

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

**JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA**  
**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues**

**ANÁLISE ECONÔMICA E BALANÇO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM GRANJAS DE  
SUÍNOS**

**Goiânia**  
**2009**

**JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA**

**ANÁLISE ECONÔMICA E BALANÇO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM GRANJAS DE  
SUÍNOS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS PARA  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:  
ENGENHARIA ELÉTRICA

**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues**

Goiânia  
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(GPT/BC/UFG)

**Lira, João Carlos Umbelino.**

**L768a** **Análise econômica e balanço energético do biogás em granjas de suínos [manuscrito] / João Carlos Umbelino Lira. – 2009. 85f. : il., color., figs., tabs.**

**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra; Co-Orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues.**

**Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e Computação, 2009.**

**Bibliografia: f.79-85.**

**Inclui lista de figuras, tabelas, abreviaturas e de símbolos.**

**1. Biogás – Análise econômica 2. Biogás – Balanço energético 3. Resíduos de suínos – Aproveitamento – Biogás. 4. Geração de energia I. Marra, Enes Gonçalves. II. Domingues, Elder Geraldo. III. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação IV. Título.**

**CDU:**

**662.767.2**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação  
Coordenação de Pós-Graduação e Pesquisa  
em Engenharia Elétrica e de Computação



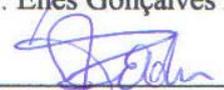
## FOLHA DE APROVAÇÃO

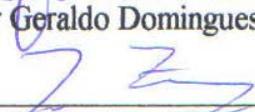
# “Análise Econômica e Balanço Energético do Biogás em Granjas de Suínos”

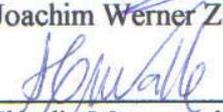
## JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra, Orientador - EEEEC/UFG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues, Co-orientador – IFGoiás

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Joachim Werner Zang – IFGoiás

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Ana Cláudia Marques do Valle – EEEEC/UFG

Goiânia, 10 de Fevereiro de 2009

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra, pelo seu apoio, conhecimento e experiência na orientação deste trabalho.

Ao Proprietário da Granja Monte Alegre, Sr. José Antônio Nogueira Jr., pela receptividade em permitir o acesso às instalações e informações de seu empreendimento, as quais foram de grande importância para a realização deste trabalho.

Ao Professores Lourenço Matias, Elder Geraldo Domingos, Ana Cláudia Marques do Vale e Joachim Werner Zang pela valiosa contribuição no enriquecimento deste trabalho.

À ACGERT pela presteza no fornecimento de informações ligadas ao tema.

À Universidade Federal de Goiás pelo apoio técnico.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a análise de um caso baseado no aproveitamento do biogás gerado a partir de rejeitos de suínos. A análise mostra que a energia do biogás produzido nos processos da granja pode ser parcialmente aproveitada através de mecanismos de desenvolvimento limpos (MDL) com a finalidade de aumentar a eficiência energética do sistema. O processo utilizado apresenta benefícios ambientais e econômicos, já que as emissões de carbono são reduzidas e seus créditos podem ser negociados. Uma análise econômica de alternativas de geração energética do biogás é também apresentada, considerando-se aspectos técnicos, ambientais e financeiros. O estudo foi realizado em uma granja no sudoeste do estado de Goiás, e analisa a viabilidade de cada uma das alternativas apresentadas para o aproveitamento energético do gás, que são: queima total do biogás; geração de energia elétrica; aquecimento; ou a combinação de aquecimento e geração de energia elétrica.

Palavras-chave - Análise econômica, aquecimento, balanço energético, biogás, energia elétrica, MDL.

## **ABSTRACT**

This work presents a case analysis of energetic harnessing in a piggery, based on the use of biogas generated from pig sewage. The analysis shows that the energy from the biogas produced in the farm processes can be partially used through Clean Development Mechanisms (CDM) in order to improve the system efficiency. The utilized process presents environmental and economical benefits as carbon emissions are reduced and their credits can be traded. Moreover, an economic analysis of alternatives for biogas use was carried out taking into account technical, environmental and financial aspects. The case study was realized on a piggery farm in the south-west of the Goiás State where the economical viability of each of the presented alternatives was analyzed considering the following: total burning of biogas; generation of electrical energy; heating; or the combined heat and power generation (CHP).

Keywords: Economic analysis, heating, energy balance, biogas, electrical energy, CDM.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Emissões de gases de efeito estufa.	13
FIGURA 2.2	Lagoa de decantação com formação de gás metano (bolhas) lançado diretamente na atmosfera.	16
FIGURA 2.3	Exemplo de um biosistema integrado.	18
FIGURA 2.4	Processo de biodigestão anaeróbia.	19
FIGURA 2.5	Fases da ação das bactérias anaeróbicas no processo de biodigestão.	20
FIGURA 2.6	Biodigestor modelo chinês em corte.	25
FIGURA 2.7	Biodigestor modelo indiano em perspectiva.	25
FIGURA 2.8	Modelo de Biodigestor de gasômetro de PVC adotado pela empresa Agcert em planta baixa (A) e construído (B).	26
FIGURA 3.1	Escolha da área para início do projeto.	40
FIGURA 3.2	Terraplanagem.	40
FIGURA 3.3	Escavação.	41
FIGURA 3.4	Abertura de valas para tubulações.	41
FIGURA 3.5	Instalação de tubulações.	42
FIGURA 3.6	Caixa de carga e reservatórios.	42
FIGURA 3.7	Instalação manta de PVC interna.	43
FIGURA 3.8	Acabamento das tubulações.	43
FIGURA 3.9	Início de enchimento do biodigestor.	44
FIGURA 3.10	Instalação de gasômetro de PVC (câmara de gás).	44
FIGURA 3.11	Início do enchimento do gasômetro.	45
FIGURA 3.12	Captação do biogás para queima.	45
FIGURA 3.13	Armazenamento do biogás.	46
FIGURA 3.14	Queima do biogás pelo flare.	47
FIGURA 3.15	Sistema de geração elétrica e motor de automóvel a gasolina adaptado para biogás com detalhes construtivos.	48

FIGURA 3.16	Detalhe de unidade de purificação e compressão de biogás. A) coletor de umidade; B) Filtro de H <sub>2</sub> S; C) Espuma; D) Totalizador de gás; E) Compressor.	50
FIGURA 3.17	Principais opções para utilização/conversão do biogás.	52
FIGURA 3.18	Interior da turbina Capstone.	53
FIGURA 3.19	Microturbina a biogás em perspectiva.	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Limites de tolerância para alguns agentes químicos.	9
TABELA 2.2	Classificação ambiental de infecções transmitidas por dejetos.	10
TABELA 2.3	Classificação dos métodos de tratamento de dejetos suínos de acordo com o tipo de tratamento.	17
TABELA 2.4	Composição do biogás.	21
TABELA 2.5	Comparação dos modelos de biodigestores Chinês e Indiano.	23
TABELA 2.6	Especificações gerais de Biodigestor de gasômetro de PVC modelo Sansuy.	24
TABELA 3.1	Relação de veículos e consumo.	31
TABELA 3.2	Relação de consumo de ração por tipo.	31
TABELA 3.3	Componentes de entrada.	33
TABELA 3.4	Componentes de saída.	33
TABELA 3.5	Dados de entrada.	35
TABELA 3.6	Dados de saída.	36
TABELA 3.7	Comparação dos custos mínimo e máximo do biogás com outras fontes alternativas de energia.	37
TABELA 3.8	Correlação das características térmicas do biogás e metano com outros combustíveis convencionais.	54
TABELA 4.1	Resumo de custo e investimentos para utilização do biogás para a situação atual.	60
TABELA 4.2	Potencial de créditos de carbono.	60
TABELA 4.3	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado na utilização de biogás para situação atual.	62
TABELA 4.4	Resumo de custo e investimentos para utilização do biogás para aquecimento.	64
TABELA 4.5	Potencial de créditos de carbono.	64
TABELA 4.6	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i>	

	descontado na utilização de biogás para aquecimento.	65
TABELA 4.7	Resumo de custo e investimentos para geração de energia elétrica e aquecimento.	67
TABELA 4.8	Potencial de créditos de carbono.	68
TABELA 4.9	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado para geração de energia elétrica e aquecimento.	68
TABELA 4.10	Resumo de custo e investimentos em geração de energia elétrica.	70
TABELA 4.11	Potencial de créditos de carbono.	70
TABELA 4.12	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado para geração de energia elétrica.	71
TABELA 4.13	Resumo do período de retorno de investimento.	73
TABELA 4.14	Novos cenários das alternativas energéticas.	74
TABELA 4.15	Resumo de valores das alternativas energéticas.	74

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPECS – Associação da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína.

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

LP – Licença Prévia.

LI – Licença de Instalação.

LO – Licença de Operação.

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

GWP – Potencial de Aquecimento Global.

DBO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

NH<sub>3</sub> – Amônia.

CH<sub>4</sub> – Metano.

H<sub>2</sub>S – Sulfeto de Hidrogênio.

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso.

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono.

SH<sub>2</sub> – Gás Sulfídrico

H<sub>2</sub> – Hidrogênio

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio.

pH – Potencial de Hidrogênio.

PVC – Cloreto de Polivinila.

VE – Valor Energético.

Fe-EDTA – Solução Química de Ferro e Ácido Etileno Diamino Tetra Acético.

VPL – Valor Presente Líquido.

TIR – Taxa Interna de Retorno.

ha – Hectare

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c$  – Consumo.

$p$  – Peso total.

$eq$  – Equivalente Energético.

$VE$  – Valor Energético.

$\eta$  – Coeficiente de Eficiência Energética.

$\Sigma$  - Somatório.

$F_n$  – Valor de Pagamentos de um Fluxo de Caixa.

$i$  – Taxa de Desconto

$n$  – Número do Período.

$P$  – Valor Presente.

$VPL$  – Valor Presente Líquido.

# SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Relevância	4
1.5 Limitações	5
1.6 Organização do Trabalho	5
Capítulo 2 – Aspectos Sanitários, Ambientais e Tecnológicos da Suinocultura	7
2.1 Aspectos Sanitários	7
2.2 Aspectos ambientais	12
2.2.1 O Efeito Estufa	12
2.2.2 Crédito de Carbono e MDL	14
2.3 Aspectos Tecnológicos	15
2.3.1 Lagoa de Decantação	15
2.3.2 Biodigestores e Biogás	18
2.4 Considerações Finais	27
Capítulo 3 – Balanço Energético e Produção de Energia	28
3.1 Balanço Energético	28
3.1.1 Metodologia	28
3.1.2 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Entrada	30
3.1.2.1 Consumo de Energia Elétrica	30
3.1.2.2 Consumo de Óleo Diesel	30
3.1.2.3 Consumo de Ração	31
3.1.2.4 Consumo de Água	31

3.1.3 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Saída	32
3.1.3.1 Produção de Leitões	32
3.1.3.2 Produção de Biogás	32
3.1.3.3 Produção de Biofertilizante	32
3.1.4 Determinação dos Equivalentes Energéticos Envolvidos no Processo	32
3.1.4.1 Componentes de entrada do processo	33
3.1.4.2 Componentes de Saída do Processo	33
3.1.5 Determinação do Valor Energético dos Componentes	33
3.1.5.1 Dados de Entrada	33
3.1.5.2 Dados de Saída	34
3.1.6 Coeficiente de Eficiência Energética	35
3.1.7 Resultados	35
3.1.8 Produção de Energia Elétrica Utilizando Biogás	36
3.1.9 Custos de Utilização	37
3.2 Levantamento da Capacidade de Geração de Energia Elétrica da Granja	39
3.3 Produção de Energia Elétrica	47
3.4 Purificação do Gás Metano	49
3.5 Uso Direto do Biogás	51
3.5.1 Turbinas e Motores de Combustão Interna	52
3.5.2 Produção de Biofertilizante	55
3.6 Potencial Energético	56
3.7 Considerações Finais	57
Capítulo 4 – Análise Econômica	58
4.1 Manter a Situação Atual (Queima do Biogás pelo Flare)	59
4.1.1 Determinação do Período de Payback Descontado (ou Tempo de Retorno de Investimento Descontado)	61
4.1.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	62
4.1.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	63
4.2 Utilização do Biogás para Aquecimento	63
4.2.1 Determinação do Período de Payback Descontado (ou Tempo de Retorno de Investimento Descontado)	65

4.2.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	66
4.2.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	66
4.3 Utilização do Biogás para Aquecimento e Geração de Energia Elétrica	66
4.3.1 Determinação do período de payback descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)	68
4.3.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	69
4.3.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	69
4.4 Utilização do Biogás Geração de Energia Elétrica	69
4.4.1 Determinação do período de payback descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)	71
4.4.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	72
4.4.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	72
4.5 Análise de Risco	72
4.6 Considerações finais	74
Capítulo 5 – Conclusões	76
Referências Bibliográficas	79

# Capítulo 1

## Introdução

A energia tem sido através da história a base para o desenvolvimento humano. Atualmente é cada vez maior a necessidade energética para a produção de alimentos, bens de consumo, serviços e lazer, promovendo o desenvolvimento econômico, social e cultural.

É dentro deste cenário que as fontes renováveis de energia vêm se tornando uma alternativa viável ante a situação mundial de instabilidade econômica e técnica no setor energético (preço do petróleo, racionamento de energia, danos ao meio ambiente, etc).

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso destas fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica, responsável pela maior parte de geração de eletricidade e o etanol, proveniente da cana de açúcar e utilizado como combustível. Existe ainda um enorme potencial para o aproveitamento de outras fontes, tais como a energia solar, eólica e biomassa.

Das fontes de biomassa existentes, uma que vem ganhando importância devido a questões ambiental e sanitária é o aproveitamento energético do biogás proveniente de suinocultura. Sabe-se que a suinocultura é um dos segmentos do agronegócio que mais cresce neste país. Segundo dados da ABIPECS – Associação da Indústria Produtora e Exportadora de

- Identificar aspectos relativos a custos de instalações direta e indiretamente ligadas à produção do biogás, tais como sistemas de purificação e de compressão, analisando a viabilidade econômica do empreendimento;
- Comparar possibilidades de aplicações energéticas do biogás em granjas de suínos;
- Analisar a eficiência energética do sistema de produção através da aplicação do balanço energético;
- Mostrar a potencialidade energética na região estudada;

Este estudo se propõe a responder a seguinte questão:

O aproveitamento do biogás proveniente de dejetos de suinocultura é viável tecnicamente e, economicamente?

### 1.3 Metodologia

O estudo de caso foi realizado na Granja Monte Alegre, localizada na Fazenda Monte Alegre, no município de Rio Verde, em Goiás.

A granja foi escolhida para a realização deste estudo por já possuir uma produção constante de biogás, através de dois biodigestores construídos para o tratamento dos dejetos. O biogás produzido ainda não é utilizado como alternativa energética, sendo somente queimado via *flare*. Sua produção diária é de cerca de 460 m<sup>3</sup>. Existe também interesse por parte da Granja em converter o gás gerado em energia elétrica para abastecimento próprio.

Inicialmente foi feito um estudo da eficiência energética do biogás proveniente de suinocultura, a fim de identificar sua potencialidade de geração de energia. Foi utilizada a metodologia do balanço energético.

Para o estudo de viabilidade do potencial energético da Granja Monte Alegre, foi utilizado o programa *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural, Versão 1.0. da CETESB*, cujo programa está

Carne Suína, o Brasil possui cerca de 40.000.000 de suínos, o que o coloca em destaque no mercado mundial. Entretanto, existe um desafio a ser vencido pelas granjas criadoras, que é a redução dos impactos ambientais e sanitários gerados pela produção dos dejetos. Sabe-se que os dejetos de suínos são causadores de doenças prejudiciais ao ser humano, além de produzirem na sua formação gases como o metano que são lançados na atmosfera.

Uma das alternativas utilizadas a fim de resolver estes problemas é o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que trata os resíduos (dejetos) de forma ambientalmente correta, aproveitando o gás gerado de forma a reduzir efeitos globais de aquecimento.

## **1.1 Objetivo Geral**

Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo geral mostrar as potencialidades energéticas do uso do biogás proveniente de dejetos de suinocultura, tanto nos aspectos técnicos, ambientais e sanitários quanto no aspecto econômico.

De modo a se obter as informações desejadas, foi feita uma pesquisa abrangente na literatura existente sobre o tema e foram levantadas informações de campo através de um modelo já implantado, a fim de identificar quais as reais possibilidades de seu aproveitamento energético.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Em decorrência do objetivo geral, podem-se citar como objetivos específicos:

- Mostrar os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e energéticos que devem ser considerados para implantar um sistema sustentável de geração de energia a partir do biogás proveniente de dejetos de suinocultura;

disponível no site <<http://www.cetesb.sp.gov.br/biogas/default.asp>>, que tem como objetivo analisar quais são as alternativas para o uso energético do biogás proveniente de dejetos rurais, no caso, da suinocultura, avaliando também as estimativas de investimento e de emissões de metano, e a possibilidade comercial de seus créditos.

Com base nestas informações, e aplicando conceitos de engenharia econômica, foi feita uma análise de viabilidade econômica para determinar qual seria o tempo de retorno do investimento, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno para cada uma das possíveis alternativas energéticas do uso do biogás proveniente de granjas de suínos.

## **1.4 Relevância**

Ao serem produzidos, os dejetos de suínos apresentam significativo teor energético que pode ser reaproveitado pelo sistema de produção. Além de melhorar a eficiência do processo, seu tratamento adequado possibilita redução nos impactos sanitários pelos efluentes prejudiciais pelos efluentes ao ser humano, além de diminuir consideravelmente os impactos ambientais provocados pelo lançamento dos gases provenientes destes dejetos na atmosfera, gerando assim condições sustentáveis de desenvolvimento.

## 1.5 Limitações

O presente trabalho não aborda de forma detalhada questões de ordem sanitária, apenas expõe o assunto de maneira a dar suporte para outros temas em estudo.

Na análise econômica, este trabalho não incluiu considerações tributárias que variam no país, diferindo entre estados e municípios. Não foram consideradas, ainda, limitações legais de inserção de energia elétrica na rede.

Apesar de considerar a possibilidade de comercialização de Créditos de Carbono, este trabalho não se propõe a orientar a elaboração de projetos com esta finalidade, visto que esse é um mercado em formação que ainda sofre constantes alterações.

Este trabalho não aborda aspectos técnicos e contratuais da geração distribuída, nem o impacto da geração distribuída de granjas de suínos no sistema de distribuição da região.

## 1.6 Organização do Trabalho

Para melhor compreensão do texto, este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

Este capítulo apresentou uma visão geral do trabalho e motivação para sua realização, bem como sua proposta e contribuições, descreve os objetivos gerais e específicos sobre o tema estudado, expõe a metodologia utilizada e o estudo de caso, mostra a relevância para sua realização e apresenta as limitações encontradas em seu desenvolvimento.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos temas de suinocultura, tais como biogás, biodigestores, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Créditos de Carbono, mostra a questão sanitária referente a dejetos de suínos como vetor de transmissão de doenças, como agente poluidor de lençóis freáticos e cursos de água; descreve a regulação ambiental

para o estudo, descreve a questão ambiental referente à emissão de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) proveniente do tratamento de dejetos de suínos e mostra as tecnologias utilizadas atualmente.

O Capítulo 3 determina a eficiência energética do caso estudo, com base no balanço energético; apresenta conceitos referentes à produção de energia elétrica e à necessidade de purificação do gás metano, abrangendo também a questão dos custos envolvidos; o uso direto do gás para geração energética e seus equipamentos; a produção de biofertilizante; além de levantar a capacidade de geração de energia da granja em estudo.

O Capítulo 4 faz uma análise de viabilidade econômica do potencial energético da granja realizando estudos de investimentos, e comércio de créditos de carbono. Determina o período de retorno do investimento, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno das seguintes alternativas de aproveitamento energético: a utilização exclusiva do gás para aquecimento; utilização do gás para aquecimento e geração de energia elétrica para consumo próprio; utilização exclusiva do gás para geração de energia elétrica para consumo próprio; e queima do volume total do gás metano produzido.

O Capítulo 5 destaca os principais aspectos do trabalho, as conclusões referentes ao tema e as principais propostas para trabalhos futuros neste tema.

# Capítulo 2

## Aspectos Sanitários, Ambientais e Tecnológicos da Suinocultura

### 2.1 Aspectos Sanitários

A poluição ambiental por dejetos é um problema que vem se agravando na suinocultura moderna. Diagnósticos recentes têm demonstrado um alto nível de contaminação de rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural quanto o urbano, sendo que a capacidade poluente dos dejetos suínos em termos comparativos é muito superior a de outras espécies.

O equivalente populacional de um suíno equivale a cerca de 3,5 pessoas, sendo que o grau de poluição do dejetos suíno é cerca de 200 vezes maior que o doméstico (TECPAR, 2002). CASAGRANDE (2003), aumenta este potencial poluidor para cerca de 4,2 vezes maior do que o esgoto doméstico. BEZERRA (2002) afirma que um suíno possui um potencial poluidor quatro vezes maior que um humano, e conclui exemplificando que um suinocultor médio com 3.000 animais permanentemente instalados em sua granja, é responsável pela poluição de esgotos equivalente a uma cidade com 12 mil habitantes.

Outro aspecto importante é o correto manejo da água em granja de suínos, adequado à disponibilidade deste recurso, seja por reaproveitamento da água servida utilizada na limpeza da granja, por eliminação de dejetos via raspagem e manutenção periódica no sistema hidráulico (KUNZ, 2003).

Segundo FÁVERO (2003), a segurança sanitária é um item que também deve ser levado em conta no tratamento dos dejetos. A fim de diminuir os riscos envolvidos neste procedimento e a disseminação de organismos potencialmente prejudiciais a humanos, animais e ao ambiente, além de todos os cuidados sanitários aplicados aos rebanhos, mostra-se prudente assegurar um tempo mínimo de retenção de 30 dias para a decomposição dos dejetos em sistemas anaeróbios ativos, antes de utilizá-los como fertilizante.

Já RANZI (2002), afirma que o lançamento direto de dejetos frescos em cursos de água permite uma diminuição do oxigênio dissolvido na água e aumenta a mortalidade de peixes, além de impossibilitar o uso da água para diversos fins, elevando também o número de moscas devido à falta de tratamento destes dejetos. As moscas são responsáveis por transmitir os agentes veiculadores da diarreia, da cólera e da meningite, sendo que um grande número de microorganismos, como bactérias, vírus, protozoários e ovos de helmintos, presentes no trato digestivo dos animais. São geralmente encontrados nos efluentes da suinocultura, onde muitos deles são potenciais causadores de doenças.

AGNOESE (2006a) mostra que os dejetos não tratados, lançados no solo e nos mananciais de água, podem causar desequilíbrios ambientais e trazer problemas de saúde às pessoas e animais. Complementa que 20% das enfermidades que atingem o homem, estão direta ou indiretamente ligadas às contaminações da água. A proliferação de insetos indesejáveis e surgimento de bactérias resistentes aos antibióticos é outro aspecto que também vêm sendo associadas à inadequação dos sistemas convencionais de tratamento de dejetos, ocasionando maior incidência de doenças respiratória, gastrintestinal, visuais, irritações da membrana da mucosa, dor de cabeça, dor de garganta, dentre outras.

Segundo OLIVEIRA et al (2003) e TOBIAS (2002), a poluição por dejetos é proveniente do lançamento dos mesmos sem o devido tratamento nos cursos de água, o que acarreta desequilíbrios ecológicos, tais como a redução de teor de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos como cólera, amebíase, ascaridíase, febre tifóide, hepatite infecciosa e esquistossomose, além de insetos e moscas, contaminação de águas potáveis com amônia, nitratos, coliformes fecais e outros elementos tóxicos, além de emitir odores desagradáveis devido à evaporação de gases contaminantes, tais como amônia (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A tabela 2.1 apresenta os limites de tolerância para alguns agentes químicos.

TABELA 2.1  
Limites de tolerância para alguns agentes químicos.

Agente Químico	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização	Valor máximo (ppm)
	(ppm)	(mg.m <sup>-3</sup> )		
NH <sub>3</sub>	20	14	Médio	30
H <sub>2</sub> S	8	12	máximo	16
CO	39	43	máximo	58,5
CO <sub>2</sub>	3.900	7.020	mínimo	4.290
CH <sub>4</sub>	Asfíxiante simples		-	-

Fonte: SAMPAIO, 2004.

SAMPAIO (2004) afirma que, a exposição a estes gases pode desencadear o aparecimento de doenças alérgicas e respiratórias com efeitos tóxicos diretos, podendo até ser letal. Doenças respiratórias em suínos e nos trabalhadores são causadas principalmente pela amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono. A amônia e o sulfeto de hidrogênio causam perda de apetite (anorexia) e conseqüentemente redução na produtividade animal. A tabela 2.2 apresenta as infecções que podem ser transmitidas por dejetos de suínos.

TABELA 2.2

Classificação ambiental de infecções transmitidas por dejetos.

<b>Categoria</b>	<b>Infecção</b>	<b>Mecanismos de transmissão</b>	<b>Medidas de Controle</b>
I. Fecal/Oral (não bacterial) Não latente Dose infecciosa pequena	Poliomielite (V)	Contato pessoal	Abastecimento de água
	Hepatite A (V)	Contaminação doméstica	Melhoria habitacional
	Diarréia Rotavirus (V)		Provisão sanitária
	Giardiase (P)		Educação sanitária
	Balantidiase (P) Enterobiase (H) Hymenolepiase (H)		
II. Fecal – Oral (bacterial) Não latente Doses altas e médias de infecção persistente moderadamente e capacidade de multiplicação	Diarréias	Contato pessoal	Abastecimento de água
	Disenterias	Contaminação doméstica de água e colheitas	Melhorias habitacionais
	Enterite Campylobacteria (B)		Provisão sanitária
	Cólera (B)		Tratamento de excreta antes da reutilização ou descarga
	Diarréia E.Coli (B)		Educação sanitária
	Salmonelose (B)		
	Shigelose (B)		
	Yerseniose (B) Febres entéricas: Tifóide (B) Paratifóide (B)		
III. Helmitos transmitidos pelo solo latente e persistente sem hospedeiro intermediário	Ascaris (H)	Contaminação do quintal	Provisão sanitária
	Trichurius (H)		Tratamento de excreta antes de lançamento no solo
	Estrongiloidíase (H)	Solo contaminado na área comum de defecção	
	Hook Worm (H)	Contaminação de colheitas	
IV. Vermes do boi e porco latente e persistente Hospedeiros Boi e Porco	Teníase (H)	Contaminação do quintal, dos campos, de ração	Provisão sanitária Tratamento de excreta antes de lançamento no solo Inspeção na carne
V. Helmitos relacionados com água latente e persistente Hospedeiros aquáticos	Esquistossomose (H)	Contaminação da água	Provisão sanitária
	Clonorchíase (H)		Tratamento do excreta antes de descarga
	Difilobotríase (H)		Controle de infecção animal
	Fasciolopsíase (H)		Controle do alimento
	Paragonimíase (H)		
VI. Insetos relacionados com excreta	Filariase (H)	Sobrevivência de insetos em locais contaminados por fezes	Identificação e eliminação de locais contaminados
	Infecção das categorias I a V, especialmente I e II transmitidas por moscas e baratas (M)		Mosquiteiros

Fonte: GAMA, 2003.

KONZEN (2006) relata que o desenvolvimento da suinocultura intensiva trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos, que são depositados em lagoas e depósitos abertos, nos quais há uma produção intensiva de gases nocivos que são lançados na atmosfera, entre eles o biogás cujo principal componente é o metano (CH<sub>4</sub>). Boa parte destes dejetos é lançada diretamente no solo e nascentes de água sem o devido tratamento, o que ocasiona a sua contaminação.

Sendo assim, a suinocultura deve priorizar, além de sua produtividade e aspectos de mercado, questões relativas à proteção sanitária e ambiental, não somente pela exigência de legislação aplicada ao setor, mas também visando minimizar impactos negativos ao ambiente.

Para que isto ocorra, é necessário avaliar estes impactos gerados com base em ações que têm como premissas estudos de acompanhamento da situação ambiental local, desenvolvimento de alternativas energéticas e rurais em função do volume de resíduos produzidos, adequação a distâncias de granja e manejo de dejetos com base na legislação federal, estadual e municipal (TAKITANE, 2000).

KUNZ (2003) mostra uma relação de Legislações aplicadas ao licenciamento ambiental para o funcionamento de granjas:

- Constituição Federal Brasileira - 1998 - Art. 225.
- Decreto Federal nº 0750/93 - Mata Atlântica.
- Lei Federal nº 9.605/98 - Lei dos Crimes Ambientais - Art. 60.
- Código das Águas - Decreto Federal nº 24.645 de 10/07/34 e alterações.
- Código Florestal Federal - Lei 4.771/65 e alterações.
- Lei Federal nº 6.766/79 - Disciplinamento do solo urbano.
- Legislações e Códigos Sanitários Estaduais e Municipais.

Apresenta também as principais autorizações para funcionamento de empreendimentos:

- LP (Licença Prévia): Determina a possibilidade de instalação da granja em determinado local;
- LI (Licença de Instalação): Faz a análise do projeto quanto a conformidade com a legislação ambiental;
- LO (Licença de Operação): Concede a licença de funcionamento da granja após conferência do projeto executado com base na LI e prevê um plano de monitoramento.

## 2.2 Aspectos Ambientais

### 2.2.1 O Efeito Estufa

Outra consequência relativa ao tratamento inadequado de dejetos de suínos é a emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera, o que acarreta um aumento significativo de temperatura no planeta. Atualmente muito discutida e estudada, a mudança do clima representa como um dos maiores desafios ao desenvolvimento. O reconhecimento da importância deste problema firmou-se em 1979 em Genebra, Suíça, na primeira conferência mundial sobre o tema - *World Climate Conference* - onde se introduziu o conceito de que o ser humano pode afetar o clima e prejudicar sua qualidade de vida.

No decorrer destes mais de 30 anos, várias conferências focaram o tema da mudança climática no planeta. Entretanto, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente gerou em 1990 o primeiro relatório onde se confirmaram evidências científicas sobre a mudança do clima. Em seu relatório de 2005, o IPCC afirma que o aquecimento observado durante os últimos 50 anos se deve muito provavelmente a um aumento dos gases do efeito estufa, sendo incrementado de 1 a 3,5 °C durante os próximos 100 anos, caso as medidas de prevenção não sejam tomadas (COSTA, 2006).

O gás metano é o segundo maior contribuinte para o aumento do efeito estufa e sua parcela só perde apenas para a do gás carbônico (CO<sub>2</sub>). No entanto, as características de absorção térmica do CH<sub>4</sub> são cerca de 20 vezes maior que a do CO<sub>2</sub> (ALVIN, 2006).

A figura 2.1 apresenta um panorama mundial das emissões de gases de efeito estufa.

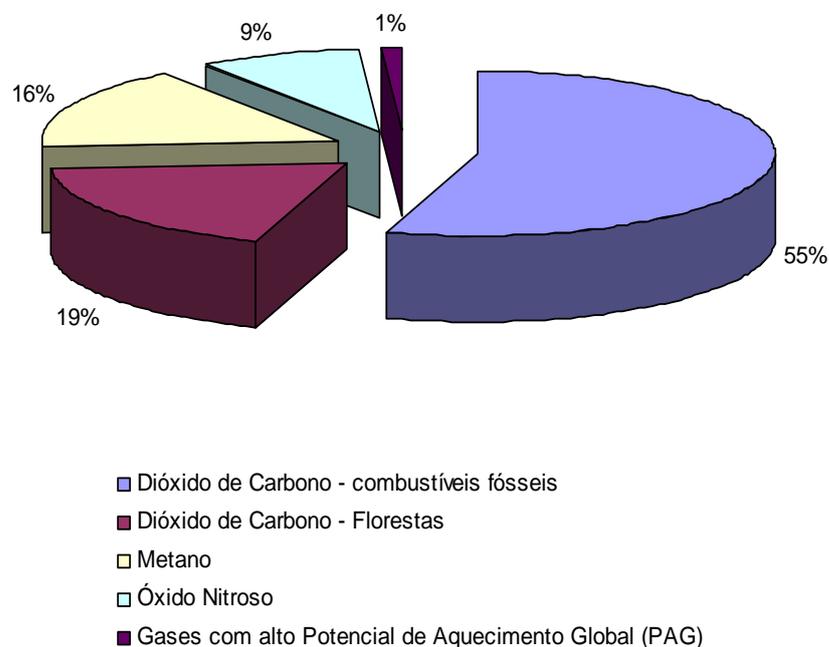


FIGURA 2.1 – Emissões de gases de efeito estufa.

Fonte: USCCTP, 2005

### **2.2.2 Crédito de Carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**

O tratamento adequado dos dejetos possibilita uma redução significativa dos impactos citados anteriormente, com destaque para aqueles projetos destinados à redução dos gases formadores do efeito estufa – Estes projetos se enquadram no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Através do mecanismo de flexibilização, é possível certificar as reduções destas emissões por entidades e procedimentos definidos pelo tratado de Kyoto, sendo viabilizadas para venda pelos chamados créditos de carbono. Na maioria dos casos os créditos de carbono são comprados pelos países, os chamados países do anexo I. (GUARDABASSI, 2006).

Esta quantificação é feita com base em cálculos, os quais determinam a quantidade de CO<sub>2</sub> a ser removida ou a quantidade de gases do efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera. Cada crédito de carbono corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente. Essa medida internacional foi criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global dos gases causadores do efeito estufa. Tem-se como exemplo o metano, que possui um Potencial de Aquecimento Global (PAG) igual a 21, pois seu potencial causador do efeito estufa (capacidade de absorção térmica) é 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub> (MENDES, 2005).

Existe a possibilidade do Brasil se colocar como país sede de projetos de tecnologia limpa que contribuam para a redução de emissão de gases do efeito estufa. Por não ter compromisso formal desta redução até 2012, conforme tratado de Kyoto, o país pode tornar-se vendedor de créditos de carbono, além de ser alvo de investimentos de países que necessitam reduzir suas emissões (COSTA, 2006).

A tonelada de carbono é comercializada por cerca de US\$ 15, podendo valer até US\$ 40. Estima-se que nos próximos cinco anos, o mercado de crédito de carbono terá um potencial, só nos Estados Unidos, de cerca de US\$ 50 bilhões (NORDHAUS, 2008).

Este trabalho adotará o valor de R\$ 30,00 por tonelada de carbono em virtude do primeiro leilão realizado para venda no Brasil, no qual o valor oscilou entre € 12,00 e € 16,00<sup>1</sup>.

## 2.3 Aspectos Tecnológicos

### 2.3.1 Lagoa de Decantação

Um sistema primário de tratamento de dejetos de suinocultura pode ser feito utilizando-se uma lagoa de decantação. Estes reservatórios possuem profundidade de quatro a cinco metros, valor que é justificado pela redução de possibilidade de penetração do oxigênio produzido na superfície para as camadas inferiores. O material orgânico aplicado deve ser de tal forma que sua taxa de consumo de oxigênio seja superior à de produção, criando condições anaeróbias neste ambiente.

Estas instalações chegam a remover em média 50% do valor da DBO<sub>5</sub>, que é a demanda bioquímica de oxigênio ou quantidade de oxigênio necessária para oxidar a carga orgânica por um período de 5 dias. Dejetos de suínos possuem DBO<sub>5</sub> de 40.000 mg/L (TECPAR, 2002). Este valor ainda é baixo, o que possibilita a instalação de lagoas posteriores para tratamento, visto que o efluente ainda possui grandes taxas de matéria orgânica.

Embora seja de fácil construção e operação, as lagoas de decantação apresentam aspectos desfavoráveis, tais como formação de maus odores em suas proximidades, surgimento de moscas e insetos no local, além da liberação direta do gás metano no ambiente. Estes fatores prejudicam seu funcionamento, o que faz com que seja implementado pelo empreendimento tecnologias de auxílio a este sistema (SERAFIM et al, 2003). A figura 2.2 ilustra o aspecto de uma lagoa de decantação.

---

<sup>1</sup> LEOPOLDO, Ricardo. Kassab: resultado do leilão de carbono foi 'excepcional'. Folha de São Paulo. São Paulo/SP, 26 set. 2007. Disponível em:<<http://noticias.uol.com.br/ultnot/brasil/2007/09/26/ult4469u11860.jhtm>>, acesso em 26/09/2007. € 1,00 equivale a R\$ 2,78 conforme cotação do dia 03/06/2009.



FIGURA 2.2 – Lagoa de decantação com formação de gás metano (bolhas) lançado diretamente na atmosfera.

Fonte: AGCERT, 2007.

Um sistema de tratamento biológico adequado torna-se eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos, além de aumentar a produção diária de biogás (AGNOESE, 2006b). A tabela 2.3 apresenta a classificação dos métodos de tratamento de dejetos de suínos de acordo com o tipo de tratamento.

**TABELA 2.3**  
**Classificação dos métodos de tratamento de dejetos suínos**  
**de acordo com o tipo de tratamento.**

Método	Tipo
Físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decantação</li> <li>- Peneiramento</li> <li>- Centrifugação</li> <li>- Separação química</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compostagem</li> <li>- Esterqueira</li> <li>- Lagoas de Estabilização</li> <li>- Reator anaeróbico</li> </ul>
Integrados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biosistema Integrado (Reator anaeróbico + lagoas em série)</li> <li>- Sistema de lagoas de estabilização (Lagoas anaeróbicas e aeróbicas em série)</li> </ul>

Fonte: GAMA, 2003

No trabalho desenvolvido por SAMPAIO (2004) foram feitas medidas referentes às emissões de CH<sub>4</sub> provenientes do entorno das instalações de suínos (maternidade e terminação) e da lagoa de decantação. Verificou-se que ao redor das instalações, a concentração foi cerca de cinco vezes menor do que ao redor da lagoa de decantação de dejetos.

BEZERRA (2002) e CASAGRANDE (2003) definem Biosistema Integrado como um sistema onde se procura a aplicação de métodos e técnicas que eliminem os resíduos produzidos em determinado processo produtivo, transformando-os em matérias primas úteis em outros processos, de forma a minimizar os impactos gerados por estes resíduos. A figura 2.3 apresenta um exemplo de Biosistema Integrado.

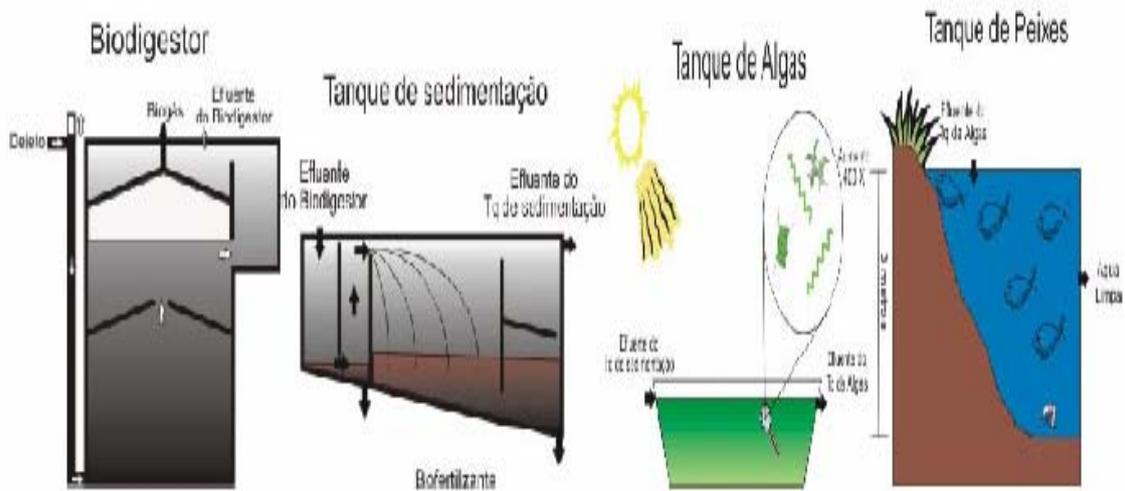


FIGURA 2.3 – Exemplo de um biosistema integrado.

Fonte: CASAGRANDE, 2003.

No exemplo mostrado acima, os resíduos do biodigestor são depositados no tanque de sedimentação para a formação do biofertilizante, que em seguida é levado para um tanque para o desenvolvimento de algas, que por contribuem na oxigenação da água quando inseridas em um tanque de peixes.

### 2.3.2 Biodigestores e Biogás

Uma maneira de se tratar os dejetos de suínos, e complementar a forma simplificada e pouco eficaz da lagoa de decantação, é através do uso dos biodigestores. Estes sistemas são câmaras nas quais, fora do contato da luz e do ar, se processam os fenômenos bioquímicos para a obtenção do biogás e o biofertilizante, denominado de digestão anaeróbia (MACINTYRE, 1996). A figura 2.4 mostra o processo de biodigestão anaeróbica.

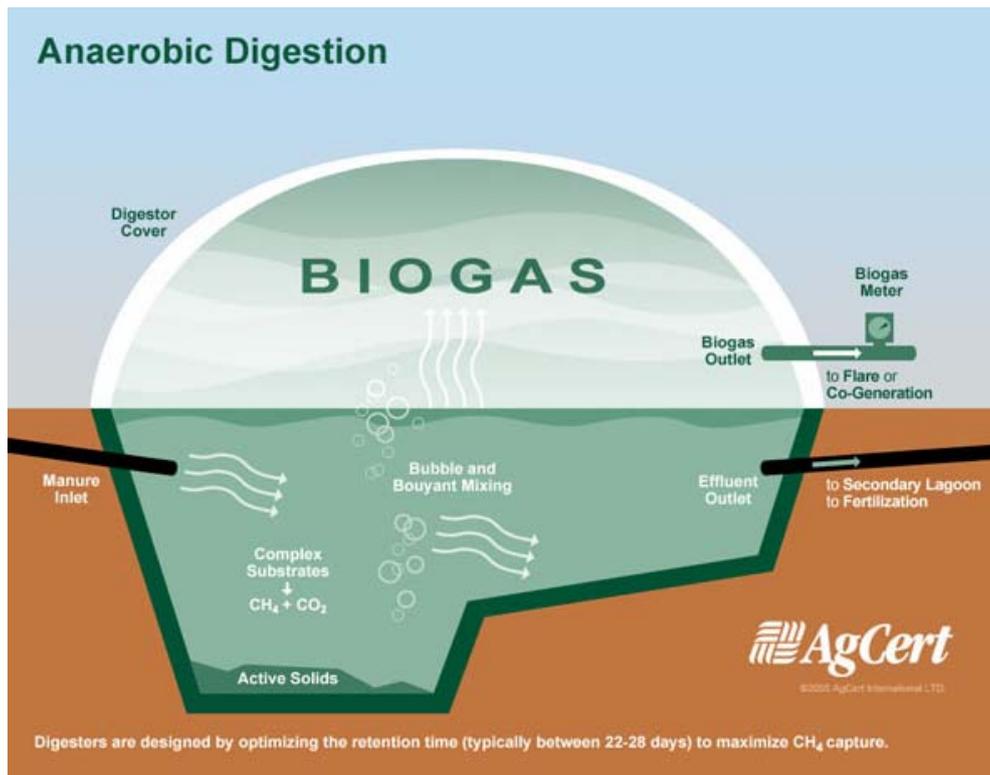


FIGURA 2.4 – Processo de biodigestão anaeróbia.

Fonte: AGCERT, 2007.

Este processo ocorre devido a ações de tipos de bactérias que atuam em estruturas orgânicas na falta de oxigênio, com a finalidade de produzir substâncias simples ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ), deixando na parte líquida subprodutos como  $\text{NH}_3$ , sulfetos e fosfatos. Estes microrganismos produtores apresentam alta sensibilidade à variação de temperatura, dificultando o processo anaeróbio. A estabilidade térmica pode ser conseguida através do isolamento térmico da câmara de digestão nos meses de inverno, evitando assim baixa produção de biogás. Outro fator de grande influência na digestão é o pH existente no meio. Em um ambiente ácido, não há ação de bactérias sobre o material, enquanto que em meio alcalino, existe produção de  $\text{H}_2$  e anidrido sulfuroso. Este valor deve ser neutro ( $\text{pH} = 7,0$ ) para que se obtenha uma ação ideal e produção homogênea (ALMEIDA et al, 2002). A figura 2.5 apresenta as fases do processo de biodigestão.

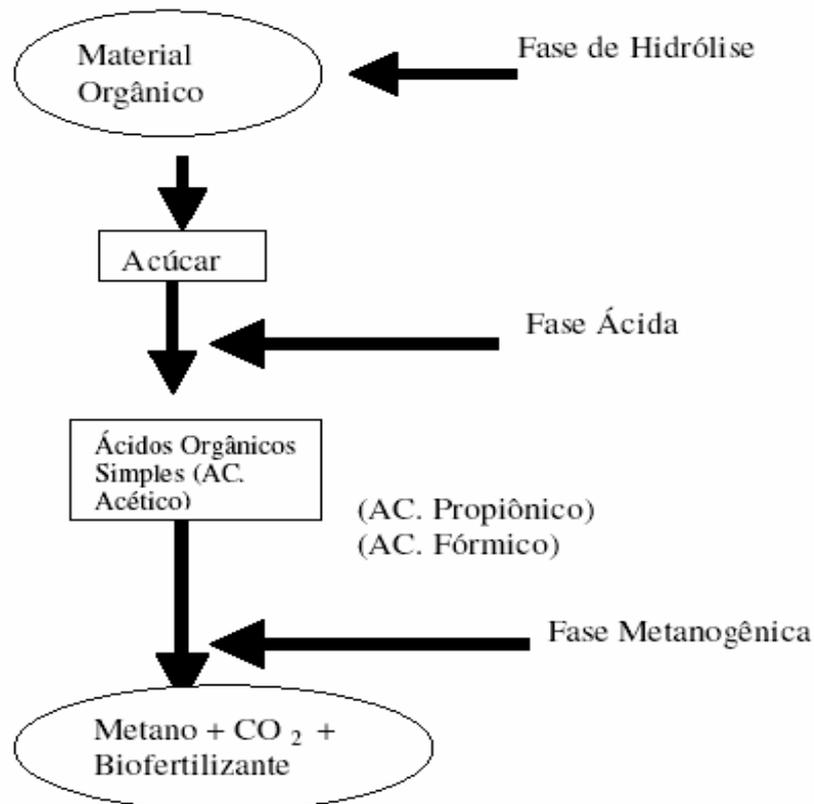


FIGURA 2.5 – Fases da ação das bactérias anaeróbicas no processo de biodigestão.

Fonte: BEZERRA, 2002.

Através deste processo o efluente, ao passar pelo biodigestor, libera carbono na forma de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Verifica-se assim uma diminuição na relação entre carbono e nitrogênio (relação C/N) da matéria orgânica, o que melhora as características do material para finalidades agrícolas. No entanto, a aplicação deste efluente deve levar em conta critérios técnico-financeiros de forma a evitar impactos no meio ambiente. Custos com transporte, topografia ondulada, propriedades de pequeno tamanho e a escassez de áreas agrícolas apropriadas para a mecanização, constituem barreiras ao uso de dejetos suínos na forma de biofertilizante (COSTA, 2006).

No caso do biogás, a composição em volume é de cerca de 60 a 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30 a 40% de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), 0 a 1% de gás sulfídrico ( $\text{SH}_2$ ) e amônia ( $\text{NH}_4$ ), e de 1 a 3 % de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) (CAMPOS,

2005). Já CAMPOS (2003) apresenta a tabela 2.4 que descreve a composição do biogás segundo análise de diferentes autores.

TABELA 2.4  
Composição do biogás.

Componente	Quantidades (em %)		
	EMBRABI (Empresa Brasileira de Biodigestores (s.d.))	ALVES et al. (1980)	National Academy of Sciences
CH <sub>4</sub> (Metano)	60 a 80	54 a 70	55 a 70
CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)	20 a 40	27 a 45	27 a 45
N <sub>2</sub> (Nitrogênio)	0,5 a 2	0,5 a 3	3 a 5
H <sub>2</sub> (Hidrogênio)	0,1 a 10	1 a 10	1 a 10
CO (Monóxido de Carbono)	máximo 0,1	0,1	0,1
O <sub>2</sub> (Oxigênio)	máximo 0,1	0,1	0,1
H <sub>2</sub> S (Gás Sulfídrico)	máximo 0,1	traços	traços
H <sub>2</sub> O (Água)	não cita	não cita	variável

Fonte: CAMPOS, 2003

A potência calorífica do biogás depende do teor de metano que contém, podendo variar de 20.950 a 25.140 kJ/m<sup>3</sup>, sendo que 1 m<sup>3</sup> deste gás (cerca de 0,716 kg) apresenta os seguintes equivalentes energéticos (DEGANUTTI et al, 2006) (MACINTYRE, 1996):

0,735 a 1,5 kg de carvão de lenha;

0,553 l de óleo diesel;

0,613 l de gasolina comum;

1,538 a 3,5 kg de lenha;

0,579 l de querosene;

0,454 kg de GLP;

1,55 kWh de energia elétrica

O biodigestor compõe-se basicamente de um tanque digestor que contém a biomassa no qual se processa a biodigestão anaeróbia, um armazenador para o biogás produzido (gasômetro) e dois reservatórios, um instalado antes do tanque digestor e outro após o gasômetro para armazenar o biofertilizante, que é utilizado como adubo natural na fertilização de solos agrícolas, constituindo uma vantagem adicional no uso de biodigestores no

meio rural. O tempo de retenção dos dejetos para a produção do biogás pode variar entre 20 a 50 dias, dependendo do sistema e tipo de carga a processar (OLIVEIRA, 2007).

Os biodigestores classificam-se conforme o sistema de alimentação dos mesmos em sistemas contínuos, os quais recebem carga de biomassa sob forma semi-líquida diariamente ou periodicamente sendo que a remoção e suprimento do biofertilizante e biogás se fazem de forma contínua, e em sistemas intermitentes, que recebem a carga total de biomassa que fica retida até que seja completado o processo de biodigestão. Os modelos conhecidos são o chinês, que é construído com alvenaria, o indiano, que possui câmara de gás móvel, e o de gasômetro de PVC, que utiliza lona plástica para armazenamento do gás. Este último tipo é mais utilizado no Brasil, devido à sua maior facilidade de construção e instalação, além de apresentar a relação custo x benefício mais atrativo (DEGANUTTI et al, 2006).

A tabela 2.5 apresenta uma comparação dos modelos chinês e indiano de biodigestores, e a tabela 2.6 apresenta as especificações gerais de biodigestor de gasômetro (câmara de gás) de PVC.

TABELA 2.5

Comparação dos modelos de biodigestores Chinês e Indiano.

SISTEMA CHINÊS	SISTEMA INDIANO
<b>MATERIAIS</b>	
Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.	
<b>SISTEMA</b>	
Abastecimento periódico, esvaziamento não-periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
<b>POSSIBILIDADE DE AUTO-INSTALAÇÃO</b>	
Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.
<b>ISOLAMENTO TÉRMICO</b>	
Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estâbulos.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
<b>PERDAS DE GÁS</b>	
A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.
<b>MATERIAS-PRIMAS USADAS</b>	
Esterco e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibroso), excrementos humanos.	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivo.
<b>SISTEMA CHINÊS</b>	<b>SISTEMA INDIANO</b>
<b>PRODUTIVIDADE</b>	
Tempo de digestão 40-60 dias; produção de 150 a 350l por m <sup>3</sup> do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque pode produzir até 600 l/m <sup>3</sup> /dia	Tempo de digestão 40-60 dias, produção 400 a 600 l/m <sup>3</sup> /dia.
<b>MANUTENÇÃO</b>	
Deve ser limpadado uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
<b>CUSTO</b>	
Razoável se for possível a ajuda mútua.	Mais caro (depende do custo da campânula).
<b>MELHÓRIAS POSSÍVEIS</b>	
Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Fonte: GASPAR, 2003.

TABELA 2.6

Especificações gerais de Biodigestor de gasômetro de PVC modelo Sansuy.

Classe:	tratamento secundário.
Modelo:	Sansuy
Objetivo:	redução e estabilização da matéria orgânica; remoção de patógenos e agregação de valor através da produção de biofertilizante e de biogás para energia.
Descrição:	base de alvenaria retangular, profunda (2,5 m) e duas câmaras interligadas. Gasômetro construído em manta flexível de PVC (Vinimanta) fixa sobre uma valeta coberta de água que circunda a base.
Dimensionamento:	o volume da câmara de digestão ( $V_{cd}$ em $m^3$ ) pode ser estimado pela expressão $V_{cd} = V_d \times T_r$ em função da vazão de efluentes ( $V_d$ , em $m^3/dia$ ) e do tempo de retenção necessário para a produção de biogás (20 a 50 dias). Necessita de um tempo de aclimação e de inoculante (lodo) para a sua otimização.
Estrutura complementar:	tubos e conexões para o abastecimento e drenagem; sistema de armazenagem, de transporte e distribuição de biofertilizante; sistema de transporte e conversão de biogás em energia térmica ou elétrica.
Desempenho:	valorização dos dejetos para uso agrícola; remoção da ordem de 50% de ST; 80% da DBO5; 25% de N; 60% de P; 45% de K e de 99% de CF. A produção de biogás é da ordem de 0,25 a 0,60 $m^3/dia$ para cada $m^3$ da câmara de digestão.
Forma de operação:	alimentação e drenagem em regime contínuo.
Vantagens:	simplicidade operacional; produção de biofertilizante e biogás para uso energético; redução de maus odores.
Desvantagens:	custo de investimento inicial e de manutenção; remoção periódica do lodo (1 a 5 anos); variabilidade da produção de biogás, em função do clima.
Recomendações:	criadores com disponibilidade de área para uso agrícola e interesse no aproveitamento de biofertilizante e de biogás como fonte de energia.
Custo de referência:	R\$ 150,00 por $m^3$ de câmara de digestão.

Fonte: OLIVEIRA, 2007.

As figuras 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram respectivamente os modelos chinês, indiano e com câmara de gás em PVC.

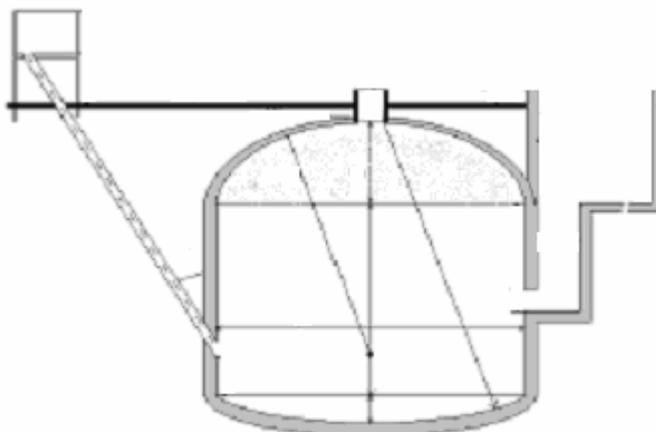


FIGURA 2.6 – Biodigestor modelo chinês em corte.

Fonte: DEGANUTTI et al, 2006.

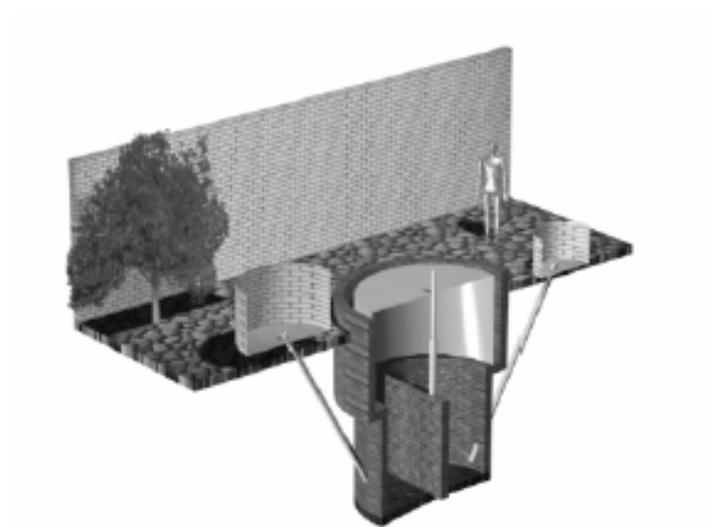


FIGURA 2.7 – Biodigestor modelo indiano em perspectiva.

Fonte: DEGANUTTI et al, 2006.

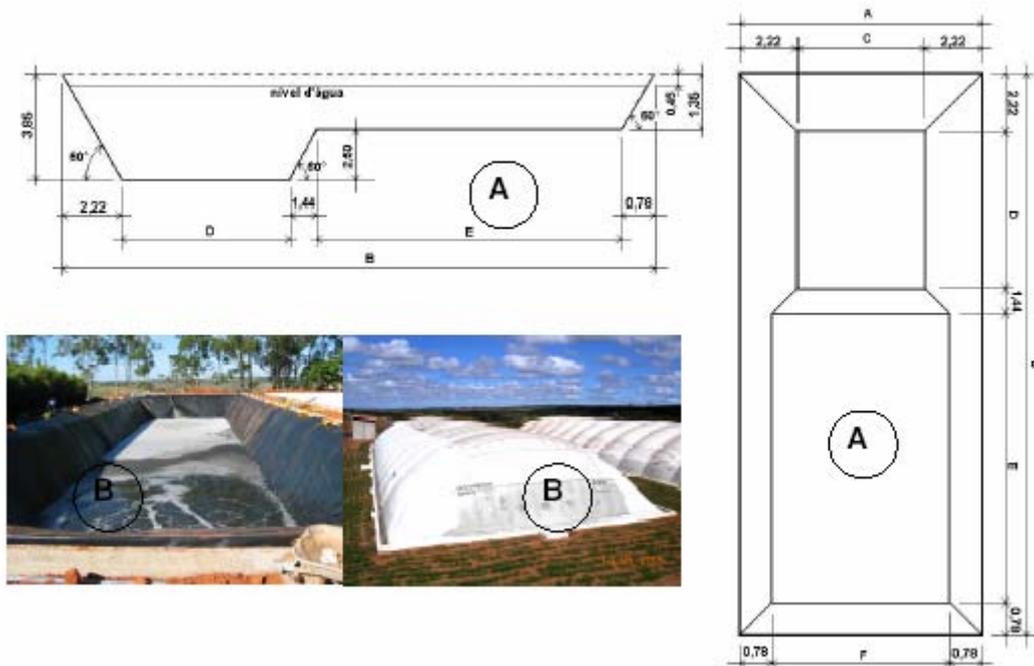


FIGURA 2.8 – Modelo de Biodigestor de gasômetro de PVC adotado pela empresa Agcert em planta baixa (A) e construído (B).

Fonte: KONZEN, 2006.

O tratamento de dejetos por biodigestão anaeróbia apresenta vantagens quanto a aspectos sanitários, ambientais, e energéticos, pois destrói organismos patogênicos e parasitas, produz metano que pode ser usado como uma fonte de energia, reduzindo a emissão deste gás na atmosfera (MMA, 2006).

## **2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo, foram apresentados os impactos gerados pelo tratamento inadequado de dejetos de suínos em seus aspectos sanitários e ambientais, sendo dada ênfase na proliferação de doenças provenientes dos dejetos e o lançamento dos gases resultantes na atmosfera, ocasionando o chamado efeito estufa. Foram mostradas também as tecnologias existentes para o tratamento adequado destes dejetos através dos biodigestores. No capítulo seguinte serão mostrados os aspectos de produção do biogás e a análise energética para seu aproveitamento.