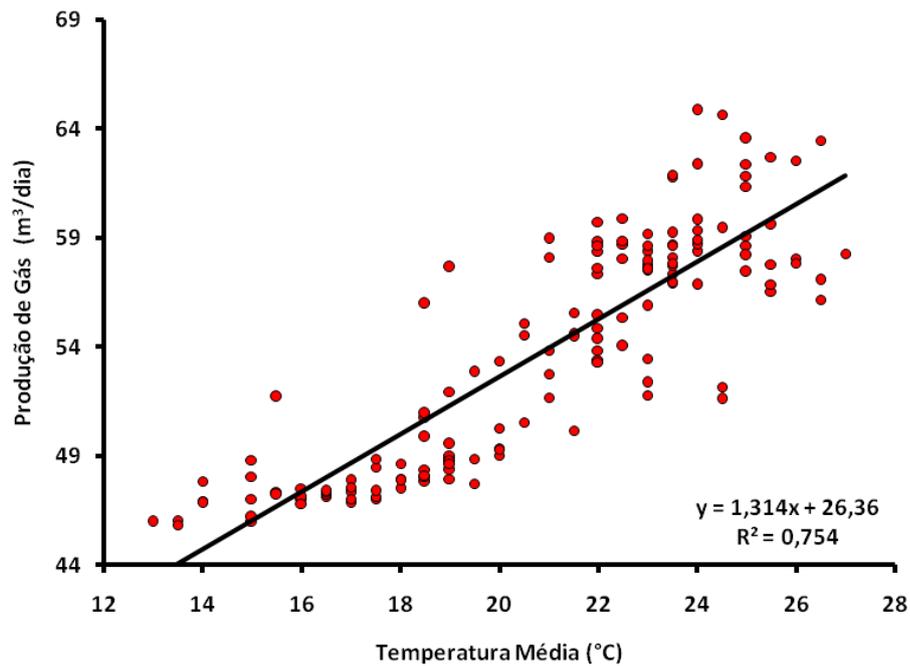


Figura 4.3 - Produção diária de gás em função da temperatura média (TM)

A figura 4.4 apresenta a produção diária de biogás por matriz instalada em função da temperatura média. Após a pesquisa de campo chegou-se a um resultado médio de 0,96 m³ de biogás/ dia/ matriz instalada. Observou-se que a produção de biogás também aumenta com o aumento da temperatura.

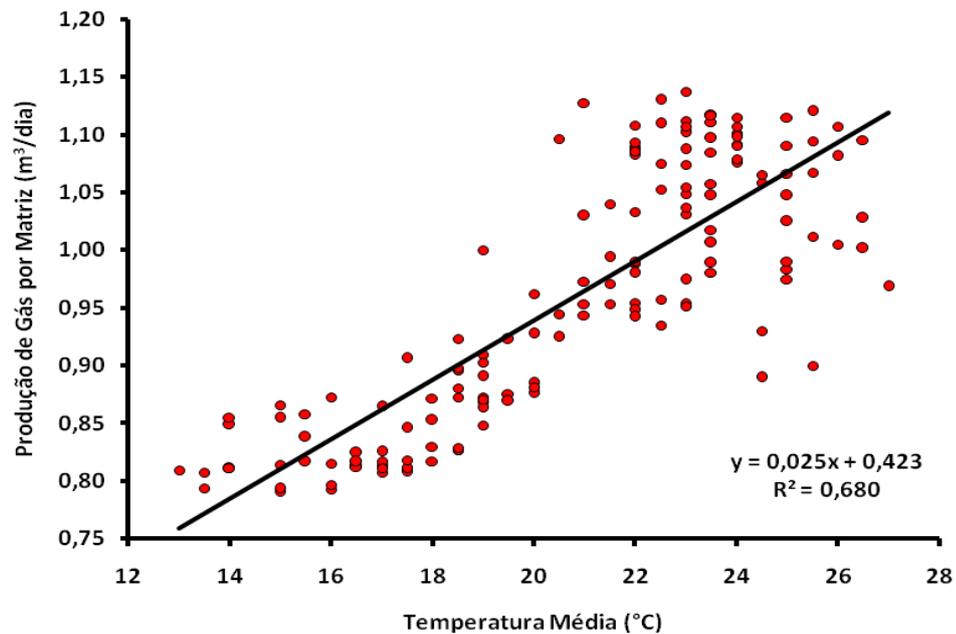


Figura 4.4 - Produção diária de gás por matriz instalada em função da temperatura média (TM)

A figura 4.5 a seguir apresenta a produção diária de biogás por animal equivalente em função da temperatura média. Após a pesquisa de campo, chegou-se a um resultado médio de 0,40 m³/dia de biogás/ dia/ animal equivalente. Observa-se que quanto maior o número de animal equivalente e a temperatura média, maior é produção de biogás.

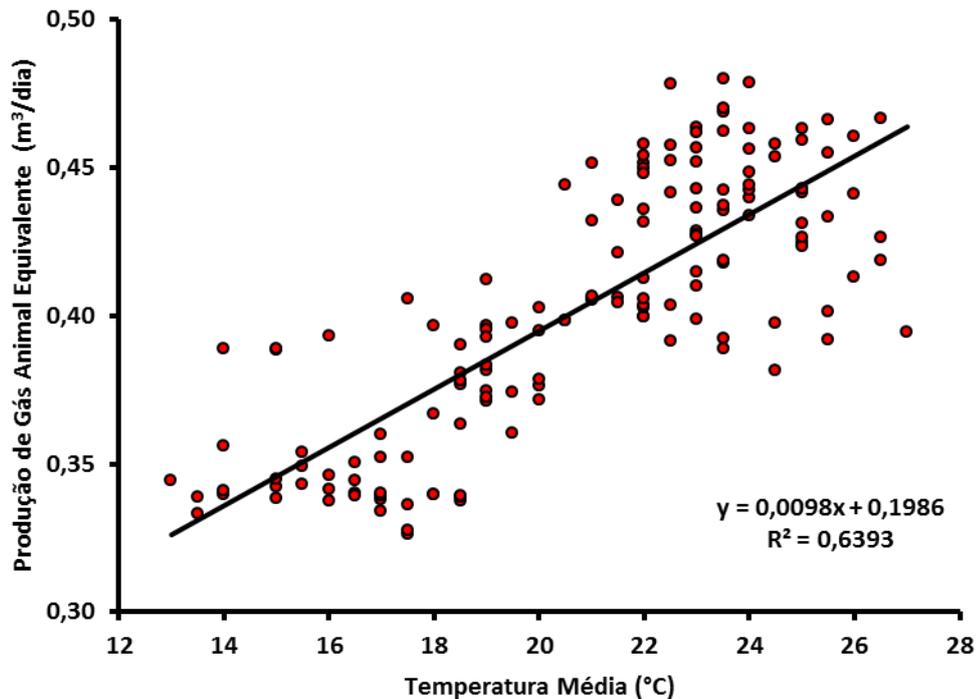


Figura 4.5 - Produção diária de gás por animal equivalente em função da temperatura média (TM)

O sistema de tratamento de resíduos implantado produz de 53,7 m³ de biogás/dia. Segundo Motta (1986), 1m³ de biogás equivale 0,40 kg de GLP e a 1,25 kWh. Com esta produção diária de biogás obtêm-se 21,48 kg de GLP por dia, o que equivale a aproximadamente a 1,65 botijões de 13 kg, o qual é usado *in natura* para o aquecimento de leitões em fase de creche, caldeira da agroindústria e usina de biocombustível, substituindo parte do consumo de GLP e lenha. Além de ser utilizado *in natura*, esta produção têm potencial para produzir 67,12 kWh, que poderão ser utilizados no Instituto nos horários de ponta, podendo diminuir os picos de consumo.

Além da linha de tendência linear dos gráficos, utilizou-se também a linha de tendência polinomial quadrática que apresentou ajuste similar.

A tabela 4.4 a seguir apresenta os valores estimados e os observados obtidos no trabalho de campo. Observa-se que houve pouca variação nos resultados quando comparados.

Tabela 4.4 - Valores estimados e observados durante o estudo

Fatores Estudados	Valores estimados	Valores Observados	Diferença
Volume diário total de resíduos (m ³)	7,50	7,78	0,28
Volume diário de resíduos sólidos (kg)	737,73*	737,73*	-
Volume diário de biogás (m ³)	56,04	53,7	2,34
Volume de biogás (m ³) /kg de dejetos	0,076	0,073	0,003
Produção diária de biogás/ matriz instalada	-	0,96	-
Produção de botijões de 13 kg de glp	1,72	1,65	0,07
Produção de energia (kWh)	70,05	67,12	2,93
Biofertilizante (m ³)	-	150	-
Temperatura média	-	20,8	-
Sólidos totais (kg/m ³)	49,43**	73,17	23,74
Sólidos fixos (kg/m ³)	10,40**	17,52	7,12
Sólidos voláteis (kg/m ³)	39,02**	55,64	16,62

Fonte: Elaborado pelo autor. * Valor obtido por meio do número de animais no plantel, usando a produção de resíduos sólidos, segundo Oliveira (2004). ****Fonte:** SILVA, 1996. Composição química média dos dejetos suínos obtida na unidade do sistema de tratamento de dejetos da Embrapa, Concordia - SC.

4.3 Comentários Complementares

No dia 12 de junho de 2011 o IF- Sul de Minas Gerais, Campus de Muzambinho foi atingido por uma forte chuva de granizo que perfurou os dois biodigestores do sistema de tratamento de resíduos da suinocultura do campus, conforme mostra as figuras 4.6 e 4.7. Este incidente interrompeu a operação dos biodigestores. Todavia, os dados que já haviam sido coletados foram considerados suficientes para o desenvolvimento do trabalho.



Figura 4.6 - Chuva de pedra



Figura 4.7 - Biodigestores perforados

5. ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES

Geralmente é aceito que o sistema de biodigestão anaeróbia em condições controladas pode reduzir o potencial impactante dos resíduos principalmente no ar e água e com a recuperação de uma quantidade significativa de energia utilizável. Porém, a discussão de construir e operar um sistema de digestão anaeróbia depende, em última análise, da possibilidade de recuperar o investimento de capital, com uma taxa de retorno razoável, e de manter qualquer financiamento da dívida durante a vida útil do sistema. Caso contrário, outras oportunidades de investimentos serão mais atraentes, a menos que a necessidade de benefícios de qualidade ambiental, como o controle de cheiros justifique a implantação do sistema (GRANT *et al* 1976).

Neste capítulo é desenvolvido um estudo de viabilidade técnica econômica do sistema implantado.

O presente estudo considerou os biodigestores instalados do laboratório de pesquisa e Extensão de Produção Animal II – Suinocultura do IF- Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho, em dois biodigestores tubulares paralelos de fluxo contínuo, com capacidade total de 300 m³ por biodigestão e tempo de retenção hidráulica estimada em 40 dias.

5.1 Análise de viabilidade técnica e econômica

A seguir são apresentados os investimentos, despesas e as receitas da implantação dos biodigestores e realizar-se-á a análise financeira, a qual determinará se a implantação do sistema é ou não viável.

5.1.1 Investimentos

O modelo de biodigestor empregado é simples, requerendo apenas terraplenagem do terreno, escavação para a câmara de fermentação, manta de PVC para revestimento (impermeabilização) do solo e cúpula de gás, uma caixa de fibra ou alvenaria para recebimento e distribuição dos resíduos nos biodigestores, tubos e conexões de PVC de 150 milímetros e um medidor de vazão para determinar a produção diária de gás.

Os investimentos fixos para a implantação dos biodigestores e demais equipamentos são apresentados na tabela 5.1 seguir.

Tabela 5.1 - Descrição e custo dos materiais utilizados no projeto

Item	Descrição	Quant.	Valor Unit.	Valor Total
1	Conjunto de biodigestor de laminado de PVC - capacidade 300 m ³	2	12.125,00	24.250,00
2	Conjunto de lagoa de lâmina de PVC – capacidade 300,00 m ³	1	5.000,00	5.000,00
3	Caixa em fibra de vidro especial c/ tampa (1.000 litros)	1	600,00	600,00
4	Tubo 150 mm x 6,00 m	10	135,10	1.351,00
5	Curva longa 90° 150 mm	2	127,48	254,96
6	Mão-de-obra	1	544,04	544,04
7	Medidor de vazão	1	268,74	268,74
8	Terraplanagem + escavação dos biodigestores		6.000,00	6.000,00
Total da Obra				38.268,74

Fonte: SANSUY, dez 2011

O valor relativamente elevado da terraplanagem se deve às condições do terreno que apresentava topografia irregular.

5.1.2 Custos com manutenção e operação dos biodigestores

Como custos de manutenção e operação dos biodigestores foram considerados 01 uma hora de mão de obra semanal no valor de R\$ 30,00, para verificação do funcionamento da caixa de entrada de resíduos e nas válvulas de segurança de gás. Ainda, considerou-se para transporte do biofertilizante para as áreas agrícolas do Instituto Federal 2 horas de trator com tanque por semana, onde a hora máquina em nossa região custa em torno de R\$ 100,00. A tabela 5.2 apresenta as despesas anuais estimadas para a manutenção e operação dos biodigestores.

Tabela 5.2 - Despesa anual com manutenção e operação dos biodigestores

Despesas	Quantidade	R\$/Semana	R\$/ Ano
Gasto com empregados	01	30,00	1.564,28
Gasto com transporte do biofertilizante	2 horas/semana	200,00	10.428,57
TOTAL			11.992,85

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.3 Receita anual com a implantação dos biodigestores

Como receitas, foram considerados o biogás convertido em botijões de 13 kg de glp, que em nossa região custa em torno de R\$ 40,00 e o biofertilizante usado nas áreas agrícolas com um custo de R\$ 10,00 o m³. A tabela 5.3 mostra a receita anual com os subprodutos, biogás e biofertilizante, produzidos pelo sistema de tratamento de resíduos do IF-Sul de Minas – Campus Muzambinho.

Tabela 5.3 - Receitas obtidas com a implantação dos biodigestores

Subprodutos	Quantidade	Receitas (R\$)
Biogás convertido em botijões de 13 kg de GLP	602,25	24.090,00
Biofertilizante (m ³)	1.800	18.000,00
TOTAL		42.090,00

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 Análise Financeira

Para a realização da análise financeira, foram utilizados três instrumentos: O Valor Presente Líquido (VPL), o *Pay Back* e a Taxa Interna de Retorno (TIR), detalhados logo a seguir. Como indicadores financeiros utilizaram-se as seguintes taxas de desconto: BM&F – Bolsa de Mercadorias e Futuros de 15% e BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, de 9%. Não foram considerados os valores residuais dos equipamentos, pois o sistema implantado tem garantia de 10 anos.

5.2.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é definido como o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração.

Os fluxos estimados podem ser positivos ou negativos, de acordo com as entradas ou saídas de caixa. A taxa fornecida à função representa o rendimento esperado do projeto.

Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, o que sugere que ele seja reprovado. Caso ele seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável.

Os quadros 5.1, 5.2 e 5.3 a seguir apresentam o valor presente líquido, utilizando as taxas de 15 % do BM&F e de 9 % do BNDES.

Quadro 5.1 - Valor Presente Líquido com a taxa de desconto de 15 % segundo o BM&F.

Ano	Despesas	Receitas	Total	BM&F(TAXA)	VPL (15%)
0	38.268,74	0	38.268,74		-38.268,74
1	11.992,85	42.090,00	30.097,15	1,15	26.171,43
2	11.992,85	42.090,00	30.097,15	1,32	22.757,77
Lucro	-	-	-		10.660,46

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 5.2 - Valor Presente Líquido com a taxa de desconto de 9 % segundo o BNDES.

Ano	Despesas	Receitas	Total	BNDES (TAXA)	VPL (9%)
0	38.268,74	0	38.268,74		-38.268,74
1	11.992,85	42.090,00	30.097,15	1,09	27.612,06
2	11.992,85	42.090,00	30.097,15	1,1881	25.332,17
Lucro	-	-	-		14.675,49

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 5.3 - Síntese dos cálculos efetuados para apuração do valor presente líquido

Ano	Despesas	Receitas	VPL (15%)	VPL (9%)
0	38.268,74	0	-38.268,74	-38.268,74
1	11.992,85	42.090,00	26.171,43	27.612,06
2	11.992,85	42.090,00	22.757,77	25.332,17
Lucro	-	-	10.660,46	14.675,49

Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro 03 mostra que o VPL é maior que zero para as taxas de 9% e 15% e, sendo assim, o investimento no projeto se mostra viável.

5.2.2 Pay Back

O Pay Back é uma ferramenta de análise de investimentos que determina quanto tempo é necessário para que a empresa recupere o valor investido. É o tempo entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento. É uma das técnicas de análise de investimento mais comuns que existem e sua principal vantagem em relação ao VPL consiste em que sua regra leva em conta o tempo do investimento e conseqüentemente, é uma metodologia mais apropriada para ambientes com risco elevado. Este método visa a calcular o número de períodos ou quanto tempo o investidor irá precisar para recuperar o investimento realizado. O quadro 5.4, a seguir, mostra o cálculo *Pay back* do projeto.

Quadro 5.4 – Cálculo do *Pay back*

MOMENTO	ENTRADA/SAÍDA DE CAIXA	SALDO
0	38.268,74	-38.268,74
1º Ano	30.097,15	-8.171,59
2º Ano	30.097,15	21.925,56

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com análise do quadro acima é possível constatar que o investimento inicial será pago em 01 ano e 03 meses sendo, portanto o projeto é viável.

5.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Como o próprio nome já sugere, a TIR mostra o retorno sobre o investimento. Gerencialmente, a TIR corresponde a taxa de lucratividade esperada de um projeto.

A TIR é a taxa de desconto que iguala o valor atual líquido dos fluxos de caixa de um projeto a zero. Em outras palavras, a taxa que com o valor atual das entradas seja igual ao valor atual das saídas.

Uma TIR superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) indica a tendência de aceitação de um determinado projeto, que pode ser um investimento empresarial, um

financiamento ou uma determinada aplicação financeira. Entende-se por TMA, a taxa mínima a ser alcançada em um determinado projeto; caso contrário, o mesmo deve ser rejeitado. É o rendimento mínimo de uma segunda melhor alternativa do mercado. A caderneta de poupança é um referencial que pode ser utilizado pelas pessoas físicas em seus investimentos. Para as pessoas jurídicas pode-se utilizar, por exemplo, a taxa de remuneração de títulos bancários, como os Certificados de depósito bancário (CDB).

Utilizando o método de tentativa e erros para encontrar a taxa de desconto que iguala os fluxos de caixa de 36,33% e com uma TMA de 15% a.a. a análise da TIR foi desenvolvida conforme mostra o quadro 5.5 a seguir.

Quadro 5.5 - Cálculo da TIR

	Saldo	Taxa	Valor
Investimento Inicial	- 38268,74	0	-38268,74
Entrada 1º ano	30097,15	1,363338	22076,07
Entrada 2º ano	30097,15	1,858690502	16192,66
Total Entradas			38268,74
TIR	36,33%		0

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando a TMA ou Custo de oportunidade e tendo como referência o rendimento da aplicação do mesmo valor no Certificado de Depósito Bancário (CDB), com uma remuneração prevista na ordem de 15% a.a. a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 36,3338% a.a. atesta a viabilidade do projeto apresentado.

5.3 Resultados e comentários

O cálculo do VPL mostra que tanto para a taxa de desconto de 15% a.a. , quanto para a taxa de desconto de 9% a.a. o retorno do investimento virá a partir do 2º ano. O que diferencia é o lucro após pagar o investimento que com a taxa de 9% é maior tornando-se é mais atrativo.

O Cálculo do *Pay back* mostrou que o investimento Inicial será recuperado em 1 ano e 3 meses.

Já a TIR, usando o método de tentativa e erros, para encontrar a taxa de desconto que iguala os fluxos de caixa de 36,33% e com uma TMA de 15% a.a. mostram também que no

segundo ano, a taxa que com o valor atual das entradas é igual ao valor atual das saídas, atestando a viabilidade do projeto apresentado.

Percebe-se que é um investimento no qual o retorno é atrativo, o que torna a implantação dos biodigestores viável. O grande problema é investimento inicial que, para os pequenos produtores, é considerado alto.

6. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre a utilização e operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura em pequenas e médias propriedades suinocultoras. São apresentados também recomendações sobre a oportunidade de prosseguimento das pesquisas sobre o tema abordado.

6.1 Considerações finais

O trabalho mostrou que o tratamento de resíduos de suínos por meio da biodigestão anaeróbia utilizando o biodigestor de fluxo tubular ou tipo lona é de simples funcionamento. Embora o biodigestor remova a matéria orgânica e parte dos nutrientes, não deve ser visto como um sistema definitivo e sim, como parte do processo de tratamento, devendo o seu efluente (biofertilizante) ser utilizado como fertilizante orgânico em propriedades que possuam disponibilidade de área agrícola, ou passem por tratamento final para remoção de carga orgânica e nutrientes antes de serem lançados em cursos de água.

A avaliação da operação dos biodigestores tubulares por meio do acompanhamento diário da carga de resíduos e a temperatura, mostraram que ambos parâmetros têm grande influência na produção de biogás, sendo que quanto maior for o valor da temperatura ambiente e carga de resíduos maior será a produção. Porém, o acréscimo de produção de biogás não é indefinidamente maior com o aumento do valor de carga e temperatura. No caso da temperatura, existe um limiar de valor em que as bactérias e archeaes metanogênicas possuem afinidade, assim como, existe uma carga, acima da qual o sistema entra em sobrecarga.

O estudo demonstrou que os resultados obtidos no trabalho de campo apresentaram poucas diferenças quando comparadas com os resultados estimados pela revisão bibliográfica. Portanto, podem-se utilizar os dados da literatura de forma prática para dimensionar biodigestores rurais.

A análise de viabilidade técnica e econômica mostrou que a implantação dos biodigestores é um investimento cujo retorno é rápido, tornando-se atrativo com a intensificação do uso do sistema. O tempo de retorno do investimento pode se tornar ainda menor se a economia proporcionada pelo uso de biofertilizante na adubação de lavouras

também for considerada. O grande problema é o investimento inicial, que para pequenos produtores, à primeira vista é considerado elevado. Entretanto, a economia gerada pela utilização dos subprodutos, biogás e biofertilizante do sistema permite o retorno do investimento em curto prazo, gerando lucros depois deste período.

O biogás produzido pelo sistema de biodigestão anaeróbia do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho será usado no refeitório, caldeira da agroindústria e aquecimento de ambientes para leitões em fase de creche na granja. O biogás ainda tem potencial para gerar energia elétrica que poderá ser utilizado no Instituto nos horários de ponta, que é compreendido entre as 18 e 21 horas onde o custo do kWh é mais elevado e nos horários fora de ponta podendo diminuir os picos de consumo, que aumentam a quantidade de energia demandada ao sistema elétrico. Caso o Instituto não use a energia elétrica produzida, esta poderá ser vendida à Concessionária. No momento, para o Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho é mais viável o seu uso *in natura*, uma vez que a instituição possui uma Mini Central Hidrelétrica (MCH) com potencia instalada de 360 kVA, que também é uma fonte limpa de energia. No futuro, se Instituto necessitar desta energia, com certeza a conversão será uma possibilidade. O sistema de tratamento de dejetos tem potencial para produzir 150.000 litros de biofertilizante por mês que se for utilizado de forma adequada na área agrícola do Instituto, poderá diminuir gastos com adubação química.

O trabalho nos mostra que o aproveitamento energético do biogás proveniente dos resíduos da suinocultura do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho é destaque por suas vantagens econômicas, sociais, ambientais e educacionais e ser uma forma limpa de geração de energia. Ainda nos mostra que utilização de biodigestores é uma proposta que contribui significativamente na questão de saneamento de suínos em pequenas e médias propriedades suinocultoras por serem ferramentas adequadas para diminuir a poluição pelos dejetos e agregar valores através do biogás e biofertilizante, além de evitar a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, contaminação dos lençóis freáticos e cursos de água melhora a higiene e o padrão sanitário do plantel e do meio rural, tornando o sistema de produção de suínos sustentável.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se a realização de novas pesquisas referentes às características da biomassa interna dos biodigestores avaliando fatores como a impermeabilidade de ar, teor de água, pH,

e principalmente a composição dos resíduos e a temperatura, pois são determinantes na produção de biogás.

Recomenda-se também para um melhor aproveitamento do biofertilizante um estudo aprofundado sobre suas características e o seu emprego, além de uma avaliação dos impactos ambientais causados por sua utilização e os benefícios econômicos para a população rural.

O modelo fluxo tubular proposto nesta dissertação deve-se à escolha entre outras razões, pelo custo acessível - devido não precisar de nenhum tipo de alvenaria – a pequenos produtores e também pela temperatura média anual ser favorável na região o que para regiões frias como o sul do país o mesmo tipo pode não ser apropriado, a não ser que aqueça a biomassa de entrada, pois os microrganismos que atuam no processo de biodigestão são muito sensíveis às diferenças de temperatura.

Este trabalho não pretende, nem poderia pretender esgotar um assunto tão amplo. Sua intenção foi mostrar uma aplicação prática dos biodigestores tubulares em pequenas e médias propriedades suinocultoras, uma vez que grande parte da literatura traz apenas experiências laboratoriais, faltando muitas vezes informações válidas, precisas e atualizadas aos produtores rurais, sendo o principal obstáculo enfrentado por estes para implantar o sistema em suas unidades de produção de suínos. Não que os biodigestores sejam a única forma para diminuir o potencial dos resíduos suínos. Existem outras formas como esterqueiras, bioesterqueiras e lagoas de tratamento. A questão é que se os biodigestores forem implantados e operados de forma adequada, podem ser uma alternativa atraente, pois além de tratar os resíduos, agrega valores pela produção de subprodutos – biogás e biofertilizante, que se forem aproveitados corretamente podem trazer benefícios ao suinocultor.

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, J. W. S. V.; MANSO, S. M. **Inventário nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos**. CETESB, São Paulo, 1998.
- AVELLAR, L. H. N. ; CARROCCI, L. R. ; SILVEIRA, J. L. . **A Valorização dos Subprodutos Agroindustriais Visando a Co-geração e a Redução da Poluição Ambiental**. In: JORNADA de Iniciação Científica e Pós-graduação da FEG/UNESP, 2001, Guaratinguetá.
- BARNETT, Andrew; PYLE, Leo; SUBRAMANIAN, S. K. **Biogas technology in the Third World: a multidisciplinary review**. Ottawa: IDRC, 1978. 132p.
- BARRERA, PAULO. **Biodigestores: Energia, Fertilidade e Saneamento para Zona Rural**. São Paulo: Icone,1993.
- BOLETIM ENFOQUE. **Biodigestor “PE”, fonte alternativa energética e de biofertilizante. 3. ed.** Recife, 1999.
- BRASIL. **Decreto 4.339, de 22 de agosto de 2002** – Institui os Princípios e Diretrizes Gerais da Política Nacional da Biodiversidade. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4339.htm>
- BRASIL. **Lei nº 6.938/81. Política Nacional do Meio Ambiente:** promulgada em 32 de agosto de 1981. Disponível em:<www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988. Contêm as emendas constitucionais posteriores. [Brasília, DF: Senado, 1988.]
- BRASIL. **Lei. 10.438 de 26 de abril de 2002.** Cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), entre outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>
- BRASIL. **Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007** – estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Disponível em:<www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 225/2007 de 31 de Maio de 2007.** Concretiza um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis previstas na estratégia nacional para a energia, estabelecida através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro. Disponível em: <www.iapmei.pt/iapmei-leg-03.php?lei=5499>
- BRASIL.Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, Institui a Política Nacional sobre a Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário oficial da União, Brasil (2009 dec 30). Portal do Planalto. [2012 aug10] disponível em:<www.planalto.gov.br/ccivil_03_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm>.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.**Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília,DF, 3 de ago.2010. Secao 1.
- BURTON,C.H;TURNER, C. **Manure management: treatment strategies for sustainable agriculture**. 2. Ed. Silsoe:Silsoe Research,2003. 451 p.

- CASTANÓN, N.J.B., **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**, Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo, dez, 2002.
- CHAMBERS, A. K.; POTTER, I. **Gas utilization from sewage waste**. AIDIS – CANADÁ, Environmental Project, 2002.
- CHARLAN, Ricardo Zachow, **Biogás- Fontes Alternativas de Energia**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2000. Departamento de Tecnologia.
- CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Estado da arte da digestão anaeróbia**. Belo Horizonte, 1982.
- CETTO, J.L. **Biodigestor**. Disponível: <www.agrikolinos.hpg.ig.com.br/biodigestor.htm>. Acesso em: 14 abr 2004.
- CLASSEN, P.A.M.; LIER, J.B.; STARMS, A.J.M. **Utilization of biomass for supply of energy carrier**. Applied microbiology and biotechnology, v52, p.741-755, 1999.
- COELHO, S.T.; SILVA, O.C.; VARKULYA, A.Jr.; AVELLAR, L.A.N.; FERLING, F.F. **Estado da arte do biogás**. Relatório de acompanhamento. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001
- COELHO, Suani Teixeira. **Biogás, originado a partir de rejeitos rurais**, São Paulo – SP , dezembro, 2002.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE –CONAMA . 1989. Resolução Conama nº 005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81 Acesso em 17/04/2010.
- CUNHA, M. B.; BIANCHINI, Jr., **Degradação anaeróbia de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis*: Cinética de formação de gases**. Acta Limnológica Brasileira, 1967.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C. C. **BIPERS nº 14 – Coletânea de tecnologia sobre dejetos de suínos**. EMATER/RS Embrapa suínos e aves Concórdia/SC, agosto 2002.
- EMBRAPA, **Manejo de dejetos e outros materiais poluentes – Suínos e Aves - Sistemas de Produção**, Versão Eletrônica Jan/2003. Disponível em: sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Suinos/SPSuinos/manejodejetos.html.
- FARIAS, Renato Ramos de. **Gás combustível e adubo orgânico a baixo custo**. Rio de Janeiro: Ministério de Agricultura, 1958. 11 fl. Gabinete de Planejamento e Coord. Geral, 1981. 28p.
- FCAV – UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Campus Jaboticabal. Departamento de Engenharia rural, área experimental do campus. Jaboticabal - SP, 2008
- FERRAZ, J.G.; MARRIEL, J.E. **Biogás: Fonte Alternativa de Energia**. EMBRAPA/CNPQA, Sete Lagoas-MG. 27p, 1980.
- FORESTI, E. **Microbiologia da digestão anaeróbia**. São Paulo, 1999.
- GALAVOTI, R.C. (2003). **Efeitos das relações DQO/SO₄²⁻ e das variações progressivas das concentrações de sulfatos no desempenho de reator anaeróbio horizontal de leito fixo (R.A.H.L.F.)**. São Carlos, 2003. 265p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. Apud SPEECE, R. E. (1996). Anaerobic Biotechnology for industrial Wastewaters. Archea Press. Nashville, Tennessee, p8

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **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 , 2003.

GRANT, E.L.; IRESON, W.G.; LEAVENWORTH, R.S. **Principles of Engineering Economy, 6th Ed.** John Wiley and Sons, New York, New York,1976.

HILL, D.T. **Desing of digestion systems for maximum methane production.** Transactions of the ASAE, (S.), v.25, n.1, p. 2226 – 236, 1982

HOHLFELD, J. ; SASSE, L. **Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries.** p 51-96. Eschborn. Federal Republic of Germany,1986.

IBGE – **Censo Agropecuário de 1996.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/2001>>. Acesso em: 05 de novembro de 2001.

IBGE – **Produção da Pecuária Municipal 2010**, volume 38. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em 06 de dezembro de 2012.

IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) / CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo, 2000.

JUNIOR, A. B. C. **Simulação do comportamento de resíduos, um modelo em aterro Sanitário e estudo da evolução bio-físico-química**,/ INSA de Lyon – France, 2000.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos de suínos.** Brasília, DF: Embrapa Suínos e Aves, 1983. (Circular técnica, 6).

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique.** Paris: Masson, 1995. 237p.

LASLOWSKI, Mariano Armstrong. **Avaliação ambiental e econômica do biogás, obtido através da biodigestão anaeróbia dos dejetos da suinocultura**, Curitiba – PR , junho 2004.

LETTINGA, G. e RINZEMA, A. (1985). “**Anaerobic treatment of sulfate containing wastewater**”. Bioenvironmental System.

LIMA, Gustavo J. M. M. de. **A poluição ambiental causada por dejetos de suínos e o papel dos técnicos e nutricionistas.** Referência obtida via base de dados. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>., 2001.

LIMA, Gustavo J. M. M. de. **Manejo da dieta de suínos.** In: SUINO.COM. Contaminação das fontes de água por coliformes fecais. **A Comunidade Virtual da Suinocultura Brasileira.** Seção Meio-ambiente. Disponível em: <<http://www.suino.com.br>>.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios.** 1994. 137 f. Tese (Livre Docência) Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal,1994.

LUCAS JUNIOR, J. **Laminados de PVC – Solução para biodigestores.**In Congresso Brasileiro do PVC, São Paulo, 2005. Anais... São Paulo – SP, 2005 Disponível em <<http://WWW.institutodopvc.org/congresso/>>. Acesso em 30 mai. 2011.

MAGALHÃES, Agenor Portelli Teixeira. **Biogás: um projeto de saneamento urbano.** São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.

- MARTINS, Raul Vergueiro. **O Biogás**. 5p. 2003. Disponível em: <www.hydor.eng.br/Pagina23.htm>. Acesso em: 08 mar. 2004.
- MIRANDA, C.R.; GOSMANN, H.A.; ZARDO, A.O. **Uso de Dejetos de Suínos na Agricultura**. EMBRAPA – Suínos e Aves. Instrução Técnica para o Suinocultor n. 11, mar. 1999.
- MOTTA, F.S. **Produza sua Energia – Biodigestores Anaeróbios**, Editora S.A, Recife-PE. 144p, 1986.
- MORAES, Manfredo José de. **Manual de instruções para o usuário do biogás**. Recife: Secret. dos Transp., Energ. e Comunicação, 1980. 32 p.
- NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. p.1-93.
- NUVOLARI, A. (2003). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Capítulo (. São Paulo: Edgar Blücher.p.325.
- OLIVER, A. P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. Instituto Winrock, 2008 Disponível em: < <http://wp2.oktiva.com.br/ider/files/2010/01/16.Manual-de-Treinamento-em-Biodigestao.pdf> >. Acesso em: 28 jun. 2010.
- OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993.188p. (EMBRAPA - CNPSA. Documentos, 27).
- OLIVEIRA, Paulo A. V. **Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos**. Simpósio Latino-Americano de Nutrição de Suínos, 1994. Anais, p. 27-40.
- OLIVEIRA, P. A. V; e OTSUBO, C. S. **Sistema simples para a produção de biogás como o uso de resíduos de suínos e aves**. Revistas Gerenciamento Ambiental, ano 4, nº19. Março/Abril de 2002. Pág. 21.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. de. **Tecnologia para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Cap. 4, p.43-55.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 417).
- PARCHEN, Carlos Augusto Petersen. **Algumas informações sobre manejo de esterco de bovinos e suínos**. [S.l.]: EMATER, 1981. 14 fl.
- PAULA, I. F. **Tratamento biológico de águas residuárias de abatedouro de suínos**. 1982. 206 f Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982
- PECORA, Vanessa. **Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso**/. Vanessa Pecorra; orientador José Roberto Moreira. São Paulo, 2006.
- PERDOMO, C.C; COSTA, R.R; MEDRI, V; MIRANDA,C.R. **Dimensionamento de sistema de tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA.Suínos e Aves, 1999. 5p. (EMBRAPA - Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 234).
- ROSS,C.C., DRAKE, T.J., **The handbook of biogás utilization**, U.S. Department of Energy Southeastern Regional Biomass Energy Program Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, Second Edition, 1996.

SALOMOM, K. , R.; FILHO, G., L., T. **Biomassa - Série de Energias Renováveis**, 1º edição Itajubá, 2007.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. **Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste**. *Bioresource Technology*, v.96, p.335-344, 2005.

SANTOS, P. **Guia Técnico de biogás**. CCE – Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN – Agência para Energia, Amadora, Portugal, 200. 117p.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: EPAGRI, 1996, 46p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 79).

SEIXAS, Jorge et al. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA - DID, 1980. EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 4.

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

SILVA, F.C.M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada**. Florianópolis: UFSC, 1996. 115p. Dissertação Mestrado.

SILVA, Humberto de A.P. **Energia Alternativa para suprir as necessidades de eletricidade e de aquecimento nas atividades rurais brasileiras pelo uso de biomassa não florestal de resíduos animais - estudo de caso**. São Paulo – SP , 2002.

SOUZA, M.E.(1984). **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**. In: Revista DAE.V.44, n° 137. Pp 88-94, jun/1984. Apud NUVOLARI, A. (2003). Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Capítulo (. São Paulo: Edgar Blücher.p.325.

SOUZA, C. F., LUCAS JUNIOR J. e FERREIRA, W. P. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. Anais. Salvador: Sbea, 2002. p.102-108.

SUINO.COM. **Contaminação das fontes de água por coliformes fecais**. A Comunidade Virtual da Suinocultura Brasileira. Seção Meio-ambiente. Disponível em: www.suino.com.br/meioambiente. Acesso em 22 de abr. 2002.

TAKITANE, I. C.; COLEN, F. ; BUENO, O. C. . **Custo de implantação de biodigestor modelo indiano e análise econômica comparativa do biogás e outras fontes energéticas disponíveis**. . In: VI Congreso Argentino de Ingenieria Rural Cadir 2000 e II Congreso Americano de Educadion en Ingenieria Agricola. 2000 Buenos Aires.

TAKITANE, I. C. e SOUZA, M. C. M. **Produção de Suínos no Brasil: Impactos Ambientais e Sustentabilidade**. Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural – X Congresso Mundial de Sociologia Rural. Rio de Janeiro - RJ, 2000.

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná. **Manual de Biosistemas Integrados na Suinocultura**. Centro de Integração de Tecnologia do Paraná – CITPAR. Telus – Rede Paranaense de Projetos em Desenvolvimento Sustentável. Curitiba, Paraná – 2002. p 140.

VILLEN, R. A.; LIMA, U. A.; AQUURONE,E. ; BORZONI, W.; SCHIMIDELL, W. **Tratamento biológico de efluentes**. Biotecnología Industrial. Vol.3. São Paulo. Editora Edgar Blucher. 2001.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos** – Princípios do tratamento de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, vol.2, 211p.1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGEN, E. B. **Biogás, conversion an technology**. Editora John Wiley & Sons. New York, 2000.

WINROCK – INSTITUTO WINIROCK INTERNATIONAL. **Manual de biodigestão**. In: 1º Curso sobre “Biodigestores na agricultura familiar do semi-árido”. Juazeiro: WINROCK/UNEB/EBDA. 09/2005. 21p. Disponível em: <<http://www.winrock.org.br.html>>. Acesso: 04 de abr . 2011.

ZACHOW, C. R. **Biogás**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, UNIJUI, Panambi, 2000.

ANEXO A – Planilha de resultados obtidos no estudo

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
07/ago	21,0	178,6	63,5	355,7
08/ago	20,5	178,3	58,2	326,2
09/ago	19,5	178,3	59,0	330,8
10/ago	19,5	176,2	64,5	365,9
11/ago	16,3	176,2	78,7	446,9
12/ago	18,0	176,2	58,3	330,9
13/ago	18,5	173,5	63,1	363,6
14/ago	14,0	173,5	53,9	310,9
15/ago	16,0	173,5	62,0	357,5
16/ago	15,5	180,4	56,7	314,1
17/ago	18,8	182,5	61,4	336,5
18/ago	22,5	181,6	77,1	424,7
19/ago	20,8	173,5	81,6	470,5
20/ago	17,5	173,5	83,7	482,3
21/ago	19,0	176,8	57,6	325,8
22/ago	16,8	176,8	54,6	308,7
23/ago	18,5	176,8	44,1	249,6
24/ago	20,0	175,3	49,5	282,2
25/ago	18,5	175,0	76,7	438,5
26/ago	18,5	173,2	58,2	335,9
27/ago	16,0	176,8	63,7	360,5
28/ago	18,0	176,5	66,6	377,2
29/ago	19,5	176,5	53,9	305,4
30/ago	20,5	176,5	49,2	278,6
31/ago	17,5	174,1	63,5	364,6
01/set	21,0	174,8	78,5	448,9
02/set	23,0	173,3	74,5	429,7
03/set	21,5	172,7	81,7	473,0
04/set	21,5	172,1	79,7	463,1
05/set	19,5	175,7	80,2	456,3
06/set	20,0	175,7	80,2	456,3
07/set	20,5	179,9	76,2	423,4
08/set	24,5	179,6	68,9	383,7
09/set	24,0	177,5	87,7	494,1
10/set	21,0	177,5	71,5	402,6
11/set	20,0	176,9	86,8	490,9
12/set	20,3	176,9	78,1	441,3
13/set	21,5	176,6	70,4	398,8
14/set	22,5	174,5	74,9	429,2
15/set	24,8	174,5	91,8	526,3
16/set	23,5	172,1	69,8	405,8
17/set	20,5	172,1	88,9	516,6
18/set	24,0	174,5	71,6	410,5
19/set	24,0	174,5	81,6	467,6
20/set	25,0	177,8	71,1	400,0

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
21/set	23,5	175,4	91,0	519,1
22/set	20,5	175,4	89,1	507,9
23/set	20,0	175,4	88,1	502,1
24/set	19,5	175,4	96,1	547,9
25/set	22,5	175,4	52,2	297,4
26/set	23,0	178,7	99,3	555,9
27/set	23,5	176,3	70,5	399,8
28/set	22,5	176,3	80,8	458,1
29/set	25,0	176,3	92,4	524,3
30/set	22,5	175,1	64,2	366,7
01/out	20,5	174,9	84,6	483,8
02/out	23,0	177,3	76,1	429,1
03/out	23,0	177,3	76,0	428,5
04/out	21,0	184,0	75,4	409,8
05/out	24,0	181,3	76,6	422,7
06/out	23,5	181,3	77,9	429,7
07/out	22,5	181,3	77,1	425,1
08/out	25,5	180,7	84,4	467,2
09/out	23,5	180,7	48,5	268,5
10/out	20,5	180,7	99,5	550,9
11/out	21,5	180,7	73,4	406,2
12/out	24,0	180,7	82,1	454,4
13/out	21,0	180,7	46,3	256,4
14/out	22,0	178,9	95,3	532,4
15/out	21,0	178,9	80,0	447,0
16/out	23,0	178,9	78,2	436,9
17/out	22,5	181,9	74,6	410,3
18/out	23,5	186,1	72,5	389,4
19/out	22,5	186,1	58,0	311,7
20/out	22,5	183,4	87,8	478,7
21/out	23,0	183,4	62,7	341,9
22/out	23,0	187,0	68,4	365,6
23/out	18,5	187,0	56,0	299,5
24/out	22,5	187,0	80,2	428,9
25/out	23,5	187,0	84,7	452,9
26/out	23,5	182,8	81,7	446,9
27/out	19,5	182,8	73,6	402,7
28/out	22,0	178,9	88,3	493,3
29/out	23,0	187,6	69,1	368,6
30/out	21,5	189,7	75,9	400,3
31/out	20,5	189,7	67,0	353,1
01/nov	21,5	201,0	71,5	355,6
02/nov	24,5	202,5	53,0	261,6
03/nov	24,5	202,5	67,4	332,9
04/nov	23,5	202,5	82,9	409,4
05/nov	23,5	202,2	85,3	422,0
06/nov	22,5	203,1	92,0	453,2
07/nov	21,5	203,1	72,0	354,3
08/nov	19,0	199,8	52,0	260,4

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
09/nov	20,0	199,8	51,7	258,6
10/nov	25,0	199,8	54,4	272,4
11/nov	24,5	197,7	58,1	293,7
12/nov	24,5	197,7	64,3	325,2
13/nov	23,5	197,7	65,8	332,6
14/nov	23,0	201,9	71,1	352,1
15/nov	24,0	201,9	51,6	255,6
16/nov	22,0	199,5	52,9	265,3
17/nov	26,0	199,5	57,4	287,6
18/nov	21,5	198,3	64,8	326,6
19/nov	24,0	197,7	57,0	288,5
20/nov	26,0	196,5	56,9	289,7
21/nov	26,5	196,5	62,6	318,8
22/nov	25,0	196,5	50,9	258,8
23/nov	20,0	194,7	66,3	340,7
24/nov	25,0	194,7	55,6	285,8
25/nov	24,0	193,5	61,8	319,4
26/nov	24,5	193,5	66,4	343,2
27/nov	25,0	193,5	54,0	279,2
28/nov	25,5	193,5	53,6	276,9
29/nov	24,5	193,5	56,2	290,2
30/nov	24,5	193,5	49,0	253,1
01/dez	24,5	180,5	62,7	347,6
02/dez	23,5	177,4	51,1	288,3
03/dez	24,0	177,1	51,7	291,7
04/dez	20,5	181,0	52,7	291,3
05/dez	19,5	181,0	49,6	273,9
06/dez	20,0	180,7	56,0	310,0
07/dez	23,0	178,0	54,0	303,3
08/dez	21,0	177,4	56,0	315,9
09/dez	23,5	181,9	54,6	300,1
10/dez	23,5	181,9	61,8	339,9
11/dez	22,5	179,2	58,3	325,4
12/dez	24,5	179,2	52,2	291,1
13/dez	24,5	179,2	60,7	338,8
14/dez	21,5	176,2	59,3	336,6
15/dez	21,0	176,2	57,6	327,0
16/dez	23,5	169,3	58,6	346,2
17/dez	23,5	167,8	58,1	346,1
18/dez	23,0	175,9	57,4	326,5
19/dez	24,5	183,4	62,8	342,5
20/dez	23,5	183,1	66,8	364,6
21/dez	24,0	179,5	57,7	321,6
22/dez	23,5	179,2	57,6	321,3
23/dez	23,0	178,9	61,7	344,7
24/dez	23,0	178,9	59,4	332,2
25/dez	23,0	178,9	58,9	329,3
26/dez	23,0	178,9	62,5	349,6
27/dez	22,5	178,9	66,7	372,7

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
28/dez	25,5	173,2	61,7	356,1
29/dez	23,5	173,2	59,5	343,8
30/dez	24,0	172,9	57,8	334,5
31/dez	24,5	172,3	41,4	240,1
01/jan	23,0	156,7	49,5	315,8
02/jan	23,0	156,7	46,7	298,3
03/jan	24,0	156,4	44,3	283,0
04/jan	25,0	154,9	41,4	267,1
05/jan	23,5	154,9	42,6	274,9
06/jan	22,5	154,9	48,1	310,8
07/jan	23,5	154,9	50,0	322,6
08/jan	23,5	167,5	48,7	290,5
09/jan	24,5	167,5	51,2	305,5
10/jan	25,0	167,5	51,3	306,0
11/jan	24,0	165,4	53,9	326,1
12/jan	23,5	165,4	54,6	330,0
13/jan	26,0	165,1	54,6	330,9
14/jan	25,0	165,1	47,2	285,6
15/jan	24,5	170,5	51,9	304,6
16/jan	24,5	170,2	51,1	300,5
17/jan	23,5	169,9	59,5	349,9
18/jan	25,5	169,3	61,7	364,5
19/jan	23,0	170,8	67,0	392,2
20/jan	23,5	173,8	48,6	279,8
21/jan	23,0	172,3	51,3	297,9
22/jan	23,0	171,1	55,9	326,8
23/jan	25,0	170,5	56,4	330,6
24/jan	24,5	168,7	50,6	299,9
25/jan	24,0	168,7	49,6	293,8
26/jan	24,0	168,7	51,3	303,9
27/jan	24,5	168,7	52,2	309,2
28/jan	25,0	168,7	56,7	335,9
29/jan	25,0	173,2	51,2	295,4
30/jan	25,0	172,9	50,1	289,9
31/jan	25,5	173,9	53,9	310,2
01/fev	24,5	173,9	52,2	300,0
02/fev	25,5	171,5	56,5	329,7
03/fev	25,0	171,5	63,5	370,5
04/fev	26,5	171,5	63,5	370,1
05/fev	25,5	171,5	62,7	365,7
06/fev	26,0	171,5	58,1	338,6
07/fev	26,5	171,5	57,0	332,6
08/fev	25,0	173,0	61,4	354,7
09/fev	24,5	182,3	51,6	283,0
10/fev	24,5	182,3	64,6	354,6
11/fev	24,0	181,4	64,8	357,4
12/fev	23,5	181,4	61,8	340,7
13/fev	24,5	181,1	59,4	328,2
14/fev	25,0	180,8	61,8	342,0

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
15/fev	25,0	180,8	57,4	317,7
16/fev	25,0	180,8	62,4	345,0
17/fev	24,0	180,8	62,3	344,8
18/fev	22,5	180,8	58,7	324,6
19/fev	25,5	189,8	56,9	299,7
20/fev	23,5	189,8	57,3	302,1
21/fev	23,5	189,8	61,9	326,0
22/fev	25,5	186,2	59,6	320,1
23/fev	26,5	184,7	56,2	304,1
24/fev	27,0	184,4	58,3	316,1
25/fev	26,0	183,2	62,5	341,4
26/fev	24,0	188,3	59,8	317,7
27/fev	23,0	188,3	58,4	309,9
28/fev	23,5	191,3	57,7	301,8
01/mar	22,0	182,9	59,7	326,6
02/mar	21,0	182,0	58,1	319,2
03/mar	20,5	180,5	55,1	305,2
04/mar	21,5	180,5	55,6	307,9
05/mar	23,0	169,7	57,6	339,5
06/mar	23,0	169,7	57,5	338,7
07/mar	23,5	168,2	58,7	349,0
08/mar	22,0	168,2	58,8	349,6
09/mar	22,5	168,2	59,9	356,0
10/mar	22,5	163,7	58,9	359,7
11/mar	23,5	171,2	58,1	339,5
12/mar	23,5	172,1	56,9	330,6
13/mar	23,0	174,8	57,6	329,7
14/mar	22,0	174,8	58,4	334,0
15/mar	23,0	174,8	59,2	338,6
16/mar	23,5	174,8	59,2	338,8
17/mar	23,5	177,8	57,0	320,4
18/mar	23,5	177,8	58,6	329,8
19/mar	25,0	177,8	58,7	330,0
20/mar	26,0	174,8	57,8	330,9
21/mar	24,0	179,9	56,8	316,0
22/mar	23,0	176,9	55,9	315,9
23/mar	23,0	176,9	57,8	326,7
24/mar	24,0	186,8	58,4	312,4
25/mar	24,0	196,7	58,7	298,3
26/mar	24,0	198,8	59,4	298,6
27/mar	25,5	197,3	57,8	292,9
28/mar	25,0	197,3	59,1	299,5
29/mar	25,0	194,0	58,2	299,9
30/mar	24,0	193,7	58,9	304,2
31/mar	23,0	193,7	57,9	299,1
01/abr	22,0	193,7	57,4	296,1
02/abr	22,0	193,7	58,7	302,9
03/abr	23,0	191,6	57,5	300,3
04/abr	22,0	191,6	57,6	300,8

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
05/abr	21,5	186,4	50,2	269,2
06/abr	18,5	183,2	50,7	277,0
07/abr	17,5	179,9	48,5	269,4
08/abr	15,0	178,4	48,0	269,3
09/abr	15,5	182,0	51,7	284,1
10/abr	18,5	185,0	56,0	302,6
11/abr	19,0	185,0	57,7	311,6
12/abr	21,0	182,3	58,9	323,3
13/abr	22,5	182,3	58,1	318,6
14/abr	23,0	182,3	58,6	321,6
15/abr	23,5	180,5	57,8	320,4
16/abr	22,0	180,5	53,4	295,6
17/abr	23,0	179,9	53,4	297,1
18/abr	22,0	179,9	53,4	296,8
19/abr	21,5	177,8	54,6	306,9
20/abr	23,0	177,8	52,4	294,4
21/abr	22,5	176,3	54,0	306,5
22/abr	22,0	184,8	53,8	291,4
23/abr	20,5	184,2	54,5	296,1
24/abr	22,5	183,9	55,3	301,0
25/abr	22,0	182,9	55,4	303,1
26/abr	22,0	181,1	54,9	303,0
27/abr	22,0	179,3	54,4	303,2
28/abr	21,5	177,5	54,5	306,8
29/abr	21,0	177,5	53,9	303,4
30/abr	20,0	176,9	50,3	284,2
01/mai	18,5	177,2	50,9	287,5
02/mai	19,0	177,2	51,9	293,1
03/mai	20,0	175,4	53,4	304,3
04/mai	21,0	175,4	51,7	294,6
05/mai	19,5	173,9	52,8	303,9
06/mai	21,0	173,9	52,8	303,4
07/mai	22,0	175,1	53,3	304,3
08/mai	23,0	175,1	51,8	295,7
09/mai	20,5	175,1	50,5	288,6
10/mai	19,0	172,7	48,8	282,8
11/mai	16,0	173,6	47,5	273,8
12/mai	14,0	171,5	47,9	279,0
13/mai	15,0	172,1	48,8	283,6
14/mai	18,0	172,1	48,6	282,6
15/mai	19,0	172,1	48,3	280,9
16/mai	19,0	172,1	49,5	287,9
17/mai	20,0	171,8	49,0	285,4
18/mai	19,5	176,0	48,9	277,7
19/mai	18,5	174,5	48,4	277,3
20/mai	17,0	174,5	47,9	274,3
21/mai	14,0	174,5	46,9	268,9
22/mai	15,5	174,5	47,4	271,4
23/mai	17,5	174,5	48,9	280,0

Planilha de Resultados				
Dia	Temperatura média	Nº de animais equivalente	Produção diária de gás	Produção de gás por animal equivalente.
24/mai	19,0	171,8	49,0	285,5
25/mai	20,0	178,7	49,4	276,2
26/mai	20,0	177,2	49,3	278,2
27/mai	18,5	177,2	49,9	281,4
28/mai	19,0	176,9	48,7	275,5
29/mai	19,0	176,9	48,7	275,1
30/mai	19,5	176,9	47,7	269,9
31/mai	18,0	176,9	47,5	268,4
01/jun	19,0	174,5	48,0	274,8
02/jun	18,5	191,2	47,8	250,1
03/jun	16,5	178,9	47,1	263,5
04/jun	16,5	178,6	47,3	264,6
05/jun	16,0	178,0	47,0	264,1
06/jun	14,0	177,7	46,9	264,1
07/jun	13,0	177,7	46,0	258,8
08/jun	16,0	177,7	47,1	265,1
09/jun	16,5	175,9	47,4	269,2
10/jun	15,5	175,9	47,2	268,4
11/jun	15,0	175,9	47,0	267,4
12/jun	14,0	175,9	46,8	266,2
13/jun	13,5	180,4	46,0	255,3
14/jun	13,5	180,4	45,8	254,1
15/jun	15,0	177,7	46,0	258,9
16/jun	15,0	180,1	46,2	256,5
17/jun	16,0	179,8	46,8	260,4
18/jun	17,0	179,8	46,8	260,5
19/jun	17,5	179,5	47,0	261,9
20/jun	17,5	179,2	47,1	263,0
21/jun	17,0	179,5	47,5	264,4
22/jun	17,5	179,5	47,4	264,0
23/jun	18,0	178,0	47,9	269,4
24/jun	18,5	178,0	48,0	269,9
25/jun	18,5	178,0	48,1	270,3
26/jun	18,0	178,0	47,9	268,9
27/jun	17,0	178,0	47,4	266,1
28/jun	16,5	176,2	47,4	268,9
29/jun	17,0	176,2	47,0	267,0
30/jun	17,0	175,0	47,6	271,8

ANEXO B – Carga diária de resíduos

Carga diária de resíduos		
Dia	Volume (m3)	L/matriz
1	9,0	155,0
2	9,5	163,6
3	10,0	172,2
4	10,2	175,1
5	9,3	160,8
6	7,5	129,2
7	7,2	123,4
8	8,3	143,5
9	9,3	160,8
10	6,5	112,0
11	6,8	117,7
12	6,3	109,1
13	7,7	132,0
14	8,3	143,5
15	6,2	106,2
16	6,7	114,8
17	7,8	134,9
18	6,5	112,0
19	6,8	117,7
20	6,3	109,1
21	9,3	160,8
22	7,0	120,6
23	8,3	143,5
24	9,0	155,0
25	8,8	152,1
26	8,8	152,1
27	8,0	137,8
28	6,5	112,0
29	6,8	117,7
30	7,5	129,2
31	6,3	109,1

Carga diária de resíduos		
Dia	Volume (m3)	L/matriz
32	6,5	112,0
33	7,2	123,4
34	8,3	143,5
35	8,0	137,8
36	7,5	129,2
37	8,5	146,4
38	8,0	137,8
39	8,7	149,3
40	6,5	112,0
41	6,7	114,8
42	7,0	120,6
43	7,7	132,0
44	6,8	117,7
45	7,0	120,6
46	8,7	149,3
47	8,7	149,3
48	9,2	157,9
49	7,8	134,9
50	8,2	140,7
51	6,5	112,0
52	6,8	117,7
53	6,7	114,8
54	6,3	109,1
55	8,7	149,3
56	9,0	155,0
57	8,2	140,7
58	7,5	129,2
59	8,3	143,5
60	9,8	169,4
Total	467,0	8052,0
Média	7,8	134,2

ANEXO C – Laudo de Análise do teor de sólidos do resíduo

	LABORATÓRIO DE BROMATOLOGIA E ÁGUA ANTÔNIO IBÁÑEZ RUIZ INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CAMPUS MUZAMBINHO		
	Estrada Muzambinho, Km 35 - Bairro Morro Preto - Muzambinho - MG - 37890-000 bromatologia@eafmuz.gov.br Caixa Postal 02 Tel (35) 3571 5095		

LAUDO DE ANÁLISE DE ALIMENTOS

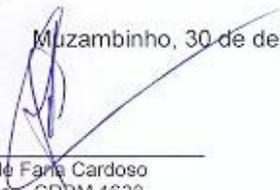
Solicitantes: Marcelo Moraes

Identificação da amostra: Resíduo Suinocultura

Data do recebimento da amostra: 2011

Parâmetro	Resultado	Método
Sólidos Totais (Kg/m ³)	73,17	Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2005.
Sólidos Fixos (Kg/m ³)	17,52	Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2005.
Sólidos Voláteis (Kg/m ³)	55,64	Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2005.

Muzambinho, 30 de dezembro de 2011


 Polyana de Faria Cardoso
 Biomédica – CRBM 1638


 Laboratório de Bromatologia e Água
 IF SUL DE MINAS
 Campus Muzambinho - MG


 Alessandra Rodrigues de Carvalho
 Coordenadora Técnica de Laboratório

ANEXO D – Medidor de gás

Medidores de Gás

Medidor de Gás

G 4



■ Descrição Detalhada

O Medidor de Gás G 4 LAO foi projetado seguindo as mais rígidas normas nacionais e internacionais de qualidade.

Este medidor volumétrico de diafragma é apto para medição de consumo doméstico de gás natural, GLP ou manufaturado.

Suas características de fabricação asseguram alta confiabilidade operacional durante anos sem manutenção. Seu tamanho compacto facilita o manuseio e instalação.

O Medidor G 4 é provido de sistema de irreversibilidade, evitando a totalização do consumo de gás no sentido contrário ao da instalação.



Novo Produto

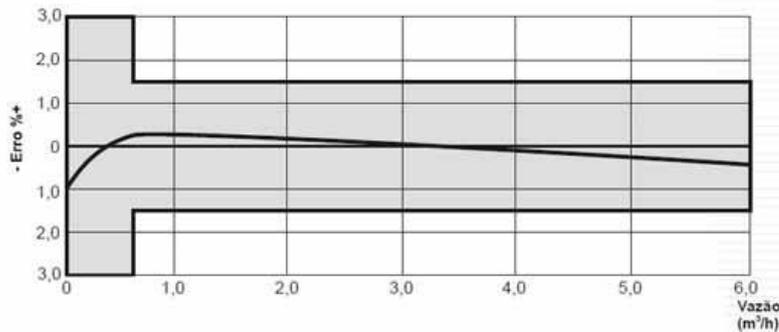


LAO
INDÚSTRIA

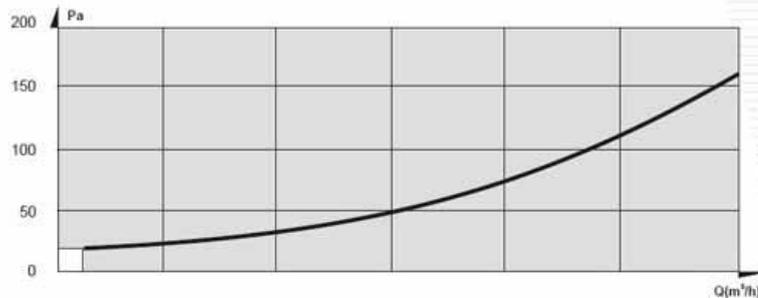
Medidores de Gás

■ Características Técnicas

Curva de Erros



Curva de Perda de Pressão

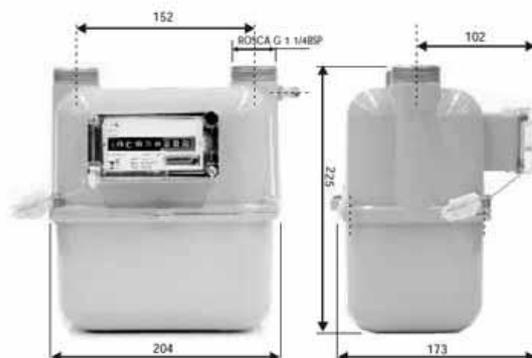


Gás Natural (peso específico em relação ao ar 0,64)
GLP (peso específico em relação ao ar 1,52)

Leitura Máx.: 99999,999 m³
Leitura Min.: 0,2 dm³
Peso: 2,2 kg

Dados Técnicos - G 4

Tipo de Gás m ³ /h	Vazão Máx. m ³ /h	Vazão Min. m ³ /h	Vazão de Início de Funcionamento m ³ /h	Pressão Máx. De Trabalho kPa	Capacidade Cíclica dm ³
Ar	6,0	0,04	0,002	100	1,2
Gás Natural	7,5	0,04	0,002	100	1,2
GLP	4,8	0,04	0,002	100	1,2



■ Características Construtivas

A carcaça, confeccionada em alumínio através do processo de fundição sob pressão, assegura alta resistência ao impacto e aos agentes externos, sendo protegida por uma camada de pintura a base de tinta em pó poliéster cinza. Por ter seus componentes internos fabricados em plástico de engenharia de última geração, garante estabilidade dimensional, resistência aos hidrocarbonetos, baixo desgaste e reduzido atrito entre suas peças. Os diafragmas sintéticos fabricados com a mais alta tecnologia garante:

- Alta sensibilidade nas baixas vazões.
- Estabilidade química e dimensional, o que diminui variações no seu comportamento a longo prazo.
- Resistência à umidade e aos solventes presentes nos gases.

■ Características Funcionais

O princípio de funcionamento consiste em um sistema de canais comunicantes entre as quatro câmaras que, enquanto se enchem, movimentam os diafragmas que coordenam a carga e descarga do sistema, acionando a válvula rotativa que movimenta o sistema de integração

■ Totalizador

O totalizador é do tipo ciclométrico com 8 dígitos, fabricado em termoplástico de engenharia, protegido por tampa de policarbonato de ótima transparência e alta resistência ao impacto, provido de marcação para leitura ótica.

■ Saída de Sinal

Mecanismo magnético, permitindo geração de pulsos externos.

LAO
INDÚSTRIA

Av. Dr. Mauro Lindenberg Monteiro, 1003
Parque Industrial Anhanguera
Osasco - SP - CEP 06278-010
Tel.: 11 3658-5200
Fax: 11 3658-5219
webmaster@laosp.com.br
www.laosp.com.br