

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL.....	4
3.2 BIOMASSA.....	7
3.2.1 Fontes de Biomassa.....	10
3.2.1.1 Vegetais Não Lenhosos.....	11
3.2.1.2 Vegetais Lenhosos.....	13
3.2.1.3 Resíduos Orgânicos.....	14
3.3 APLICAÇÃO DA BIOMASSA.....	15
3.3.1 Biodiesel.....	15
3.3.2 Etanol.....	19
3.3.3 Biogás.....	21
3.4 PROCESSO DE CONVERSÃO.....	23
3.4.1 Biodigestão Anaeróbia.....	23
3.4.1.1 Etapas Do Processo De Biodigestão Anaeróbia.....	24
3.4.2 Fatores que Interferem na Biodigestão Anaeróbia.....	25
3.5 DEJETOS SUÍNOS.....	27
3.5.1 BIODIGESTÃO DO DEJETO SUÍNO.....	28
3.6 BIODIGESTORES.....	30

3.6.1 Definição.....	30
3.6.2 Classificação dos Biodigestores.....	30
3.6.2.1 Biodigestor do Tipo Contínuo.....	31
3.6.2.2 Biodigestor do Tipo Batelada.....	31
3.7 TRABALHOS REALIZADOS UTILIZANDO O SISTEMA DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	32
<b>4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>34</b>
4.1 LOCAL.....	34
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR BATELADA.....	34
4.3 RESÍDUO.....	35
4.4 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	35
4.5 DETERMINAÇÃO PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO BIODIGESTOR.....	36
4.5.1 Composição do Biogás.....	36
4.5.2 Determinação do pH.....	38
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
5.1 MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	39
5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO.....	42
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>TRABALHOS EM ANDAMENTO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de Energia Mundial (Agência Internacional de Energia – IEA).....	Pág. 5
Figura 2. Oferta mundial de energia primária em 2008 (CENBIO, 2010).....	Pág. 7
Figura 3. Matriz de consumo final de energia nos anos de 1973 e 2006 (IEA).....	Pág. 8
Figura 4. Fontes de biomassa (Adaptado CENBIO, 2009).....	Pág. 11
Figura 5. Exemplos de Vegetais Lenhosos (CLOPES, 2010).....	Pág. 13
Figura 6. Exemplos de Resíduos orgânicos (SLIVA, A; CARDOSO B. E BARROS, C., 2010).....	Pág. 14
Figura 7. Matérias-primas utilizadas para produção de Biodiesel no Brasil – mês de Referência (Agosto/2010) (ANP, 2010).....	Pág. 17
Figura 8. Cana-de-açúcar: fonte para produção do etanol brasileiro ( <a href="http://www.google.com.br/imagensdecana-de-açúcar">http://www.google.com.br/imagensdecana-de-açúcar</a> ).....	Pág.19
Figura 9. Resumo esquemático do processamento anaeróbio de lodos (PROSAB,2003).....	Pág. 24
Figura 10. Biodigestor de produção contínua (CERPH).....	Pág. 32
Figura 11. Biodigestor do tipo Batelada ( <a href="http://www.adjorisc.com.br/polopolyfs/1.304259.1275998035!/imagemen/2713437048.jpg">http://www.adjorisc.com.br/polopolyfs/1.304259.1275998035!/imagemen/2713437048.jpg</a> ).....	Pág. 33
Figura 12. Tonel de 230 litros – Biodigestor.....	Pág. 35
Figura 13. Saco plástico para coletado biogás.....	Pág. 37

Figura 14. Analisador Infravermelho para análise de CO, CO<sub>2</sub> e metano..... Pág. 38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores de metano e dióxido de carbono em relação ao número de dias e biodigestão..... Pág. 39

Tabela 2. Variação do pH ao longo do período de ensaio no biodigestor..... Pág. 42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Teor de CH <sub>4</sub> versus tempo de biodigestão.....	Pág. 40
Gráfico 2.	Teor de CO <sub>2</sub> versus tempo de biodigestão.....	Pág. 41
Gráfico 3.	Produção de metano e dióxido de carbono em função do tempo de biodigestão.....	Pág. 41
Gráfico 4.	Variação do pH ao longo do período de biodigestão anaeróbia.....	Pág. 43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
BEN – Balanço Energético Nacional  
Ca – Cálcio  
CAEEB – Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras  
CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa  
CERPH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas  
CH<sub>4</sub> - Metano  
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética  
CO – Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono ou gás carbônico  
Cr - Cromo  
Cu – Cobre  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPA – Environmental Protection Agency  
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
IEA – International Energy Agency  
K – Potássio  
Kg - Quilograma  
LABCAT – Laboratório de Catálise  
Mg – Magnésio  
MME – Ministério de Minas e Energia  
NaCl – Cloreto de Sódio  
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNBB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

tep – Toneladas de petróleo equivalente

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica



## RESUMO

Em muitas regiões os resíduos provenientes de animais são freqüentemente responsáveis pela poluição de águas superficiais e subterrâneas. Na implementação das técnicas voltadas à minimização de impactos ambientais e a racionalização do uso de energia, merece destaque a utilização de biodigestores no meio rural. A fim de obter energia limpa e, sem causar danos ao meio ambiente, o presente trabalho avaliou a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia do dejetos de suíno. Com base no trabalho desenvolvido pôde-se concluir que o modelo de reator anaeróbio do tipo batelada construído no laboratório apresentou bons resultados para o tratamento de dejetos suínos. A produção de biogás foi satisfatória, atingindo os teores médios de gás metano de 62,2% em 55 dias.

**PALAVRAS – CHAVE:** Biodigestão anaeróbia, biogás e dejetos suíno

## **ABSTRACT**

In many regions, the waste that come from animals are often responsible for the pollution of surface and groundwater. In the implementation of techniques aimed at minimizing environmental impacts and the rational use of energy, deserves the use of biogas digesters in rural areas. In order to obtain clean energy, without harming the environment, this study evaluated the production of biogas from anaerobic digestion of swine manure. Based on the work it was concluded that the model of anaerobic reactor type constructed in the laboratory was effective for the treatment of pig manure. The biogas production was satisfactory, reaching the average levels of methane gas from 62.2% in 55 days.

**KEY - WORDS:** Anaerobic Digestion, biogas and swine manure

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, estão promovendo ações de incentivo ao uso das fontes de energias alternativas. Segundo cálculos da Agência Internacional de Energia, em aproximadamente 20 anos cerca de 30% do total da energia consumida no mundo será derivada de fontes renováveis (CORTEZ *et al.*, 2008).

A adoção de fontes de energias alternativas é uma forma de reduzir a emissão de dióxido de carbono e metano, gases responsáveis pelo efeito estufa. Nesse sentido, buscam-se novas alternativas para suavizar tais emissões e dar maior sustentabilidade à matriz energética.

Hoje no Brasil, muitas pesquisas estão voltadas ao desenvolvimento de combustíveis renováveis e menos poluentes. Podemos citar como exemplos de combustíveis renováveis, o biodiesel, produzido a partir de gorduras animais ou óleos vegetais; o etanol, que é extraído da cana-de-açúcar e o biogás, que é uma mistura gasosa, originada pela degradação anaeróbia da matéria orgânica. Este último pode ocorrer em aterros sanitários, estações de tratamento anaeróbio de efluentes ou biodigestores de resíduos rurais.

Os biodigestores de resíduos rurais representam uma alternativa para o tratamento de resíduos, pois além de permitir a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos, promove a geração de biogás e também permite a reciclagem do efluente, podendo ser utilizado como biofertilizante.

Desta forma, nas últimas décadas, foram desenvolvidos vários sistemas baseados na aplicação da biodigestão do tipo anaeróbio para remoção do material orgânico de uma série de resíduos (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Diversos estudos envolvendo suínos, aves, bovinos e outros vêm sendo desenvolvidos, enfocando a digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos gerados nessas atividades, os quais mostraram ser bons substratos para a geração do biogás.

Segundo LUCAS JR (1994), o gerenciamento inadequado do enorme volume de resíduos gerados nas produções animais provoca perdas de potencial se não forem reciclados, tanto do ponto de vista de produção agrícola, pelos componentes fertilizantes presentes nos resíduos que poderiam ser aproveitados na melhoria das condições do solo como do ponto de vista energético, pela capacidade de produção de biogás decorrente do teor de matéria orgânica digerível.

Diante disto, este trabalho estuda à obtenção do biogás a partir da biodigestão anaeróbia do dejetos de suíno.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia do dejetos de suíno.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar qualitativamente o biogás produzido;
- Avaliar a qualidade do reator anaeróbio do tipo batelada desenvolvido no laboratório;
- Medir o potencial hidrogeniônico da mistura (esterco suíno mais água);
- Avaliar a capacidade do sistema proposto em manter a temperatura de digestão ideal.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL

Um dos temas de maior relevância neste começo de século tem sido o destaque sobre o sistema energético. Isto se justifica pelo modelo econômico vigente que se apoiou pelo uso de fontes primárias não renováveis, que durante muito tempo foram abundantes.

O mundo tem feito uso predominante no seu suprimento energético das fontes energéticas primárias não renováveis, como o petróleo, carvão mineral e gás natural. Estes por sua vez são grandes emissores de CO<sub>2</sub>, um dos gases responsáveis pelo “efeito estufa”, causador de elevação da temperatura do planeta e de mudanças climáticas. Este assunto tem sido amplamente debatido em eventos nacionais e internacionais relacionados com a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais do planeta.

Em um dos relatórios publicados em 2008, intitulado “World Energy Outlook”, a Agência declara claramente que o padrão atual de oferta e demanda de energia é insustentável ambientalmente, assim como também nas perspectivas sociais e econômicas, existindo a possibilidade de mudar esta tendência (IEA).

Na figura 1 a matriz de energia mundial é representada, de acordo com a oferta e as participações das diferentes fontes energéticas primárias desde o ano de 1980 até 2007.

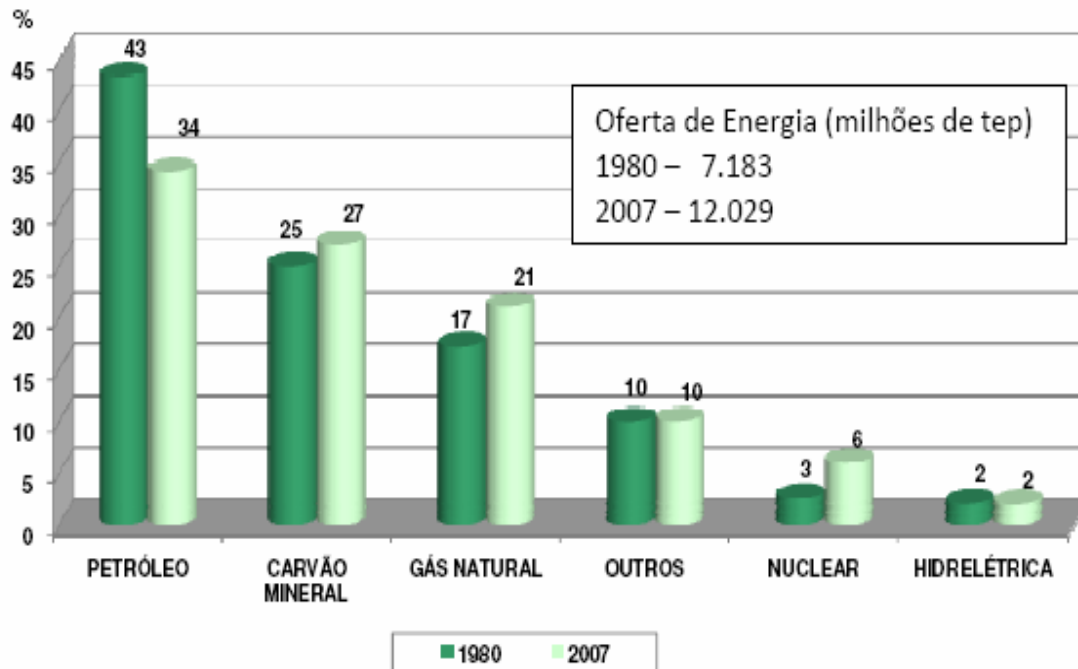


Figura 1: Matriz de Energia Mundial

Fonte: Agência Internacional de Energia - IEA

Pode-se perceber através da figura 1, que mundialmente foram utilizados maciçamente os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) no ano de 1980 representando um total de 85%. No ano de 2007, foram registradas participações de 34% do petróleo e derivados, de 27% do carvão mineral e de 21% do gás natural, totalizando os 82% da oferta total.

Ocorreu também uma “pequena mudança” no perfil de utilização destes combustíveis, uma diminuição do uso de petróleo (de 43% para 34%) e aumento do gás natural (de 17% para 21%) pode ser observado.

O crescimento da energia nuclear, dobrando sua participação, no período 1980/2007, contribuiu para um menor consumo dos combustíveis fósseis, particularmente o petróleo e derivados, na produção de energia elétrica.

A hidroeletricidade é uma fonte de energia renovável, é utilizada para produção de energia elétrica, esta fonte energética manteve uma participação constante de

apenas 2%, mostrando ser uma fonte de pequeno porte, em termos globais. O Brasil se destaca pelo uso dessa energia.

Por fim pode-se concluir que esta matriz de energia mundial não apresentou transformações significativas quanto a utilização das fontes energéticas primárias de energia.

Hoje, a maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, estão promovendo ações de incentivo ao uso das fontes de energias alternativas. O incentivo é gerado pela necessidade de redução do uso dos derivados de petróleo e conseqüentemente a diminuição da emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa (CORTEZ *et al.*,2008).

Segundo cálculos da Agência Internacional de Energia, em aproximadamente 20 anos cerca de 30% do total de energia consumida no mundo será derivada de fontes renováveis (CORTEZ *et al.*,2008).

Na figura 2 é mostrada a participação de fontes renováveis e não renováveis na oferta mundial de energia.



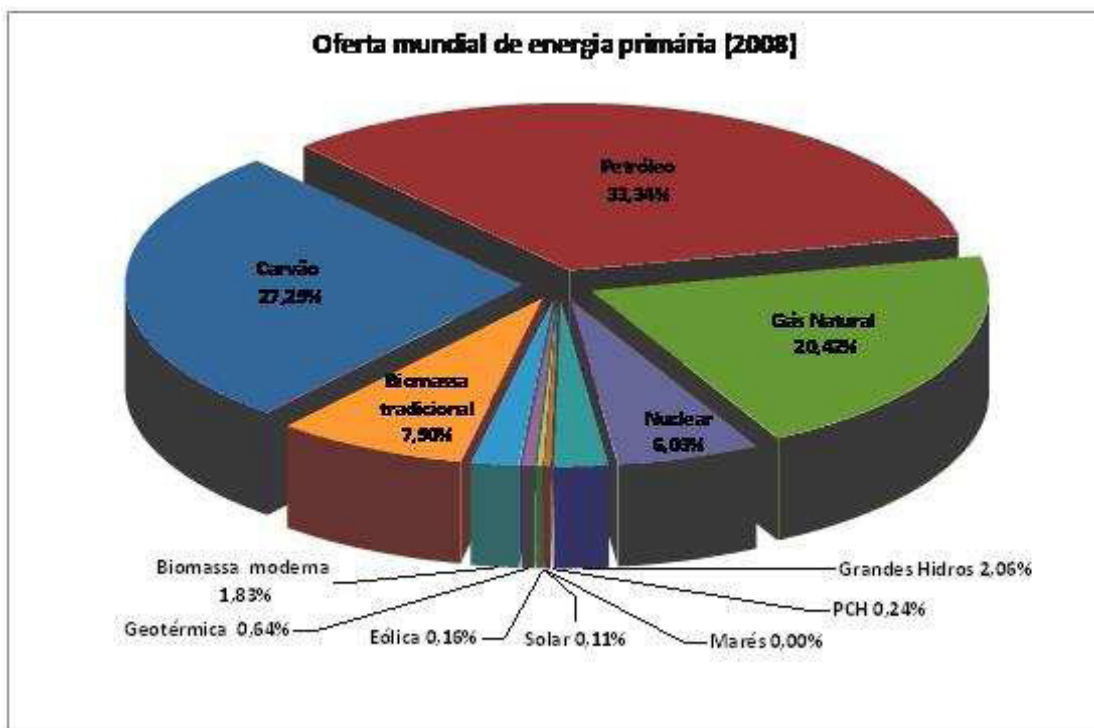


Figura 2: Oferta mundial de energia primária em 2008.

FONTE: CENBIO, 2010.

### 3.2 BIOMASSA

Novos modelos de produção e consumo de energia estão sendo desenvolvidos com base nas principais energias renováveis, como a biomassa, por exemplo. Ela é considerada uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos e uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, resultando na redução da dependência dos combustíveis fósseis.

O termo biomassa é considerado como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em algum tipo de energia. Compreendida também como matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados deste fenômeno, tais como as florestas, as culturas e os resíduos

agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos resíduos industriais e urbanos (ANEEL, 2008).

Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros (MME, 2007).

Ao contrário do que ocorre com outras fontes, como carvão, energia hidráulica ou petróleo, a biomassa tem sido pouco expressiva na matriz energética mundial, não sendo contabilizada com precisão. As estimativas mais aceitas indicam que a biomassa representa cerca de 13% do consumo mundial de energia primária, como mostra a figura 3 (ANEEL, 2008).

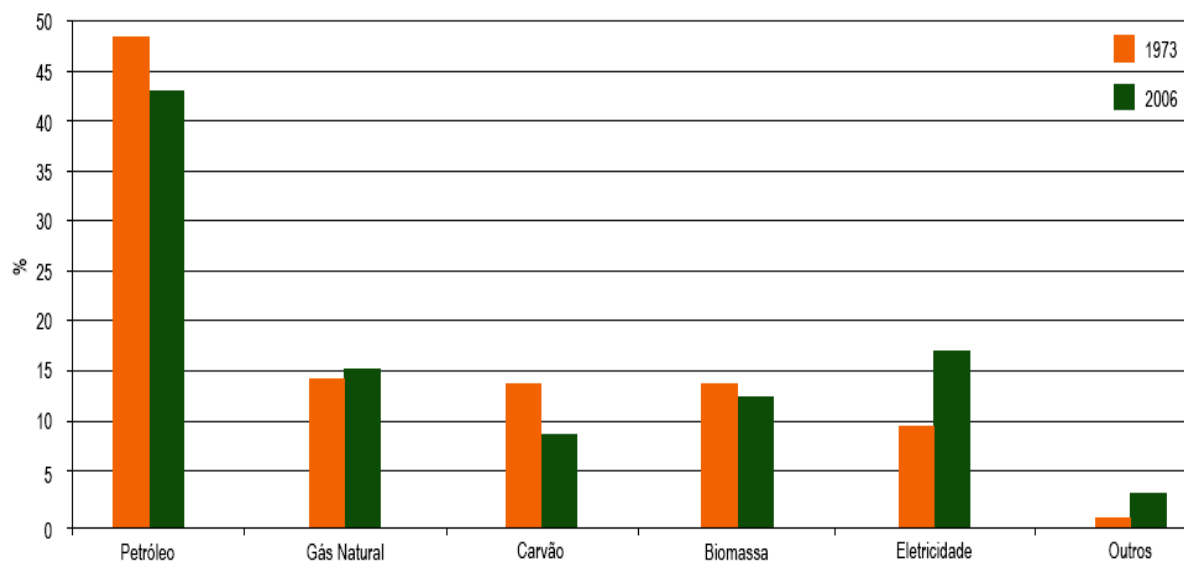


Figura 3: Matriz de consumo final de energia no anos de 1973 e 2006.

Fonte: IEA

Uma das primeiras utilizações humanas da biomassa como fonte de energia teve início com a utilização do fogo para cozimento e iluminação. A posse desse

recurso natural trouxe ao homem a possibilidade de exploração dos minérios, minerais e metais (PORTAL SAO FRANCISCO, 2010).

O grande salto da biomassa foi representado com a utilização da lenha na siderurgia. Com o advento da tecnologia a vapor, a biomassa também passou a ter um papel importante para obtenção de energia mecânica com aplicações nos setores da indústria e dos transportes (DECICINO, 2010 e PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010).

Durante a década de 70 com a crise de energia, as atenções foram voltadas para a utilização da biomassa e seus derivados como o álcool, biogás, gás de madeira e óleos vegetais nos motores de combustão interna (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010).

O Governo Federal implementou em 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) que teve como objetivo reduzir as importações de petróleo incentivando a produção de álcool, a partir da cana-de-açúcar (GEHLING, 2007).

Estima-se que o investimento total no Proálcool tenha sido de aproximadamente 12 bilhões de dólares desde 1976 e que o programa tenha proporcionado ao país uma economia de cerca de 29 bilhões de dólares. O investimento teve como resultado a produção duas vezes maior de etanol por hectare e a redução do custo numa média de 3,5 % ao ano nos últimos 20 anos (ROSILLO-CALE E CORTEZ, 1998).

A biomassa pode ser queimada diretamente para produzir eletricidade ou calor, ou pode ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos por meio de tecnologias de conversão como fermentação, empregada para produzir álcoois, a digestão bacteriana, para produzir biogás, e a gaseificação, para produzir um substituto do gás natural. Os resíduos agrícolas, industriais e florestais podem ser usados como fontes de biomassa.

Além de a biomassa possuir a vantagem de ser flexível ela possui custos reduzidos, pode ser renovável e permitir o reaproveitamento de resíduos que seriam desperdiçados sem qualquer tipo de reaproveitamento.

De acordo com alguns autores, a biomassa pode ser classificada de acordo com as fontes de obtenção, como, vegetais não lenhosos, vegetais lenhosos e resíduos orgânicos (CORTEZ *et al.*, 2008) ou de acordo com o aproveitamento (biomassa sólida, biocombustíveis gasosos e biocombustíveis líquidos).

Serão apresentadas a seguir as principais fontes de biomassa, de acordo com as fontes de obtenção.

### 3.2.1. Fontes de biomassa

Conforme a abordagem utilizada pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), as fontes de biomassa são separadas em três principais grupos: Vegetais não lenhosos; Vegetais lenhosos; e Resíduos Orgânicos.

As fontes de biomassa possuem diversas características e origens. Estas propriedades de cada fonte devem ser analisadas para utilizá-la de forma eficiente para geração de energia (CENBIO, 2010). A figura 4 a seguir ilustra a divisão das fontes de biomassa.

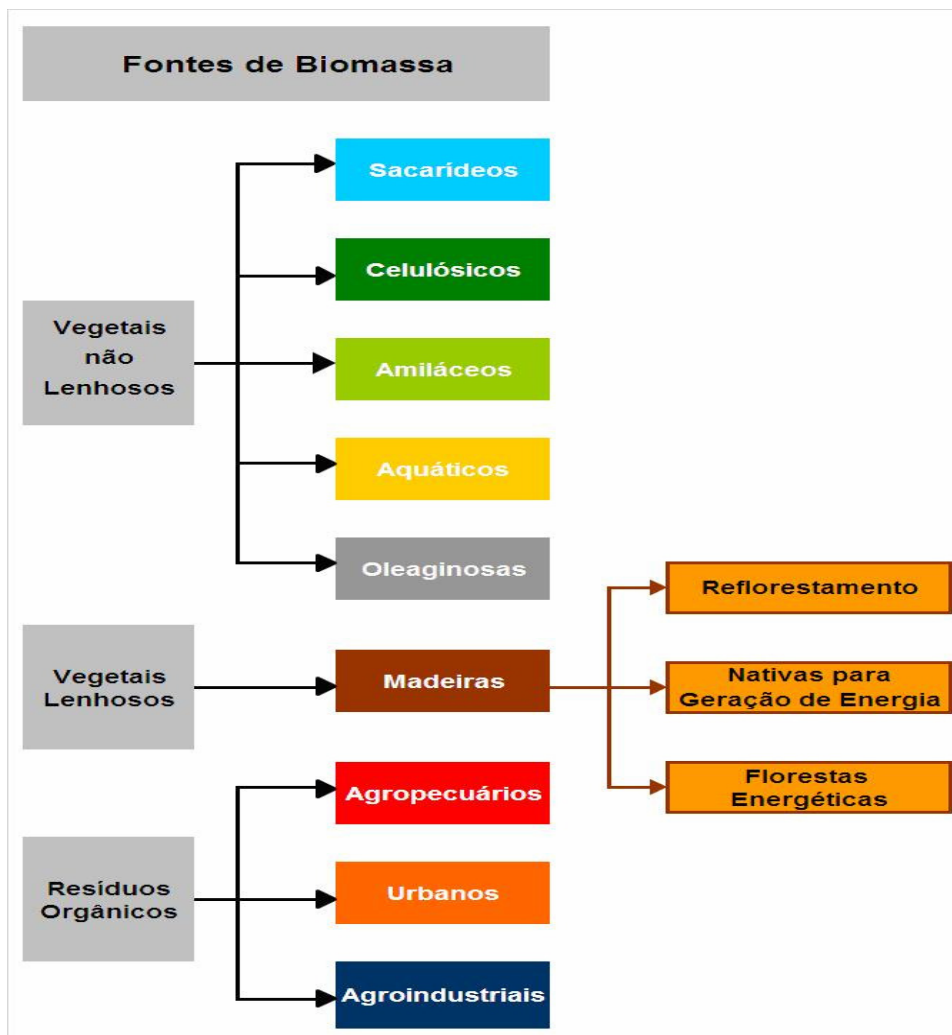


Figura 4: Fontes de biomassa  
 Fonte: Adaptado CENBIO, 2009.

### 3.2.1.1. Vegetais não Lenhosos

Os vegetais não lenhosos são produzidos, a partir de cultivos anuais, sendo classificados conforme a principal substância de armazenamento de energia, sendo estes sacarídeos, celulósicos, amiláceos, oleaginosas e aquáticos. Algumas destas fontes serão exemplificadas a seguir.

- Sacarídeos: esse grupo contempla os vegetais que possuem como tecido de armazenamento os açúcares, como sacarose. Esses açúcares geralmente são utilizados para fermentação e produção de etanol. Ex: cana-de-açúcar, beterraba, etc. (CENBIO, 2010).
  
- Celulósicos: apesar da celulose ser um dos constituintes principais da parede celular de todos os vegetais, esse grupo contempla os vegetais que não possuem como tecido de reserva a sacarose, amido ou óleo, sendo de utilidade energética somente sua estrutura morfológica. Ex: capim-elefante; gramíneas forrageiras, etc. (CENBIO, 2010).
  
- Amiláceos: esse grupo contempla os vegetais que possuem como tecido de armazenamento o amido. Ex: milho, mandioca, batata-doce, etc. (CENBIO, 2010).
  
- Oleaginosas: esse grupo contempla os vegetais que possuem óleos e gorduras que podem ser extraídos através de processos adequados. Ex: óleos de: soja, mamona, girassol, dendê, coco, milho, linhaça, babaçu, amendoim, algodão, etc. Os óleos podem ser utilizados para fins industriais, como alimento e também na produção de biodiesel. (CENBIO, 2010).
  
- Aquáticos: esse grupo considera as plantas aquáticas que possuem potencial para geração de energia. Entre elas estão o aguapé ou lírio aquático; algas e microalgas. (CENBIO, 2010).

### 3.2.1.2. Vegetais Lenhosos



Figura 5 : Exemplo de Vegetais Lenhosos

FONTE: CLOPES, 2010.

Conforme o CENBIO, os vegetais lenhosos são aqueles capazes de produzir madeira como tecido de suporte, ou seja, são as árvores. Observando pelo lado energético, essa produção de madeira agregada a processos e tecnologias específicas produzirá a disponibilidade de conversão de energia (CENBIO, 2010). A obtenção da madeira pode se dar por meio de florestas nativas ou florestas plantadas.

### 3.2.1.3. Resíduos Orgânicos



Figura 6: Exemplos de Resíduos orgânicos.

Fonte: SILVA, A; CARDOSO B. E BARROS, C. (2010)

Os resíduos, por si só, recebendo tratamento inadequado, podem acarretar em sérios danos ao meio ambiente, devido ao potencial de contaminação, porém a utilização apropriada destes resíduos como fonte de energia é considerada oportuna e viável (CENBIO, 2010).

De acordo com o CENBIO (2010), os resíduos orgânicos dividem-se em:

- Agropecuários: Materiais que não tem utilidade e que resultam da produção agrícola e pecuária. A exploração destes resíduos agrícolas deve ser realizada de maneira racional, pois parte deles são utilizados para reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas e na proteção do solo contra erosão. Ex: palhas (folhas e caules).
- Urbanos: São resíduos sólidos, semi-sólidos ou semi-líquidos gerados em ambientes comerciais e domésticos. Os resíduos urbanos ou lixo são restos das



atividades humanas, sendo considerado como indesejáveis. Ex: restos de alimentos, embalagens, vasilhames, etc.

- Agroindustriais: Estes resíduos geralmente são utilizados para geração de energia elétrica ou vapor. Ex: resíduos de serragem, bagaço da cana, borra da fabricação do café solúvel, cascas de produtos vegetais, lixívia (“licor negro”) produzidos na fabricação de papel e celulose, etc. (CENBIO, 2010).

### 3.3 APLICAÇÕES DA BIOMASSA

Há uma diversidade de aplicações provenientes dos recursos energéticos da biomassa. Dentre as vantagens da utilização da biomassa em comparação com os combustíveis fósseis estão a menor poluição atmosférica, geração de mais empregos e estabilidade do ciclo de carbono.

Comparando a biomassa com outras fontes de energia renováveis ela destaca-se pela alta densidade energética e facilidade de transporte, armazenamento e conversão (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010).

A seguir serão apresentadas algumas aplicações da biomassa, dentre elas os dois principais biocombustíveis líquidos existentes no Brasil, o biodiesel, produzido a partir de gorduras animais ou óleos vegetais e o etanol que é extraído da cana-de-açúcar (ANP, 2010). Também será apresentado o biocombustível gasoso, o biogás, originado pela degradação anaeróbia da matéria orgânica.

#### 3.3.1. Biodiesel

A principal fonte de combustível nos últimos 50 anos tem sido o petróleo, embora o primeiro motor a diesel tenha funcionado com óleo de amendoim. Contudo, em

razão da escassez e dos efeitos adversos ao meio ambiente, em particular o aquecimento global, combustíveis de outras fontes têm sido empregados. Exemplo disso são as plantas para produção de biodiesel e de álcool.

Segundo a Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, observado no PORTAL DO BIODIESEL (2010), considera-se biodiesel o biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

Dentre os derivados da biomassa, o biodiesel tem se destacado significativamente. Trata-se de um combustível produzido a partir de óleos vegetais, gordura animal e até sobras de óleos de frituras (DECICINO, 2010). Os óleos vegetais são em geral obtidos por prensagem, extração com solventes e posterior purificação e refino. Existem diferentes métodos para transformar um óleo vegetal em biodiesel, como o craqueamento, a esterificação e a transesterificação.

Esta última, mais utilizada, consiste numa reação química de óleos vegetais ou de gorduras animais com o etanol ou o metanol, na presença de um catalisador. Nesta reação de transesterificação, os reagentes são óleo vegetal, álcool e catalisador, tendo como produtos o biodiesel, a glicerina e o álcool processado (PORTAL DO BIODIESEL, 2010).

No Brasil existe uma diversidade de espécies das quais se podem produzir o biodiesel, como, mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras (PORTAL DO BIODIESEL, 2010).

Na figura 7 são representadas as principais matérias - primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil:

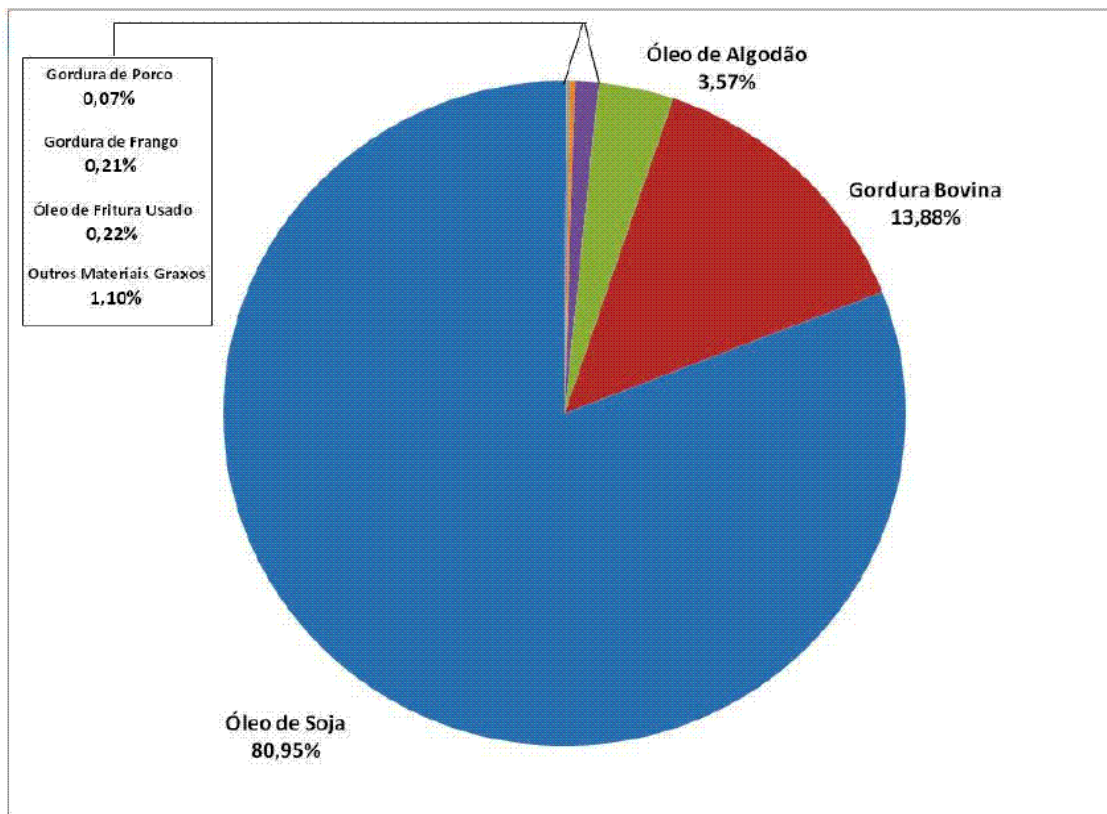


Figura 7: Matérias-primas utilizadas para produção de Biodiesel no Brasil – mês de Referência (Agosto/2010)  
 FONTE: ANP, 2010

O biodiesel pode ser usado puro ou em uma mistura com o óleo diesel derivado do petróleo, em qualquer proporção. Esta mistura pode ser usada em motor de ignição a compressão (diesel) sem que haja necessidade de sua modificação.

No Brasil há um programa do Governo Federal (PNBB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel) que possui como objetivo a implementação de forma sustentável da produção e utilização do biodiesel, com enfoque na inclusão social e desenvolvimento regional através da geração de empregos (PORTAL DO BIODIESEL, 2010). Este programa criado em 2005, prevê a obrigatoriedade da adição de 2% desse combustível ao diesel tradicional a partir de 2008 e de 5% a partir de 2013 (FERREIRA e LEITE, 2010).

Em 2009, por decisão do Governo Federal através do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), foi aprovada uma resolução antecipando o aumento da mistura de biodiesel no diesel fóssil para 4% a partir de 1º julho do mesmo ano, no lugar dos 3% vigentes até aquela data. Esse percentual foi aumentado para 5% a partir de 01 de janeiro de 2010 (BEN).

A seguir são apresentadas de acordo com Ferreira e Leite (2010), algumas vantagens do uso do biodiesel com relação aos combustíveis fósseis:

- é uma alternativa econômica;
- gera na sua combustão principalmente substâncias como a água e o gás carbônico, evitando a emissão de gases de efeito estufa;
- menos poluente que o óleo diesel, uma vez que não possui na sua estrutura molecular enxofre, não gerando assim compostos secundários indesejáveis sulfurados, que são contaminantes da atmosfera terrestre;
- é uma energia renovável;
- oferece uma alternativa de auto-suficiência para a agricultura familiar, pois o agricultor que produzir óleo vegetal ou álcool poderá utilizá-lo como tal ou transformá-lo em combustível.

### 3.3.2. Etanol



Figura 8: cana-de-açúcar: fonte para produção do etanol brasileiro.

Fonte: <http://www.google.com.br/imagensdecana-de-açúcar>

O etanol ou bioetanol como também é conhecido, é o álcool etílico produzido a partir da biomassa. De acordo com FERREIRA e LEITE (2010), é um produto oriundo da fermentação de açúcares derivados da cana-de-açúcar, milho e outros grãos que contenham carboidratos, biomassa, madeira ou dejetos de animais.

Segundo a Revista Veja (2008), o Brasil, Estados Unidos, Canadá, China, Índia e Colômbia são alguns dos principais produtores de etanol do mundo.

O etanol pode ser produzido a partir de várias fontes vegetais, entretanto a cana-de-açúcar é a que oferece maiores vantagens energeticamente e economicamente. O etanol brasileiro é produzido a partir da cana-de-açúcar (ANP, 2010) enquanto que o etanol americano é produzido a partir do milho. A EPA (Agência de Proteção Ambiental) considera o etanol proveniente da cana menos poluente do que o etanol proveniente do milho. Segundo essa Agência, o etanol

produzido a partir da cana-de-açúcar reduz ao menos 40% à emissão de dióxido de carbono em relação à gasolina (CHACRA, 2010).

Há no Brasil o incentivo a produção de etanol, estimulado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado pelo Governo Federal em 2007, onde no período de 2007 a 2010 deverão ser investidos R\$ 13,3 bilhões na construção de mais de cem usinas de etanol e biodiesel. Apenas na utilização de automóveis do tipo flex fuel (utilizam tanto etanol quanto gasolina) o consumo deste combustível mais que dobrou nos últimos sete anos, superando os 67 milhões de litros em 2007 (ANEEL, 2008).

O consumo de etanol no Brasil deverá saltar de 25,5 bilhões de litros, consumidos em 2008, para 63,9 bilhões de litros em 2017, o que equivale a um aumento de cerca de 150%, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (MME, 2007). Os dados referidos constam do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDE 2008-2017) (MME, 2007).

O grande responsável pelo consumo deverá ser o setor automotivo, onde o etanol poderá representar 80% do volume total de combustíveis líquidos consumidos nos veículos leves, em 2017. Observado ainda neste mesmo ano, segundo a EPE, o país deverá exportar 8,3 bilhões de litros, o que representa um aumento de 66% comparado a 2008. Isso tornará o Brasil o maior exportador de etanol do mundo.

O etanol assim como os biocombustíveis de um modo geral podem ser classificados em duas gerações, de acordo com a sua forma de obtenção (técnicas de fabricação) e a matéria-prima utilizada (produtos que podem ser utilizados para alimentação ou não).

A primeira geração é produzida de duas formas: através da fermentação de amido ou à base de produtos alimentares. Outra forma é através da transformação de óleos vegetais, como a soja, colza e palmeira no biodiesel (FERREIRA e LEITE,

2010). Caracterizam-se por serem provenientes de matérias-primas cultivadas e pela baixa complexidade tecnológica para sua produção, por isso compõem a matriz energética predominante no presente. São considerados de primeira geração: o biogás, o biodiesel (soja, girassol e colza), o bioetanol (milho, cana-de-açúcar, beterraba e trigo) e o óleo vegetal.

A segunda geração decorre de uma ampla gama de recursos não destinados à alimentação, como: celulose, sobras de outros produtos como resíduos agrícolas advindos de talos, cascas e palhas de milho, do arroz e da cana-de-açúcar; sobras de silvicultura como restos de madeira e de árvores; árvores e gramíneas cultivadas como culturas energéticas de rápido crescimento; resíduos de papel; resíduos alimentares, entre outros. Sua obtenção advém de materiais da biomassa celulósica ou, mais precisamente, lignocelulósica, caracterizando-se pela alta complexidade tecnológica exigida para sua obtenção, assim como pela predominância de sua matéria-prima, composta por resíduos.

Pertencem à segunda geração: o biohidrogênio, o biogás, o bioetanol e o biocombustível sintético (diferenciando da primeira geração pela matéria-prima utilizada, o material lignocelulósico, por exemplo, palha e restolho da cana-de-açúcar) e o biodiesel de óleos vegetais e de gordura animal.

Imprescindível mencionar que esta geração tem vantagens significativas em relação à primeira geração de etanol, como o aproveitamento da biomassa e de resíduos não aproveitados (lixo), a não disputa por solos com áreas de plantio de alimentos, entre outros aspectos.

### 3.3.3 Biogás

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzida por intermédio do processo fermentativo da biomassa, tendo por constituinte energético o metano, além do

gás carbônico e outros gases, presentes em menor proporção, variável em função da composição do resíduo (MAGALHÃES, 1986).

Este processo fermentativo se dá através da degradação da matéria orgânica. Sua produção é a partir da reação de uma variedade de resíduos orgânicos, como lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, lodo de esgoto, entre outros.

A formação de biogás pode ocorrer em aterros sanitários, estações de tratamento anaeróbio de efluentes ou biodigestores de resíduos rurais. Nestes locais, a matéria orgânica presente nos resíduos é degradada, em uma atmosfera sem oxigênio, por bactérias anaeróbias que, aliando outras condições favoráveis como temperatura, umidade e pH, produzem o biogás (PECORA, 2006).

O biogás possui um potencial energético que varia em função da presença de metano em sua composição. Quanto mais metano, mais rico é o biogás. Tipicamente o biogás é composto por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Estes 5% desta mistura de outros gases podem vir a ser um problema se for realizado em grande escala o tratamento dos resíduos utilizando o processo de biodigestão anaeróbia, pois contém gases perigosos, como por exemplo, a amônia e o gás sulfídrico que podem causar danos ao meio ambiente. Neste caso devem ser realizadas filtrações específicas para esses gases perigosos que o biogás contém. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano (PECORA, 2006).

Diante da composição de metano que o biogás apresenta, ele pode ser utilizado como combustível substituindo o gás natural ou gás liquefeito de petróleo. Esse biocombustível permite a produção de energia elétrica e térmica, pode ser



aproveitado na queima direta (aquecedores, fogões e caldeiras), ou na conversão do biogás em eletricidade (SGANZERLA, 1983).

Por fim a conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, destilarias, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos (COSTA, 2002).

### 3.4 PROCESSO DE CONVERSÃO

Os processos de conversão da biomassa em energia são muito diversos e, sendo o mais popular a queima direta da biomassa sólida destinada à produção de energia térmica e/ou elétrica. Outra forma de valorização da biomassa é a sua conversão em biocombustíveis. Estes são líquidos ou gasosos e os mais comuns são: etanol, metanol, biodiesel e biogás (MALICO, 2010).

Visando aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos sócio-ambientais, têm-se desenvolvido outras tecnologias de conversão da biomassa, como a gaseificação, pirólise, craqueamento, esterificação, liquefação, combustão direta, entre outros (MALICO, 2010). O processo de conversão de energia que será discutido neste projeto será o de biodigestão anaeróbia.

#### 3.4.1 Biodigestão Anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é um processo biológico, onde diferentes tipos de microorganismos, na ausência de oxigênio, promovem a transformação de

compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como metano e gás carbônico (NOPHARATANA, et al. 2003).

Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos e é bastante utilizado no tratamento de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais etc.). Podem ser feitos pela digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento provocados pela ação das bactérias acidogênicas e metanogênicas (ANEEL, 2010).

Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante (ANEEL, 2005).

#### 3.4.1.1. Etapas do Processo de Biodigestão Anaeróbia

Uma parte dos produtos da biodigestão anaeróbia é formada por gases que se desprendem da fase residuária, formando o biogás. O material orgânico contido na fase líquida é então transferido para a fase gasosa. Este processo acontece em três etapas principais no processo global da conversão da matéria orgânica: I) Hidrólise; II) Acidogênese e Acetogênese e III) Metanogênese (figura 9).

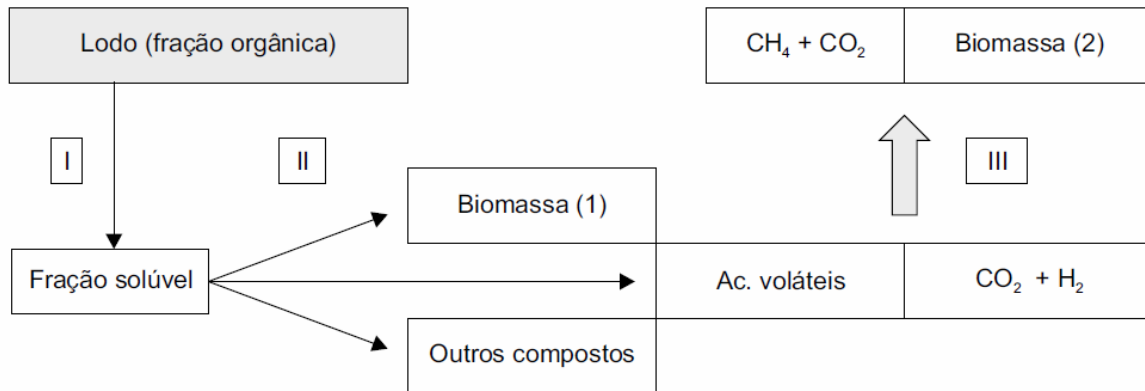


Figura 9: Resumo esquemático do processamento anaeróbico de lodos. I – hidrólise; II - acidogênese e acetogênese; III – metanogênese. Biomassa (1): crescimento consorciado de bactérias hidrolíticas e acidogênicas. Biomassa (2): microorganismos metanogênicos.

FONTE: PROSAB, 2003.

No caso de substratos particulados como os lodos orgânicos o passo limitante do processo é representado pela hidrólise, em que a maioria dos compostos orgânicos complexos e polimerizados devem ser degradados em produtos mais simples. Na acidogênese, os compostos orgânicos mais simples são convertidos, por meio das bactérias acidogênicas, em ácidos graxos voláteis de cadeia curta (acético, butírico e propiônico), ácido láctico e compostos minerais. Na etapa seguinte, a acetogênese, ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, dióxido de carbono e hidrogênio. Finalmente, na última etapa, a metanogênese, considerada a mais importante e sensível, os ácidos voláteis são consumidos como alimento pelas bactérias metanogênicas e são produzidos metano e dióxido de carbono. Algum metano extra é produzido da conversão do dióxido de carbono e hidrogênio produzidos na acetogênese (PROSAB,2003).

### 3.4.2 Fatores que interferem na biodigestão anaeróbia

O processo de biodigestão anaeróbia pode ser influenciado por uma série de fatores, que pode favorecer ou não a partida do processo, a degradação do substrato, o crescimento e declínio dos microrganismos envolvidos, a produção de biogás, assim como, podem determinar o sucesso ou a falência do tratamento de determinado resíduo (NOPHARATANA, et al. 2003). Entre esses fatores podemos citar:

- Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)

O TRH é entendido como o intervalo de tempo necessário de permanência do afluente para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada. Pode ser entendido também como o tempo de permanência dos microrganismos e dos sólidos no interior dos biodigestores, esses tempos são expressos em dias (FUKAYAMA, 2008).

- Temperatura

A temperatura tem muita importância na fermentação. Nas temperaturas mais altas o tempo de retenção para decompor os sólidos orgânicos é menor embora o grau de decomposição é praticamente igual em diferentes temperaturas segundo a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Quanto menor a temperatura, menor a velocidade de reação e maior o tempo para tratamento anaeróbio, já que a atividade dos microrganismos diminui com a diminuição da temperatura. Os microrganismos são extremamente sensíveis a mudança de temperatura, qualquer variação que ultrapasse os 3°C afeta a produção de metano. Microrganismos mesofílicos atuam a uma temperatura entre 30e 40°C (PECORA, 2006).

- Nutrientes

Para que ocorra a degradação da matéria orgânica no biodigestor de maneira eficaz são necessários nutrientes para os microorganismos, como por exemplo, nitrogênio, carbono e sais minerais. O nitrogênio é encontrado nos dejetos de animais e de pessoas. Fontes ricas de carbono são os restos de culturas vegetais que possuem na sua estrutura polissacarídeos. Os polissacarídeos são os que apresentam fonte de carboidratos. Os sais minerais presentes nos dejetos de animais e vegetais são suficientes para nutrição dos microorganismos. O carbono (carboidratos) e o nitrogênio (proteínas, nitratos, amônia) são os “alimentos” principais das bactérias anaeróbias. O carbono fornece energia e o nitrogênio é utilizado para construir a estrutura das células (SPEECE, 1983). Se não houver um adequado equilíbrio entre os compostos nitrogenados e de carbono a produção de biogás pode ficar comprometida.

- Substância nocivas

Os microorganismos são muito sensíveis a substâncias como NaCl, Cu, Cr, K, Ca, Mg. Por isso, suas concentrações devem ser baixas e constantemente controladas (SPEECE,1983). No que se refere a resíduos originados na produção animal, a administração de antibióticos aos animais, o uso de desinfetantes e pesticidas pode influir negativamente sobre a população microbiana, uma vez que esses compostos são encontrados em larga escala na propriedade rural e podem misturar-se aos dejetos após a lavagem das instalações. Desde que em excesso, qualquer nutriente ou elemento em solução no biodigestor pode provocar sintomas de toxidez ao meio bacteriano segundo a EMBRAPA.

- Acidez – alcalinidade

Em um biodigestor em operação é muito importante a manutenção de pH sempre constante. As variações nas concentrações de CO<sub>2</sub> e ácidos voláteis tendem a

alterar o pH do meio. As bactérias envolvidas no processo de fermentação são altamente sensíveis a mudanças de pH do meio. A faixa de operação dos biodigestores é entre 6,0 - 8,0, tendo como ponto ótimo pH 7,0 - 7,2.(MOOSBRUGGER *et al.*, 1993).

- Agitação da biomassa

Alguns autores se referem ao emprego da agitação da biomassa como interferente positivo no processo de digestão e, conseqüentemente, na produção de biogás, tendo como finalidades manter a temperatura uniforme no substrato e evitar a formação de crostas, a agitação pode ser feita por agitadores mecânicos ou de recirculação do efluente ou do biogás (SILVA, 1983; LUCAS JÚNIOR *et al.*, 1987).

### 3.5 DEJETOS SUÍNOS

A poluição do ambiente por resíduos orgânicos de origem animal e vegetal, oriundos da exploração agropecuária ou industrial, vem colocando em risco o equilíbrio ecológico pela introdução de agentes patogênicos a animais e vegetais (MATOS *et al.*, 1997).

Segundo a Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a poluição do meio ambiente na região produtora de suínos é alta, pois enquanto para o esgoto doméstico, a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é de cerca de 200 mg.L<sup>-1</sup>, a DBO dos dejetos suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, em torno de 260 vezes superior. Além disso, um suíno produz cerca de 2,5 vezes mais dejetos do que um ser humano (DAROLT, 2002).

Segundo MATOS *et al.* (1997), a suinocultura é uma exploração pecuária concentradora de dejetos animais, possuidora de alta carga poluidora para o solo, ar e a água. Por esse motivo, o suinocultor precisa estabelecer um esquema de manejo desse material que seja adequado às condições existentes em sua propriedade.

Diante do exposto torna-se clara a necessidade de um tratamento prévio dos resíduos para posterior aplicação no solo. A biodigestão anaeróbia pode ser usada nesse tratamento, pois além de diminuir o poder poluente, e os riscos sanitários (diminuição de moscas e odores) de dejetos, obtém-se como subprodutos o biogás e o biofertilizante (SANTOS & LUCAS JR., 1998).

### 3.5.1 Biodigestão do dejetos suíno

O tratamento de resíduos suínos por meio da biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma atividade economicamente viável para os produtores, tendo em vista o aproveitamento do biogás na própria atividade agrícola, diminuindo assim os custos de produção.

O biogás pode ser utilizado em diversas aplicações na propriedade rural, tais como em chocadeiras, incubadoras, campânulas para aquecimento de aves, refrigeradores, geradores de energia elétrica, além do consumo doméstico.

Além do biogás, o processo de biodigestão anaeróbia produz o biofertilizante, que segundo a CAEEB (1981) apresenta várias vantagens de aplicação no solo, como por exemplo, a introdução de certos minerais necessários ao crescimento das plantas e introdução de grande número de microrganismos e protozoários, resultando em aumento da velocidade de decomposição, o que torna os nutrientes mais assimiláveis pelas plantas.

## 3.6 BIODIGESTOR

### 3.6.1 Definição

Os digestores consistem basicamente numa câmara de fermentação, onde é processada a biodigestão da matéria orgânica, numa saída para este gás e numa saída para o efluente produzido pelo processo. É uma tecnologia simples, na qual a principal preocupação é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. São muitos os modelos de biodigestores, alguns com importantes detalhes construtivos, que dependem do tipo de aplicação a que são destinados e, também, do nível tecnológico disponível. Eles visam satisfazer determinadas demandas específicas para cada caso, como, por exemplo, o saneamento, o atendimento de uma demanda energética e a utilização do material biodegradado como fertilizante. O biodigestor deve ser concebido com o objetivo de proporcionar essas vantagens citadas, embora seja reconhecidamente difícil atender as três de forma integrada e otimizada (PROSAB,2003).

### 3.6.2 Classificação dos biodigestores

Os biodigestores podem ser classificados segundo o tipo de construção (subterrânea ou externa), modo de operação (batelada-descontínua ou contínuo), a forma de armazenamento do gás (gasômetro ou dentro do próprio reator), fluxo das substâncias em fermentação (vertical, horizontal ou ascendente), temperatura de operação, com ou sem agitação e com ou sem dispositivos para agregar a biomassa bacteriana (ORTOLANI *et al.*; 1991). Neste trabalho o modo de operação de um biodigestor é destacado.



### 3.6.2.1 Biodigestor do tipo Contínuo

Na produção contínua, esta pode acontecer por um longo período (o abastecimento é diário), sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. A biomassa é colocada no biodigestor ao mesmo tempo em que o biofertilizante é retirado. Observe a figura 10 abaixo que mostra como se faz o carregamento desse tipo de biodigestor.

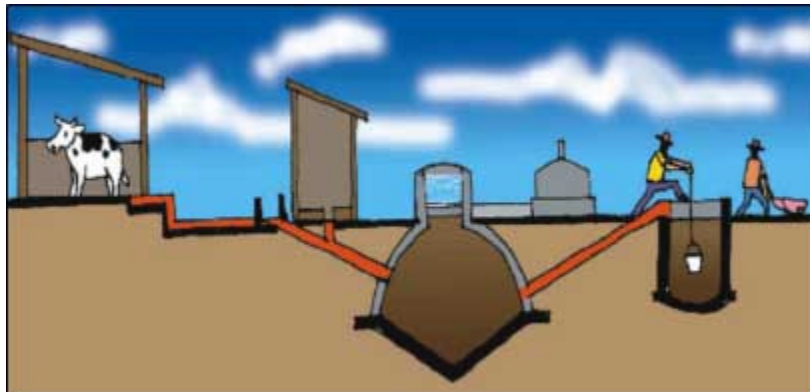


Figura 10 : Biodigestor de produção contínua

Fonte: CERPH

### 3.6.2.2 Biodigestor do tipo Batelada

O biodigestor do tipo batelada possui um sistema simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, ou seja, ele é um biodigestor descontínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás (ORTOLANI *et al.* 1991). Um exemplo de biodigestor do tipo batelada pode ser visto na figura 11. O tipo de biodigestor anaeróbio escolhido para este projeto foi do tipo batelada.

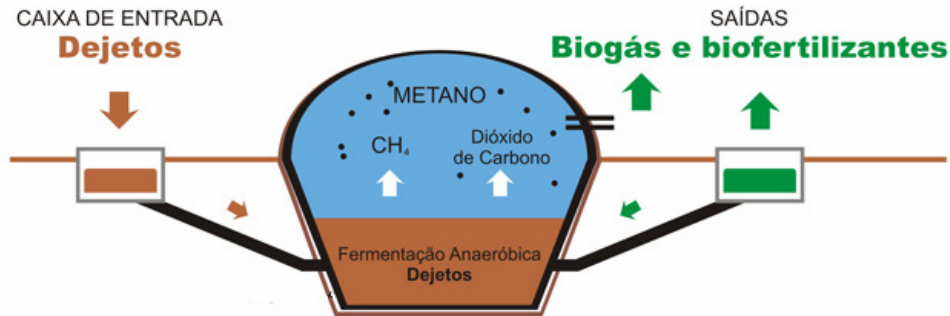


Figura 11: Biodigestor do tipo Batelada.

FONTE: [http://www.adjorisc.com.br/polopoly\\_fs/1.304259.1275998035!/image/2713437048.jpg](http://www.adjorisc.com.br/polopoly_fs/1.304259.1275998035!/image/2713437048.jpg)

### 3.7 TRABALHOS REALIZADOS UTILIZANDO O SISTEMA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

NASCIMENTO e LUCAS JUNIOR (1995) encontraram a produção de biogás na biodigestão anaeróbica de estrume de suínos com cinco tempos de retenção hidráulica, de  $0,0863 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  para TRH de 50 dias,  $0,1152 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  para TRH de 30 dias,  $0,1145 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  para TRH de 20 dias,  $0,1152 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  para TRH de 15 dias,  $0,0931 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  para TRH de 10 dias.

As várias experiências já realizadas na área de biodigestão anaeróbica indicam uma correlação entre a produtividade do processo e a faixa de temperatura de operação. Sendo o processo eminentemente biológico, os microrganismos participantes devem ser então adaptados ao meio (LUCAS JUNIOR *et al.*, 1997).

Segundo AHN e FORSTER (2002), os microrganismos termofílicos suportam melhor os efeitos da variação de temperatura em relação aos microrganismos mesofílicos. CASTRO e CORTEZ (1998), estudando a influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino, concluíram que a faixa de temperatura mesofílica (de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mostrou-se a mais favorável, não só em

relação à produção de biogás, como também em relação à eficiência na degradação de sólidos do esterco bovino.

SOUZA (2001) avaliou a eficiência da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos de suínos em terminação, estudando as temperaturas de 25, 35 e 40°C, sob efeito ou não de agitação, com tempos de retenção hidráulica de 30, 25, 15 e 10 dias. Concluiu que o melhor desempenho geral foi verificado na temperatura de 35 °C .

SOUZA *et al.* (2002), avaliando a partida de biodigestores de bancada, alimentados com dejetos de suíno, submetidos a três temperaturas diferentes (25, 35 e 40 °C) e agitação do substrato, concluíram que as temperaturas de 35 e 40 °C favoreceram a partida dos biodigestores, pois resultaram em maior produção acumulada de biogás.

GORGATI e LUCAS JÚNIOR (1996) avaliando a fração orgânica de lixo urbano como substrato para biodigestor encontrou o início de produção efetiva de biogás aos 35 dias, constatando-se o pico de produção aos 98 dias.

MASSÉ e MASSE (2001), estudando o efeito das temperaturas de 20° C, 25 °C e 30 °C no tratamento de águas residuárias de abatedouro em biodigestor anaeróbio seqüencial, concluíram que a produção de metano decai quando o biodigestor é operado na temperatura de 20° C.

Segundo MASSÉ *et al.* (2003), o desempenho do biodigestor anaeróbio diminui significativamente quando a temperatura operacional cai de 20° C para 10° C.

## 4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 4.1 LOCAL

O trabalho foi realizado no Laboratório de Catálise (LABCAT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), no período de 15 de março de 2010 a 09 de maio de 2010.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense situa-se no município de Campos dos Goytacazes ao norte do estado do Rio de Janeiro. O clima da região é tropical, ou seja, quente e úmido (<http://jornaldotempo.uol.com.br/previsaodotempo.html/brasil/CamposdosGoytacazes-RJ/>).

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR BATELADA

O biodigestor utilizado neste projeto foi confeccionado pelo professor Paulo Roberto Nagipe da Silva e pelos alunos do Laboratório de Catálise que estavam envolvidos no projeto. Foi utilizado como biodigestor do tipo batelada um tonel com capacidade útil de 230,0 L. Era constituído basicamente por um tonel de plástico resistente e uma tampa rosqueada. A esta tampa foi adaptada uma torneira para que pudesse ser recolhido o biogás. Esse biodigestor pode ser visto na figura 12.



Figura 12: Tonel de 230 litros - Biodigestor

### 4.3 RESÍDUO

Foi utilizado resíduo suíno obtido da fazenda São Tomé, conhecida popularmente como “Alambique do Lelei” no distrito de Farol de São Tomé em Campos dos Goytacazes - RJ. A biomassa foi coletada ao amanhecer antes da lavagem das baias, o resíduo estava “fresco” e pronto para a biodigestão anaeróbia.

### 4.4 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Com a chegada do esterco suíno ao laboratório pela manhã, fez - se a pesagem da biomassa para posterior cálculo em relação à água que se deve misturar ao esterco. Foi utilizada a proporção de duas partes de água para cada parte de dejetos suíno pesado de acordo com JÚNIOR *et al.*, (2009).

Foi pesado 45,0 Kg de dejetos suínos utilizando uma balança eletrônica comercial e um balde de plástico. Após a pesagem o dejetos foi transferido do balde para o biodigestor. Em seguida foram acrescentados 90,0 L de água da torneira, totalizando 135,0 Kg de mistura a ser biodigerida durante cerca de dois meses.

Após a introdução dos substratos, o biodigestor foi fechado e agitado manualmente por um período de cinco minutos com o objetivo de manter a temperatura do substrato uniforme e evitar a formação de crostas (SILVA, 1983; LUCAS JÚNIOR *et al.*, 1987).

Durante todo o período do trabalho, o biodigestor foi agitado manualmente uma vez por dia. O tonel ficou próximo da janela do laboratório de catálise para que absorvesse mais calor do ambiente. A temperatura do sistema foi monitorada no período da tarde e mantida entre 34-37 °C.

Foram analisados os teores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, pH e temperatura para o monitoramento do desempenho do biodigestor.

## 4.5 DETERMINAÇÃO PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO BIODIGESTOR

### 4.5.1 Composição do biogás

As análises de composição do biogás foram realizadas semanalmente para determinação dos teores de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

A coleta do biogás era feita com a utilização de sacos plásticos (figura13) específicos para coleta de gases. Antes da coleta, esses sacos plásticos eram limpos, utilizando gás nitrogênio por duas a três vezes para que boa parte dos gases atmosféricos ou outros gases quaisquer fossem eliminados.



Figura 13 : Saco plástico para coleta do biogás

As amostras eram analisadas num sistema de detecção infravermelho para análise de CO, CO<sub>2</sub> e Metano.



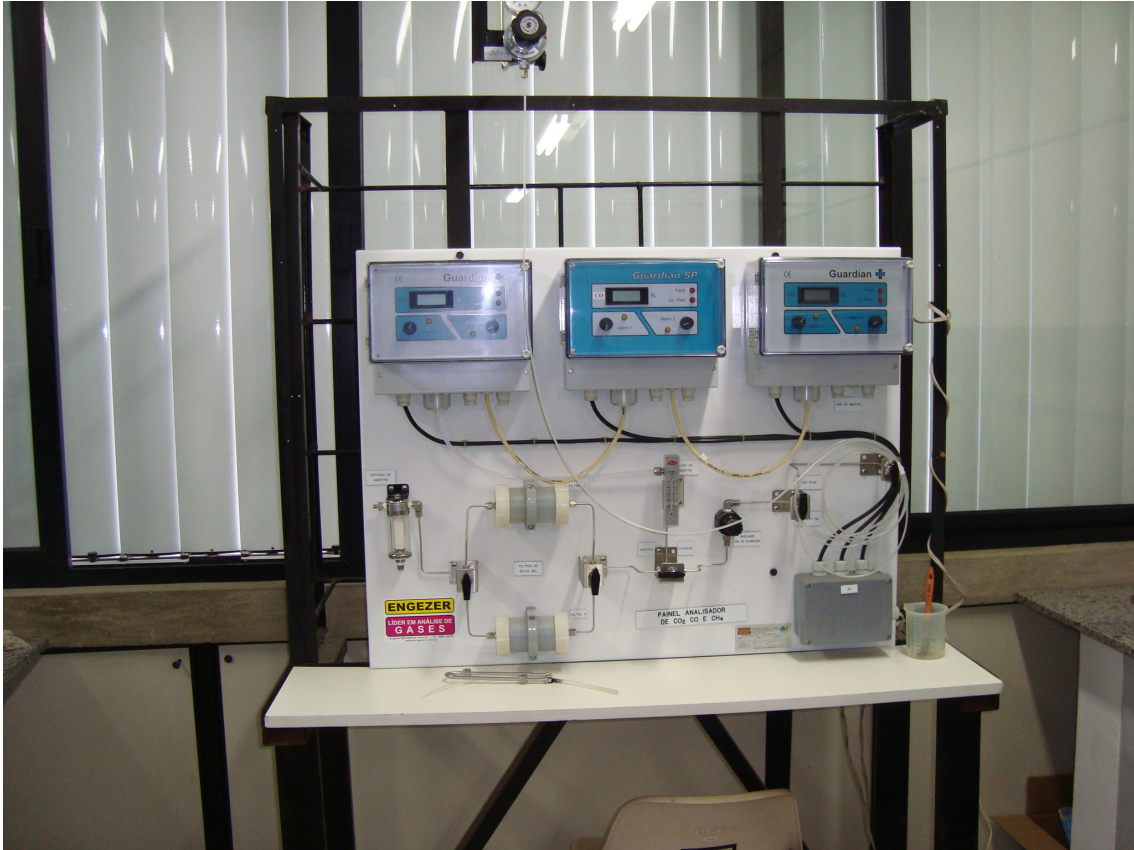


Figura 14 - Analisador Infravermelho para análise de CO, CO<sub>2</sub> e Metano.

#### 4.5.2 Determinação do pH

A análise da concentração hidrogeniônica foi realizada coletando-se aproximadamente 30 mL da mistura.

O substrato foi analisado com um medidor de pH, da Marconi, modelo MA 522. A calibração do aparelho era realizada diariamente.



## 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados graficamente através do monitoramento da composição do biogás e do pH do substrato.

### 5.1 MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

O monitoramento da composição do biogás foi feita semanalmente ou quando o biodigestor apresentava aspecto físico “inchado”. Na tabela 1 são apresentados os teores de metano e dióxido de carbono.

**Tabela 1 – Teores de metano e dióxido de carbono em relação ao número de dias de biodigestão.**

<b>N° de Dias</b>	<b>% de CO<sub>2</sub></b>	<b>% de CH<sub>4</sub></b>
7	17,6	10,2
16	31,2	14,8
21	39	17,8
34	40	32,2
41	31,4	56,6
55	24,4	62,2

Através do gráfico de dispersão do CH<sub>4</sub> (gráfico 1) é possível observar o crescimento da curva de porcentagem de CH<sub>4</sub> até o final do experimento. Um aumento brusco na produção de metano foi observado no trigésimo quarto dia, a produção de metano aumentou 91% aproximadamente quando comparado com o

vigésimo primeiro. A porcentagem máxima de gás metano (62,2%) foi atingida no quinquagésimo quinto dia de biodigestão. Este resultado mostra que o potencial energético do biogás atingiu um índice satisfatório, pois o biogás é composto por cerca de 60% de metano aproximadamente (PECORA, 2006).

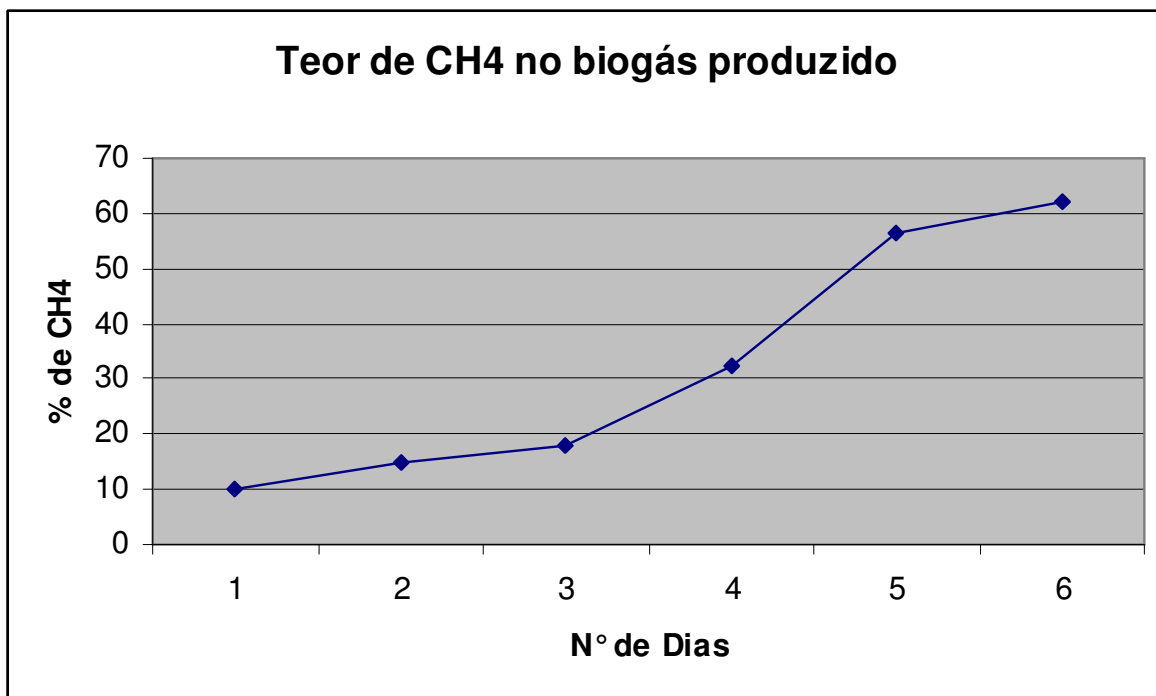


Gráfico 1: Teor de CH<sub>4</sub> versus tempo de biodigestão

Analisando o teor de CO<sub>2</sub> produzido durante a biodigestão, observa-se seu crescimento ao passar dos dias e chega a um ponto que atinge seu limite máximo de concentração de 40%. Isto ocorre no trigésimo quarto dia da biodigestão. Em seguida o índice começa a cair (no 41º dia de biodigestão) e atinge seu limite mínimo de produção de gás carbônico. O gráfico 2 representa a produção de dióxido de carbono com o passar dos dias.

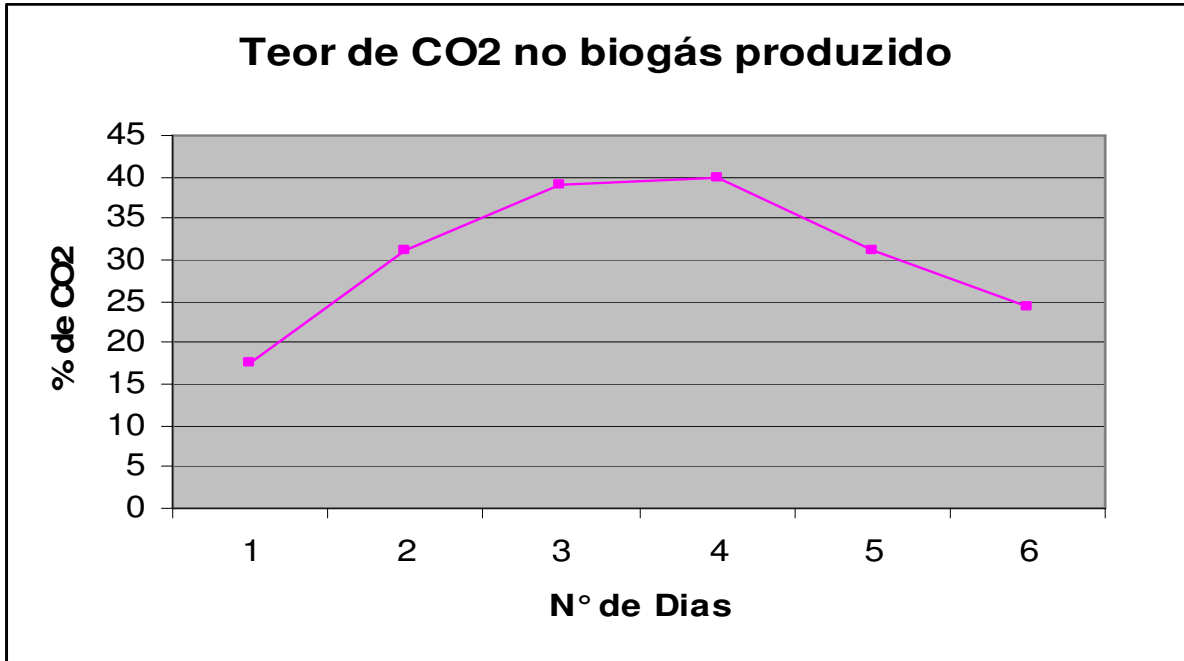


Gráfico 2: Teor de CO<sub>2</sub> versus tempo de biodigestão

O gráfico 3 faz uma comparação entre a produção de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. É possível observar o crescimento de CH<sub>4</sub> e o decréscimo de CO<sub>2</sub>.

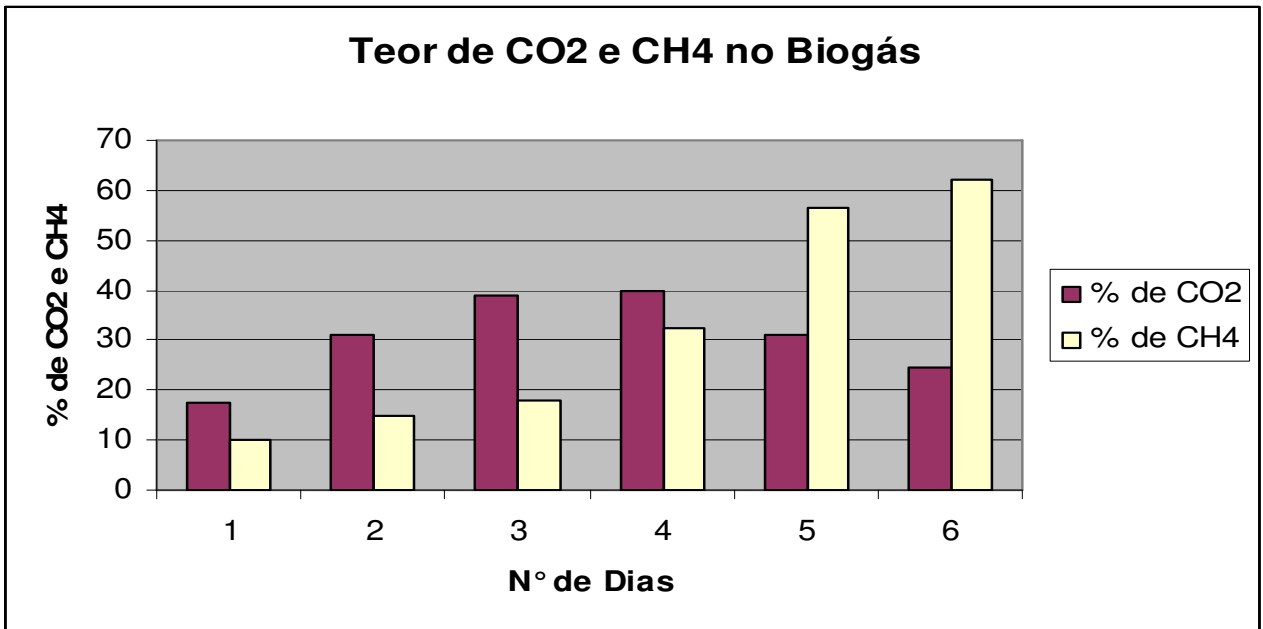


Gráfico 3: Produção de metano e dióxido de carbono em função do tempo de biodigestão

## 5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

A variação do pH ao longo do período de operação do biodigestor pode ser vista na tabela e gráfico a seguir. Apesar de ter ocorrido uma pequena variação no pH, o processo se manteve na faixa de neutralidade, favorecendo portanto o processo de biodigestão anaeróbia. A média da concentração hidrogeniônica foi de 6,64. A população microbiana, principalmente a metanogênica, só pode desenvolver-se quando o pH mantém-se numa faixa estreita, 6,3 - 7,8 (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Caso contrário pode ocorrer falência por acúmulo de ácido.

**Tabela2: Variação do pH ao longo do período de ensaio no biodigestor**

<b>N° de Dias</b>	<b>pH</b>
1	7,0
7	6,7
16	6,5
21	6,8
34	6,4
41	6,5
55	6,6

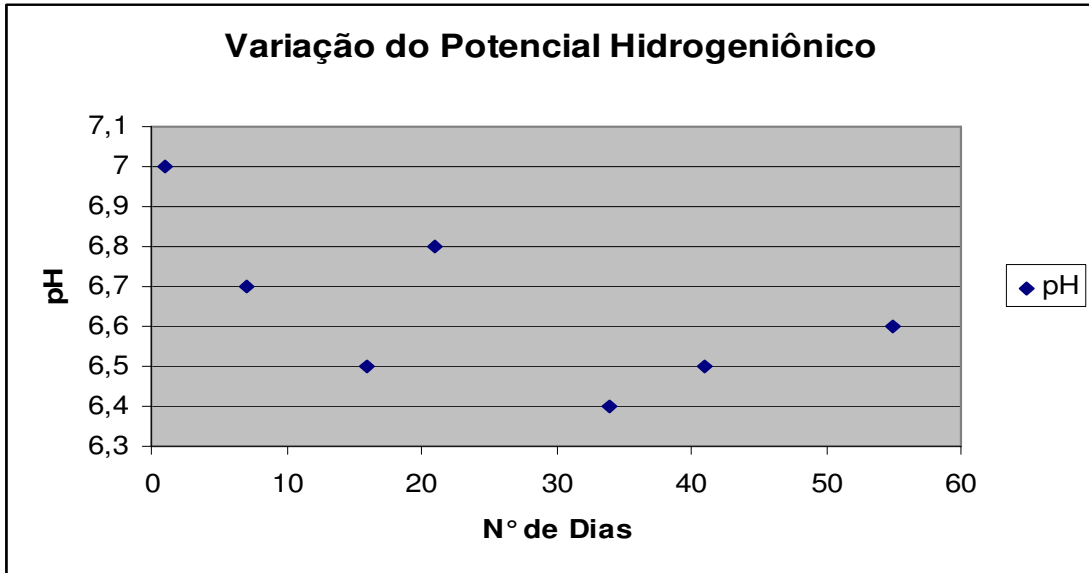


Gráfico 4: Variação do pH ao longo do período de biodigestão anaeróbia

## 6.0 CONCLUSÃO

O modelo de reator anaeróbio do tipo batelada construído foi eficiente para o tratamento de dejetos suínos.

A produção de biogás foi satisfatória, pois permitiu teores médios de gás metano de 62,2% indicando um biogás de qualidade com relação ao potencial energético de acordo com PECORA, 2006.

As temperaturas médias ambientais de 34,5°C durante o período do projeto atingiu o objetivo de manter a temperatura no biodigestor constante tornando o processo de biodigestão otimizado, que segundo CHERNICHARO (1997) é entre 30 a 35°C.

A variação do potencial hidrogeniônico se manteve perto da faixa considerada ideal (em torno de 7) favorecendo o processo de biodigestão anaeróbia.

## **TRABALHOS EM ANDAMENTO**

Têm sido desenvolvidos no Laboratório de Catálise projetos visando o tratamento de resíduos sejam eles agrícolas (dejetos suínos) ou industriais (subproduto do biodiesel – glicerina).

Um dos projetos em andamento visa à qualidade do biogás produzido através da co-digestão anaeróbia da glicerina pura e bruta em associação com o dejetos suíno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, J. H. e FORSTER, C. F. The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated papermill wastewater Process. **Biochemistry**, v. 37, p. 589–594, 2002.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil - 2ª ed., Cap. 5 Biomassa, 2010. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf>>. Acessado em 13 out. 2010.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica - 3ª ed., Cap.04 Biomassa, Part.02, Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acessado em 15 out. 2010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. O Etanol Combustível, 2010. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=31568&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1289862494593>>. Acessado em 10 nov. 2010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biocombustíveis. Biomassa, 2010. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=33972&m=biomassa&t1=&t2=biomassa&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1289434569500>. Acessado em 15 nov. 2010

BEN. Balanço Energético Nacional Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2010.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf). Acessado em 23 de out. de 2010

CAEEB. Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras; O Biogás e sua Tecnologia; Diretoria Técnica, Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas de Energia; Rio de Janeiro; 31p., 1981.

CASTRO L. R. e CORTEZ L.A.B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, p.97-102, 1998. Campina grande-PB, DEAg/UFPB. 1998.

CASSINE, S. T. Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. **RiMa**, 210p. , 2003

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. Biomassa no Mundo. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/mundo.htm>>. Acessado em 15 de outubro de 2010.



CERPPH. Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas. Biomassa. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/>>. Acessado em 27 de novembro de 2010

CHACRA, Gustavo. EUA voltam a atacar o etanol brasileiro. **O Estado de São Paulo**. 03 Abril de 2010. Disponível em: <[http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100403/not\\_imp533061,0.php](http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100403/not_imp533061,0.php)>. Acessado em 08 nov. 2010.

CHERNICHARO C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, 1997. v. 5, 246p.

CLOPES, Jair. O PINHEIRO, 2010. Disponível em: <<http://inantenado.blogspot.com/2010/05/o-pinheiro.html>>. Acessado em: 08 nov. 2010.

COSTA R. H. R., SILVA F. C. M. e OLIVEIRA P. A. V. Preliminary studies on the use of lagoons in the treatment of hog waste products. In: 3rd. IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP. Waste Stabilization ponds: Technology na Aplications. (1995: João Pessoa, Pb). João Pessoa, Pb: IAWQ, 1995.

CORTEZ, L; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O.. BIOMASSA para energia, Campinas-SP, **Unicamp**, 2008.

DAROLT M. R. Lixo rural: entraves, estratégias e oportunidades. <http://www.planetaorganico.com.br>. 2002.

DECICINO, Ronaldo; Biomassa: Material Orgânico pode ser combustível. Disponível em<<http://educacao.uol.com.br/geografia/ult1694u392.jhtm>>. Acessado em 20 out. 2010.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. Biodigestores, a solução? Suinocultura Industrial. Ano 30, Edição 208, nr. 07/2007, ago/2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dejetos de Suínos preocupa pesquisadores da Embrapa. Meio Ambiente e Agricultura. Ano VIII, nº 31, jul/ago/set 2000. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/informativo/mostra\\_informativo.php3?id=133](http://www.cnpma.embrapa.br/informativo/mostra_informativo.php3?id=133)>. Acessado em 04 nov. 2010.

FERREIRA, H. S. e LEITE, J. R. (Org.). Biocombustíveis: Fonte de Energia Sustentável ? Considerações jurídicas, técnicas e éticas; **Editores Saraiva**, São Paulo, 2010.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango**

**sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante.** 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 2008

GEHLING, Raquel. Alternativas à matriz energética brasileira: o caso do Biodiesel, 2007. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: [http://www.portalcse.ufsc.br/gecon/coord\\_mono/2007.1/RaquelGehling.pdf](http://www.portalcse.ufsc.br/gecon/coord_mono/2007.1/RaquelGehling.pdf)>. Acessado em 18 out. 2010

GORGATI C. Q.e LUCAS JÚNIOR J. Fração orgânica de lixo urbano como substrato para biodigestor. Energia na Agricultura. V. 14, p. 45-54, 1996.

IEA - International Energy Agency. Agência da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) 2008. World Energy Outlook 2008. Paris.

JÚNIOR, J. L.; SOUZA, C. F. Construção de Biodigestores. **Editora CDT**, Viçosa – MG, 158p., 2009

KONZEN, E.A. **Manejo e utilização de dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPACNPSA, 32 p. (Circular Técnica, 6) , 1983

LUCAS JÚNIOR, J.; GALBIATTI, J.A.; ORTOLANI, A.F. Produção de biogás a partir de estrume de ruminantes e monogástricos com e sem inóculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Jundiaí. **Resumos...** Jundiaí: DEA/IA/SBEA, p.65, 1987.

LUCAS JUNIOR J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios.** Jaboticabal, 1994. 137p. (Tese - Livre - Docência – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias).

LUCAS JR., J. **Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês.** Botucatu, 1987. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu - UNESP.

MACINTYRE, Archilbad Joseph. Instalações hidráulicas. Rio de Janeiro. **LTC**. 1996.

MAGALHÃES, A. T. P. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: **Nobel**, 120 p, 1986.

MALICO, Isabel; Energia da Biomassa, Universidade de Évora, 2010. Disponível em: <[http://www.parquepeter.org/index.php?q=system/files/Energiadabiomassa\\_IsabelMalco\\_PETER.pdf](http://www.parquepeter.org/index.php?q=system/files/Energiadabiomassa_IsabelMalco_PETER.pdf)>. Acessado em 21 out. 2010.

MASSÉ D. I. e MASSE L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. **Bioresource Technology** 76, 91-98, 2001.

MASSÉ D. I., MASSE L.; CROTEAU F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology** 89, 57–62, 2003.

MATOS A. T., SEDIYAMA M. A. N., FREITAS S. P., VIDIGAL S. M. e GARCIA N. C. P. Caracterização químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos. **Revista Ceres**, 44(254): 399-410, 1997.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030, Biomassa, 2007, ano base 2006; colaboração Empresa de Pesquisa Energética EPE.

Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne\\_2030/8\\_Biomassa.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/8_Biomassa.pdf)>. Acessado em 12 out. 2010.

MOOSBRUGGER, R. E., WENTZEL, M. C., EKAMA, G. A. and MARAIS, G. V. Weak acid/bases and ph control in anaerobic systems-A review. *Water SA*, 1-10, 1993.

NASCIMENTO, E.F; LUCAS JR. J. **Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica.** Energia na Agricultura. Botucatu, v.10, n.4, p.21-31, 1995.

NOPHARATANA, A., PULLAMMANAPPALLIL, P., CLARKE, W.P. A dynamic mathematical model for sequential leach bed anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Biochemical Engineering Journal**, n. 13, pp. 21-33, 2003.

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada.** Jaboticabal, FUNEP, 3p., 1991

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.** São Paulo, 2006. 152p. Tese (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo – USP.

PIGLIGHT. s/d. Disponível em :<[http:// www.piglight.com.br/](http://www.piglight.com.br/)>. Acessado em 17 de nov. de 2010.

PORTAL DO BIODIESEL. O Biodiesel. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acessado em 27 out. 2010.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Utilização da Biomassa como combustível. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-energia-dabiomassa/energia-da-biomassa-5.php>> . Acessado em 20 out. 2010.

REVISTA VEJA. Perguntas e Respostas: Biocombustíveis e Alimentos. Abril 2009. Disponível em: <[http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/perguntas\\_respostas/biocombustiveis\\_alimentos/index.shtml](http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/perguntas_respostas/biocombustiveis_alimentos/index.shtml)>. Acessado em 15 nov. 2010.

ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L.A.B. "Towards PROALCOOL II – A review of the Brazilian Bioethanol Programme", **Biomass and Bioenergy**, , 14(R), pp. 115-24,1998.

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JR., J. **Produção de cama e biogás após criação de frangos sob três densidades**. In: BALBUENA et al, Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano. La Plata: UNLP, p. 340-5, 1998.

SGANZERLA, E. Biodigestor: uma solução. Porte Alegre, RS : **Editora Agropecuária**, 86 p. , 1983.

SILVA, A.; CARDOSO B. e BARROS, C. Dependência Energética Portuguesa, 2010. Disponível em:<<http://depenenergetica.blogspot.com/2009/11/conteudoeaproveitamento-da-biomassa.html>>. Acessado em: 05 nov. 2010.

SILVA, D. J. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. **Viçosa: UFV**, 166 p , 1983.

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: XXXI - CONBEA, 2002, Engenharia Agrícola para o desenvolvimento sustentável: Água, Energia e Meio ambiente. CD-ROM. Salvador-Bahia.

SOUZA C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Environmental Science and Technology**. v. 17, n. 9, p. 416A- 27A, 1983.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A . **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbias de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V. 22, n 1, p. 146- 149, 2002.

VAN HAANDEL A. C.; LETINGA G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Campina grande: **Epgraf**, 208p, 1994.