



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

MICHELINE ORLANDI HONÓRIO

**ESTIMATIVA DE CRÉDITO DE CARBONO DA PRODUÇÃO E
QUEIMA DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS:
ESTUDO DE CASO**

Florianópolis - SC
2009

MICHELINE ORLANDI HONÓRIO

**ESTIMATIVA DE CRÉDITO DE CARBONO DA PRODUÇÃO E
QUEIMA DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção ao grau de MESTRE. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador:

Prof. Dr. Humberto Jorge José

Co-orientador:

Prof^a. Dr^a. Regina de Fátima P. M. Moreira

**Florianópolis - SC
2009**

MICHELINE ORLANDI HONÓRIO

**ESTIMATIVA DE CRÉDITO DE CARBONO DA PRODUÇÃO E
QUEIMA DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção ao grau de MESTRE. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de Setembro de 2009.

Prof. Dr. Humberto Jorge José
Orientador

Profa. Dra. Regina de Fátima P. M. Moreira.
Co-Orientador

Dr. José Luciano Soares

Prof. Dr. Hugo Moreira Soares

*“Qualquer caminho que você decida tomar existe sempre alguém para te dizer que você está errado. Existem sempre dificuldades surgindo que te tentam a acreditar que as críticas estão corretas. Mapear um caminho de ação e segui-lo até o fim requer...
Coragem.”*

(Ralph Waldo Emerson)

AGRADECIMENTOS

À Deus;

À minha família (meu marido Nilton Nordim e minha filha Brenda) por toda paciência, compreensão e pelo apoio incondicional;

A meus pais (Luiz e Sônia Maria), irmãos Luiz Felipe (Gesilani Júlia e Maria Fernanda) e Melissa (Luiz Locks) pelo incentivo em mais esta etapa da minha vida;

Ao professor Humberto Jorge José, pela orientação;

À professora Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira pela co – orientação;

Aos amigos, principalmente, aos do LEMA, pelas palavras de incentivos e auxílio;

À CAPES, pela bolsa de pesquisa;

À FINEP, pelos recursos financeiros.

RESUMO

A criação de suínos em confinamento tem potencial poluidor e para reduzi-lo a biodigestão anaeróbia é uma alternativa muito utilizada, pois esta permite obter o biogás e um biofertilizante. O processo de melhoria ambiental tende a incentivar à suinocultura em fazer um trabalho na atividade sustentável, pois há a possibilidade de obtenção de créditos de carbono (Certificados de Redução de Emissões) produzindo melhores resultados à atividade nos aspectos social, econômico e ambiental. Baseado nisto, este trabalho teve por objetivos estudar as emissões de CH_4 provenientes da produção e queima incompleta do biogás de dejetos suínos em uma granja situada em Iomerê - SC; e quantificar os créditos de carbono que poderiam ser adquiridos. Os dejetos na entrada e saída do biodigestor tiveram como parâmetros analisados sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF), e o biogás teve quantificadas as concentrações de CO_2 , CH_4 , NH_3 e H_2S . Os gases de exaustão do flare foram analisados utilizando um analisador de gases de exaustão. A estimativa do total de redução de emissão de metano foi fundamentada na linha de base para sistemas de manejo de dejetos, referendado como ACM0010, versão 2, apresentada pela UNFCCC (2006). A composição média do biogás medida foi de 62% de metano, 27% de dióxido de carbono, zero ppmv de NH_3 e superior a 1020 ppmv de H_2S . Os dejetos suínos brutos que alimentaram o biodigestor, com uma vazão de 8m^3 por dia, apresentaram, em média, $\text{STV} = 20.204,91 \text{ mg/L}$, e na saída do biodigestor apresentaram $\text{STV} = 7.083,80 \text{ mg/L}$ com um eficiência de remoção de matéria orgânica de 68,87% e uma produção média de biogás de $189,83\text{m}^3$ por dia. Pôde-se observar que o total de redução de emissões de CH_4 atingiu 83,13% o equivalente a 1595,39 toneladas de CO_2eq por ano em créditos de carbono representando um valor de € 1.595,39 por ano.

ABSTRACT

The breed confined swine have pollution potential and reduce it the biodigestion anaerobic is a alternative more utilized because it permit to obtain the biogas and a manure. The process of environmental improvement tend to encourage culture of swine to do a work at activity sustainable because there is a possible to obtain of carbon credit for production better results in the aspects socials, economic and environmental. Based on this, the aim of this work was to study the emissions of CH₄ from the production and incomplete burn of the biogas produced from pig manure in a swine farm in Iomerê - SC; and to quantify the carbon credits that could be acquired. The manure from the inlet and outlet of the biodigestor were analyzed in terms of total solids (ST), total volatile solids (STV) and total fixed solids (STF), and the biogas had the CO₂, CH₄, NH₃ and H₂S concentrations quantified. The exhaust gases from the flare were analyzed using an exhaust gas analyzer. The methane total reduction estimative was based on the line base for manure systems, known as ACM0010, version 2, presented by UNFCCC (2006). The biogas composition was 62% of methane, 27% of carbon dioxide, zero ppmv of NH₃ and more than 1020 ppmv of H₂S. The manure that inlet the biodigestor, with rate of flow 8m³ for day, presented, STV = 20.204,91 mg/L, and in outlet STV = 7.083,80 mg/L, with efficiencie to remove average organic matter 68,87% and production average biogas was 189,83m³ for day. It was observed an emission reduction of CH₄ of 83,13% that is equivalent of 1.595,39 ton CO₂eq for year in carbon credits, and this represent a value of €for 1.595,39year.

LISTA DE SIMBOLOS

AGV – Ácidos Graxos Voláteis
 β_0 - capacidade máxima de produção de metano
C – carbono
COT - Carbono Orgânico Total
 $C_6H_{12}O_6$ – glicose
Ca – cálcio
 $CaCO_3$ – carbonato de cálcio
 CH_3COOH – ácido acético
 CH_4 – metano
Cl – cloro
 Cl_2 – gás cloro
CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão
Co – cobalto
CO – monóxido de carbono
COT – carbono orgânico total
 CO_2 – dióxido de carbono
Cu – cobre
 C_xH_y - hidrocarboneto
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de oxigênio
Fe – ferro
GWP_{CH4} – Potencial de Aquecimento Global
 H_2 – gás hidrogênio
 H_2O – água
 H_2S – sulfeto de hidrogênio
HBr – ácido bromídrico
HCl – ácido clorídrico
HF – ácido fluorídrico
HFC – hidrogenofluorcarbono
 m_1 - massa da cápsula vazia
 m_2 - massa da cápsula com resíduo total
 m_3 - massa da cápsula com resíduo fixo
MCF_{D.A.} - Fator de conversão do metano – digestão anaeróbia
MCF_{linha de base} - Fator de conversão do metano (linha de base)
K – potássio
KCl – cloreto de potássio
Mg – manganês
Mn – manganês

Mo - molibdênio
NH₄⁺ - íon amônio
Ni – níquel
N – nitrogênio
N₂O – óxido nitroso
NT- nitrogênio total
Na⁺ - íon sódio
ρbiogás – densidade do biogás
P – fósforo
PCI - poder calorífico inferior
PCS - poder calorífico superior
PFC – perfluorcarbono
pH – potencial hidrogeniônico
Q – vazão volumétrica
ρbiogás – densidade do biogás
S – enxofre
SF₆ – hexafluoreto de enxofre
SO₄²⁻ – íon sulfato
SO_x – compostos de enxofre
STF - sólidos totais fixos,
ST - Sólidos Totais
STV – Sólidos voláteis
SVlocal - Sólidos Totais Voláteis local
T – temperatura
tCO₂eq - tonelada de CO₂ equivalente
TRH – tempo de retenção (detenção) hidráulica
V_a - volume da amostra
V_R – volume do reator
Zn – zinco

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Oferta interna de energia no Brasil em 2006..... | 24 |
| Gráfico 2 - Concentração média de sólidos nos dejetos que entraram no biodigestor..... | 70 |
| Gráfico 3 - Quantidade de sólidos nos dejetos antes do tratamento para todas as amostras analisadas..... | 70 |
| Gráfico 4 - Quantidade média de sólidos existente nas amostras dos dejetos depois do tratamento | 71 |
| Gráfico 5 - Quantidade sólidos existente nas amostras dos dejetos depois do tratamento | 71 |
| | |
| Figura 1 – Fontes de biomassa e Tecnologias de aproveitamento energético da biomassa..... | 25 |
| Figura 2 - Representação esquemática do processo de digestão anaeróbia | 33 |
| Figura 3 - Biodigestor vertical (modelo indiano) | 38 |
| Figura 4 - Biodigestor vertical (modelo chinês) | 39 |
| Figura 5 – UASB ou RAFA (Reator de Fluxo Ascendente)..... | 39 |
| Figura 6 – RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) | 40 |
| Figura 7 – Foto do Biodigestor utilizado na granja de suínos no município de Iomerê /SC..... | 61 |
| Figura 8 – Foto do flare Granja situada em Iomerê /SC | 61 |
| Figura 9 - Analisador de gases de combustão Greenline MK2 (RIBEIRO, 2002) | 64 |
| Figura 10 – Sistema que representa o limite da atividade do projeto. . | 65 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Comparativo entre biogás e gás natural..... | 46 |
| Quadro 2 - Resultados do cálculo da energia utilizada para aquecer tendo como base de cálculo 100kmol de biogás, caso. | 74 |
| Tabela 1 – Caracterização média dos dejetos suínos no sul do Brasil . | 41 |
| Tabela 2 - Análise de Sólidos..... | 42 |
| Tabela 3 - Produção de biogás a partir de dejetos suínos..... | 44 |
| Tabela 4 – Descrição da composição típica do biogás | 44 |
| Tabela 5 - Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia. | 45 |
| Tabela 6 - Poder calorífico em função da composição do biogás | 48 |
| Tabela 7 – Quantificação da matéria orgânica contida nos dejetos suínos antes do tratamento de biodigestão anaeróbia instalado em uma granja de suínos em Iomerê /SC..... | 68 |
| Tabela 8 - Quantificação da matéria orgânica contida nos dejetos suínos depois do tratamento de biodigestão anaeróbia instalado em uma granja de suínos em Iomerê /SC | 68 |
| Tabela 9 – Eficiência de Remoção Média de Matéria Orgânica. | 69 |
| Tabela 10 - Eficiência de remoção média diária dos STV..... | 69 |
| Tabela 11 - Quantificação da vazão de biogás produzido..... | 72 |
| Tabela 12 – Análise de composição do biogás | 73 |
| Tabela 13 – Parâmetros Calculados | 74 |
| Tabela 15 – Análise de gás padrão..... | 75 |
| Tabela 16 – Análise das Emissões Gasosas - Valores de concentração corrigidos para fins de comparação com a legislação | 76 |
| Tabela 17 - Parâmetros para estimar as reduções de emissões de metano (CH ₄)..... | 78 |
| Tabela 18 – Redução de emissões – Créditos de Carbono..... | 78 |
| Tabela 19 – Dados obtidos através da metodologia de quantificação de sólidos voláteis, que entraram no biodigestor na granja de suínos situada em Iomerê/SC | 90 |
| Tabela 20 – Dados obtidos através da metodologia de quantificação de sólidos voláteis, que saíram biodigestor na granja de suínos situada em Iomerê/SC | 91 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 19 |
| 2 OBJETIVOS | 21 |
| 2.1 Objetivos Gerais | 21 |
| 2.2 Objetivo Específico..... | 21 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 3.1 Biomassa..... | 22 |
| 3.2 Biomassa e a produção de energia | 23 |
| 3.3 Processos de conversão de biomassa | 25 |
| 3.3.1 Processo físico | 26 |
| 3.3.2 Processo termoquímico..... | 26 |
| 3.3.3 Processo biológico | 28 |
| 4 TRATAMENTO ANAERÓBIO..... | 29 |
| 4.1 Evolução dos tratamentos anaeróbios..... | 29 |
| 4.2 Processo da biodigestão anaeróbia..... | 30 |
| 4.3 Avaliação do processo anaeróbio..... | 36 |
| 5 BIOGÁS..... | 37 |
| 5.1 Produção de biogás a partir de dejetos suínos..... | 37 |
| 5.2 Recuperação energética de biogás | 42 |
| 5.3 Composição do biogás e suas propriedades | 43 |
| 5.5 Avaliação da produção do biogás | 46 |
| 6 MDL - IPCC – PROTOCOLO DE KYOTO – CRÉDITO DE CARBONO..... | 49 |
| 6.1 Protocolo de Kyoto | 50 |
| 6.2 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL..... | 51 |
| 6.3 IPCC | 52 |
| 6.4 Créditos de carbono – RCE (Reduções Certificadas de Emissões) .53 | |
| 6.4.1 Quantificação de Crédito de Carbono..... | 55 |
| 6.4.1.1 Emissões da linha de base..... | 57 |
| 6.4.1.2 Metodologia das emissões da Atividade de Projeto do MDL... 58 | |
| 6.4.1.2.1 Emissão de CH ₄ no Biodigestor Anaeróbio (E _{CH₄D.A}) | 58 |
| 6.4.1.2.2 Emissões de CH ₄ devido à combustão incompleta | 59 |
| 6.4.2 Total de reduções e créditos de carbono estimados | 60 |

| | |
|--|-----------|
| 7 MATERIAIS E MÉTODOS | 61 |
| 7.1 Metodologia de análises..... | 61 |
| 7.1.1 Análise de sólidos | 62 |
| 7.1.2 Análise da Composição do Biogás..... | 63 |
| 7.1.3 Análise dos Gases de Combustão | 64 |
| 7.1.4 Metodologia de cálculo de créditos de carbono..... | 65 |
| 7.4.1.1. Estimativa de parâmetros..... | 66 |
| | |
| 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 68 |
| 8.1 Análise de dejetos suínos..... | 68 |
| 8.2 Composição do biogás e poder calorífico | 72 |
| 8.3 Emissões provenientes da queima do biogás | 75 |
| 8.4 Estimativas de créditos de carbono..... | 77 |
| | |
| 9 CONCLUSÃO..... | 80 |
| | |
| 10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 82 |
| | |
| REFERÊNCIAS..... | 83 |
| | |
| ANEXOS..... | 89 |

1 INTRODUÇÃO

Com a urbanização e a industrialização sem o planejamento ambiental adequado, grandes alterações foram provocadas na natureza, sem a preocupação com a disposição final dos resíduos sólidos, efluentes líquidos ou gases tóxicos gerados.

O grande volume de resíduos, provenientes das explorações agrícolas e pecuárias, assim como aqueles produzidos por matadouros, destilarias, fábricas de laticínios, esgotos domésticos e estações de tratamento de lixo urbanos apresentam uma carga poluente elevada que impõem a criação de soluções que permitam diminuir os danos provocados por essa poluição. (PECORA, 2006)

De acordo com informações da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, são produzidas diariamente no Brasil mais de 125.000 toneladas de resíduos sólidos domiciliares sendo que, em número de municípios, 63,6% utilizavam depósitos a céu aberto (lixões) e 32,2% aterros (13,8% aterros sanitários e 18,4% aterros controlados) como seu destino final. A situação torna-se mais grave ao se verificar que muitos aterros denominados como controlados nada mais são do que lixões cobertos por terra e por isso apresentam os mesmos riscos que depósitos, a céu aberto, ao meio ambiente e conseqüentemente à população. (PINTO, 2006)

O estado de Santa Catarina possui uma produção anual de cerca de 18 milhões m³ de dejetos suínos, que são lançados no meio ambiente afetando a qualidade das águas, refletindo em poluição orgânica, proliferação de microrganismos entéricos; afetando a qualidade dos solos e em taxas elevadas de aplicação dos dejetos como fertilizantes e também a qualidade do ar, que pode ser evidenciada pela geração de maus odores.

O aproveitamento do lodo como fonte de energia pode proporcionar tanto um destino mais adequado a esses resíduos, como ganhos energéticos e econômicos no que se diz respeito à produção de combustíveis. (VIRMOND, 2007).

Estudos sobre a produção de energia proveniente de novas fontes alternativas e economicamente atrativas aumentaram com o acelerado desenvolvimento econômico e com a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais tornando o desenvolvimento de tecnologias, para o tratamento e utilização dos resíduos, o grande desafio, para as regiões com alta produção pecuária, em especial a de suínos e aves.

A restrição de espaço e a necessidade de atender, cada vez mais, as demandas de energia, bem como água de boa qualidade e alimentos, têm colocado alguns obstáculos a serem vencidos, os quais estão relacionados, principalmente, à questão ambiental e ao suprimento de energia.

A utilização de biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, utilizando-se os resíduos (sólidos urbanos, industriais ou comerciais e resíduos rurais), permitem a diversificação da matriz energética nacional além de possibilitar a redução de emissão de gases efeito estufa.

O processamento de resíduos pode ocorrer de diversas formas dentre elas destaca-se a digestão anaeróbia, devido a sua capacidade de despoluir, permitindo valorização do biogás (CH_4 e CO_2), e ainda obter um fertilizante por meio de um complexo de cultura mista de microorganismos, capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, tais como carboidratos, lipídios e proteínas (LUCAS JUNIOR, 1994; SANTOS, 2001 apud PERCORA, 2006).

O biogás é um combustível com um conteúdo energético elevado. Em virtude disto que, com o passar do tempo, o biogás deixou de ser visto, simplesmente, como um subproduto, obtido da decomposição anaeróbia de lixo urbano, de resíduos animais e de lamas provenientes de estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais, pois sua utilização para geração de energias elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribui para a redução de gases de efeito estufa tornando possível conversão em créditos de carbono.

A partir da década de 90, tratados internacionais como a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o Protocolo de Kyoto destacavam, o fato de o CH_4 ser um gás de efeito estufa (GEE) 21 vezes mais potente, em termos de aquecimento global que o CO_2 e que a sua emissão para a atmosfera deveria ser inibida.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Determinar a eficiência do processo de geração do biogás a partir de dejetos suínos avaliando - a por meio da quantificação dos sólidos, antes e depois do processo, composição do biogás e o potencial em créditos de carbono por meio da queima do mesmo em um “flare”.

2.2 Objetivo Específico

- Determinar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia por meio da quantificação os sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos, antes e depois do processo;
- Determinar a composição do biogás;
- Analisar a composição dos gases de exaustão resultantes da queima do biogás;
- Quantificar os créditos de carbono.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Biomassa

Em termos energéticos, biomassa é toda matéria orgânica, de origem animal e vegetal, que pode ser utilizada para obtenção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis de energia, biomassa vegetal é uma forma indireta de energia solar, sendo convertida em energia química através da fotossíntese, base da maioria dos processos biológicos existentes. (VIRMOND, 2007)

Logo, a biomassa é toda matéria orgânica como árvores, plantas, resíduos agrícolas, que através da combustão direta ou através da queima dos combustíveis derivados da mesma (etanol, metanol, biogás, óleos) podem com auxílio de técnicas e/ou tecnologias gerar energia elétrica.

Os constituintes da biomassa podem ser agrupados em duas classes principais: materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina) e materiais orgânicos de baixa estabilidade, tais como lipídeos, proteínas, polissacarídeos simples, amido, hidrocarbonetos, dentre outros (HEIKKINEN *et al.*, 2004). As concentrações de cada componente variam dependendo da espécie, tipo de planta, estágio de crescimento, condições de crescimento.

Os resíduos da biomassa segundo a sua origem classificam - se em sólidos urbanos, animais, vegetais ou agrícolas, industriais e florestais (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009).

Os resíduos sólidos urbanos podem ser utilizados como combustível por queima direta após a separação dos componentes metálicos e trituração da matéria orgânica. O aproveitamento dos resíduos urbanos é feito através da pirólise ou do tratamento biológico. A composição do resíduo urbano varia de acordo com o poder aquisitivo, a cultura e o tamanho de cada comunidade. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

Com relação aos resíduos vegetais, ou agrícolas, podemos dizer que são compostos, fundamentalmente, de celulose e podem ser preparados de forma, relativamente, fácil para a obtenção de energia devido a pouca umidade e a facilidade de serem pré - processados, podendo ser usados para outras finalidades, as quais competem com o uso energético. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

Dentre alguns usos desses resíduos estão a utilização como matéria - prima para obtenção de papel; utilização como fertilizante

(melhorando as características físicas do solo e a capacidade de retenção de umidade); em aglomerados para compensados; como complemento para a ração de animais; para aplicações energéticas, nas quais se requer a disponibilidade contínua da biomassa. É preciso se levar em conta que os resíduos vegetais se caracterizam por sua disponibilidade sazonal e precisariam de armazenamento por longos períodos. Isto pode tornar os resíduos onerosos e alterar suas características devido a processos de fermentação que, normalmente, ocorrem devido à estocagem, inviabilizando a utilização deste tipo de resíduo com esta finalidade. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

A digestão anaeróbia é o método que demonstra ser mais efetivo para a utilização dos resíduos animais, bem como dos resíduos humanos, devido, principalmente, ao alto teor de umidade que pode variar entre 60 e 85% em média. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

As biomassas mais utilizadas como combustíveis são os resíduos agrícolas, madeira e plantas (como a cana-de-açúcar). O lixo municipal pode ser convertido em combustível e utilizado em transporte, indústria e mesmo para residências. Em condições favoráveis, a biomassa pode contribuir de maneira significativa para com a produção de energia elétrica.

No Brasil, parte das necessidades energéticas, cerca de 30% é suprida pela biomassa sob a forma de: lenha para queima direta nas padarias e algumas cerâmicas; carvão vegetal para redução de ferro gusa em fornos siderúrgicos e, combustível alternativo nas fábricas de cimento do norte e do nordeste; no sul do país queimam carvão mineral, álcool etílico ou álcool metílico para fins carburantes e para indústria química; o bagaço de cana e outros resíduos combustíveis são utilizados para geração de vapor para produzir eletricidade, como nas usinas de açúcar e álcool, que não necessitam de outro combustível, pelo contrário ainda sobra bagaço para indústria de celulose; biomassa, aproveitada para produzir o biogás, que é uma fonte renovável de energia. (BIOMASSA, 2009)

3.2 Biomassa e a produção de energia

Atualmente, o Brasil encontra-se em situação privilegiada no que se refere a suas fontes primárias de oferta de energia. A maioria da energia consumida no país é proveniente de fontes renováveis (hidroeletricidade; biomassa em forma de lenha e derivados da madeira, como serragem e carvão vegetal; derivados da cana-de-açúcar)

(PAGLIARI, 2008).

Um aspecto importante da bioenergia é a potencial contribuição para a solução de problemas causados pelo uso de combustíveis fósseis. Sendo possível a redução do efeito estufa através do uso sustentável de biomassa como combustível e/ou seqüestro de carbono pelas florestas.

De acordo com o Banco Mundial, em 2001, 50 a 60% da energia nos países em desenvolvimento viria da biomassa, e metade da população mundial cozinhava com madeira. (GRAUER, 2001)

No Brasil, o principal uso é a fermentação e a destilação da cana de açúcar para a produção de etanol para mistura com a gasolina. O bagaço de cana e o licor negro estão entre as fontes mais importantes, nos setores sucro - alcooleiros e de papel e celulose, respectivamente, além de diversos tipos de sistemas híbridos com combustíveis fósseis. (GRAUER, 2001).

A Oferta Interna de Energia, também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do país.

Segundo relatos de COLDEBELLA (2006) no Brasil, 43,6% da Oferta Interna de Energia (OIE), eram renováveis, enquanto a média mundial era de 14%. No país, 2006, a oferta interna de energia atingiu um total de 226 milhões de toneladas de óleo equivalentes sendo 45,12% desta quantidade são renováveis (14,8% vêm de fontes hídricas e 30,2% de biomassa) (LORA & ANDRADE, 2009), como se pode observar no gráfico 1.

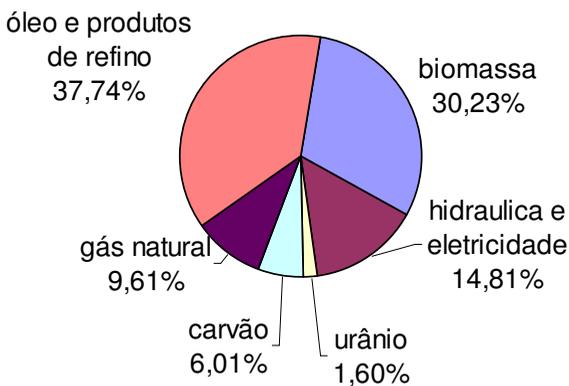


Gráfico 1 – Oferta interna de energia no Brasil em 2006

Fonte : LORA & ANDRADE, 2009

As indústrias sucro - alcooleira e de papel e celulose, além de demandar potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de co – geração sendo estes, sistemas que permitem produzir, simultaneamente, energia elétrica e calor útil; configuram a tecnologia mais racional para a utilização de combustíveis.

3.3 Processos de conversão de biomassa

Os processos envolvendo a conversão da biomassa podem ser divididos em processos biológicos, processos termoquímicos e físicos.

Para exemplificar os processos de conversão temos a figura 1 que mostra as principais tecnologias de aproveitamento energético da biomassa.

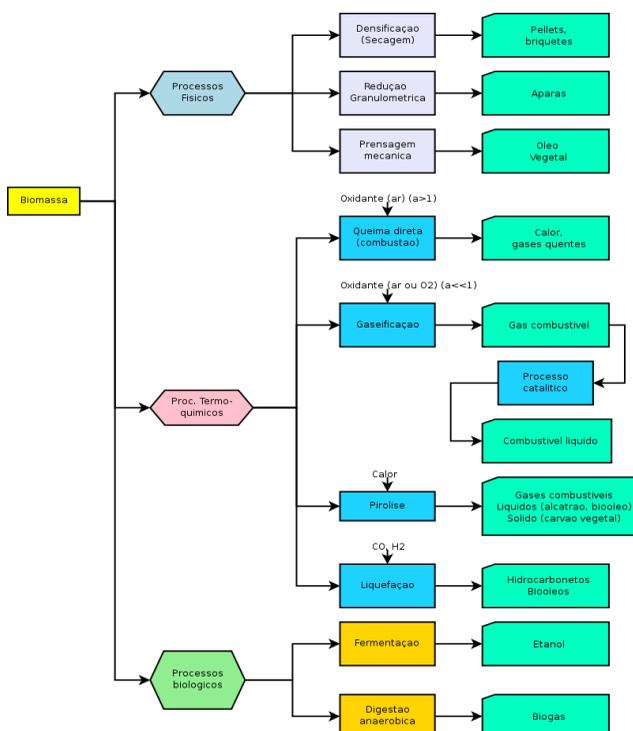


Figura 1 – Fontes de biomassa e Tecnologias de aproveitamento energético da biomassa

Fonte: LORA & ANDRADE modificado (2009)

3.3.1 Processo físico

Dentre os processos físicos podemos - se citar a densificação, redução granulométrica e prensagem mecânica.

Briquetagem e peletização são processos de densificação energética de biomassa. Geralmente, utilizada para homogeneizar os resíduos vegetais. (IBAMA, 2007)

Densificar permite secar e condensar a energia dos resíduos. Os briquetes e peletes são livres de pó, reduzem risco de explosão. São uniformes permitindo um melhor controle da combustão. Facilitam o transporte e estocagem do combustível. Possui densidade energética elevada, eficiência na transformação. (IBAMA, 2007)

Briquete ainda é pouco usado na Europa e América do Norte. O pelete é bastante utilizado em aquecimento doméstico e geração de vapor para pequenas comunidades. O briquete tem oportunidade de substituir o pelete na geração de energia elétrica. Porém, energeticamente são equivalentes, principalmente, se pulverizados ou moídos possuem a mesma opção de uso. (IBAMA, 2007)

3.3.2 Processo termoquímico

Dentre os processos termoquímicos podemos citar a combustão direta, a gaseificação, a pirólise e a liquefação.

- **Combustão Direta**

A combustão direta pode ser definida como a queima do material por aquecimento direto. Biomassa como madeira, lixo, palha, bem como, o biogás podem ser queimados para produzir gases quentes ou aquecimento de água. É a mais comum e simples técnica de aproveitamento da biomassa. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

Nas emissões do processo de combustão da biomassa podem estar presentes CO_2 , compostos de Cl (HCl, Cl_2 , KCl); HF e HBr; particulados (NaCl , ZnCl_2 , PbCl_2); SO_x ; N – NO_x , N_2O .

- **Gaseificação**

De forma geral, a gaseificação de biomassa consiste em uma tecnologia de conversão térmica, onde combustíveis sólidos são convertidos em gases combustíveis na presença de quantidades limitadas de oxigênio, ar, vapor de água ou uma combinação desses (agentes oxidantes). (VIRMOND, 2007)

A composição do gás combustível depende de diversos fatores, tais como, tipo de gaseificador, introdução ou não de vapor de água, e, principalmente, do conteúdo de umidade da biomassa a ser gaseificada.

Na gaseificação industrial, a energia química da biomassa pode ser convertida em calor e, a partir daí em outras formas de energia tais como a energia direta (através da combustão na fase sólida) e energia indireta (através da pirólise). (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

Algumas são as vantagens da gaseificação da biomassa tais como a permanência de cinzas e o carbono residual no gaseificador, reduzindo a emissão de particulados; o combustível resultante é mais limpo e, na maioria dos casos não há a necessidade de controle de poluição associada aos catalisadores, como alumínio e zinco; ocorre o aumento na produção de hidrogênio e de monóxido de carbono e a diminuição da produção de dióxido de carbono. (GASEIFICAÇÃO INDUSTRIAL, 2009)

- Pirólise

A pirólise se caracteriza pela degradação térmica do combustível sólido a qual pode ser realizada em ausência completa do agente oxidante ou em uma quantidade tal que a gaseificação não ocorra extensivamente. (MESA et al.,2003)

As frações produzidas são frações gasosas (CO, CO₂, alguns hidrocarbonetos e H₂); fração condensável de baixo peso molecular; fração sólida (resíduos de polissacarídeos de alto peso molecular, derivados do furano, compostos fenólicos, e partículas do resíduo sólido em suspensão e compostos formadores de fumaça). (VIRMOND, 2007)

A pirólise rápida acontece a altas taxas de aquecimento (450 - 600 °C) na ausência de ar. Têm-se a produção de vapores orgânicos e gases de pirólise numa taxa de 15 - 20%, resíduos sólidos 10%. Os vapores condensados, bio - óleo (orgânico + H₂O), em torno de 70 - 75%, em massa, da alimentação é convertido em óleo limpo (ROCHA, et al., 2002 *apud* VIRMOND, 2007) (o poder calorífico é alto (17-20MJ/m³), tem menor teor de N (nitrogênio) comparando - se aos derivados do petróleo e, é quase isento de componentes minerais e enxofre). (VIRMOND, 2007) A carbonização é conhecida como pirólise lenta. (MESA et al.,2003)

- Liquefação

A liquefação direta da biomassa é um tipo de hidrogenação na qual a matéria orgânica é misturada com um solvente na presença de um catalisador em alta pressão e temperatura moderada, obtendo - se um

produto líquido.

Um exemplo de liquefação é o processo para a transformação do óleo vegetal em biodiesel conhecida como transesterificação. Durante este processo, a glicerina é removida do óleo vegetal, deixando o óleo menos viscoso.

3.3.3 Processo biológico

A matéria orgânica de dejetos de animais, restos de alimentos e rejeitos industriais estão sujeitas à degradação orgânica por microorganismos por meio de processos aeróbios ou anaeróbios. (FLORENTINO, 2003)

Nos tratamentos aeróbios, os microorganismos utilizam matéria orgânica, na presença de oxigênio, para produzir dióxido de carbono e água, além do crescimento celular.

Pode-se dizer que no processo de digestão anaeróbia ocorre degradação de matéria orgânica através de microorganismos, na ausência de oxigênio. Os produtos finais do processo anaeróbio são compostos inorgânicos, incluindo o dióxido de carbono e amônia e o metano, sendo este último utilizado como fonte alternativa de energia. (SOUZA, 2007)

Dentre os processos anaeróbios podemos destacar a digestão anaeróbia. A digestão anaeróbia é um processo que converte matéria orgânica, numa mistura de CH₄ e CO₂ (biogás) e biofertilizante (adubo). Misturas de lixo, esgoto, restos de indústrias de alimentos, fezes de animais e água, são colocadas em um tanque de digestão, na ausência de oxigênio e os gases produzidos podem utilizados em tecnologias a vapor para a geração de energia. (ENERGIA DA BIOMASSA, 2009)

4 TRATAMENTO ANAERÓBIO

4.1 Evolução dos tratamentos anaeróbios

Segundo Cammarota (UFRJ), os tratamentos anaeróbios evoluíram através de décadas. Diversos estudos sobre a influência da temperatura, a importância da inoculação e do controle do pH em sistemas anaeróbios já eram realizados nas décadas de 20 e 30. As baixas taxas de crescimento dos microorganismos anaeróbios, em especial os metanogênicos, exigem tempos de detenção hidráulico (TDH) muito altos (na ordem de vários dias) nos reatores anaeróbios contínuos e agitados.

Com o passar dos anos, muita coisa evoluiu no que se diz respeito aos reatores anaeróbios. Ocorreu a introdução da mistura mecanizada nos biodigestores surgindo o reator de contato anaeróbio. Estudou-se com filtros anaeróbios ascendentes (reatores com área superficial suficiente para a adesão microbiana) permitindo a ampliação da aplicação do tratamento anaeróbio para águas residuárias industriais, observou-se o fenômeno de granulação da biomassa em ambiente anaeróbio, o que permitiu operar reatores com alta taxa hidráulica sem arraste apreciável dos microrganismos. (CAMMAROTA, UFRJ)

CAMMAROTA (UFRJ) citou ainda que os sistemas de tratamento anaeróbio tiveram uma evolução significativa, durante as décadas de 70 e 80, devido a fatores como: crise energética, melhor entendimento dos processos bioquímicos, desenvolvimento de reatores de alta taxa, melhoria nos aspectos de mistura hidráulica e retenção de lodo, maiores eficiências de remoção de matéria orgânica, e desenvolvimento de tanques com menores dimensões e menores tempos de retenção.

O tratamento anaeróbio ficou limitado ao tratamento do lodo gerado nos processos aeróbios e de resíduos agrícolas em biodigestores convencionais, e ao tratamento de efluentes líquidos, altamente concentrados em lagoas anaeróbias ou reatores agitados devido ao desenvolvimento de sistemas aeróbios mais eficientes comparados aos filtros biológicos (1893) e lodos ativados (1914). Até hoje, esta tecnologia ainda é empregada na digestão dos lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos domésticos. (CAMMAROTA, UFRJ)

Esses desenvolvimentos tornaram possível a ampliação da utilização dos processos anaeróbios, de maneira que, os atuais podem ser aplicados para qualquer tipo de efluentes: concentrado como

efluentes de indústrias cervejeiras, de refrigerantes, fecularias, indústrias alimentícias, ou diluído, por exemplo: esgoto doméstico, em menor escala; em baixa ou alta temperatura; como unidade única, em múltiplos estágios, ou em combinação com outros processos (aeróbios e físico-químicos). (CAMMAROTA, UFRJ)

4.2 Processo da biodigestão anaeróbia

O processo anaeróbio tem sido muito utilizado pelas indústrias para o tratamento de efluentes líquidos com elevada concentração de matéria orgânica. É um processo biológico que utiliza microorganismos para a degradação de compostos orgânicos na ausência de oxigênio molecular, reduzindo a concentração da matéria orgânica do efluente transformando - a, principalmente, em biogás o CO – produto composto de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e outros gases como o nitrogênio (N_2) e ácido sulfídrico (H_2S). (CORBITT, 1990).

Os processos de biodegradação anaeróbia têm sido empregados para diversos fins; historicamente, foram utilizados para bioestabilizar lodo de esgotos sanitários, utilizando-se o CH_4 produzido (METCALF & EDDY, 1991 *apud* LEITE & POVINELLI, 1999). Apesar de ser um processo antigo de estabilização do lodo é, atualmente, muito utilizado no tratamento de esgoto doméstico e no tratamento de águas residuárias industriais.

A utilização da biodigestão anaeróbia permite saneamento, atendimento de uma demanda energética, utilização do material biogradado (que é uma substância com aspecto de lodo que, quando diluída, pode ser utilizada como fertilizante agrícola); apresentam grande quantidade de nitrogênio e fósforo, principais componentes dos adubos industriais.

O número de espécies de microrganismos que estão presentes em sistemas anaeróbios é muito grande (bactérias, fungos e protozoários). No entanto, os principais microrganismos empregados no processo anaeróbio são as bactérias. (MALINA, 1992 *apud* NASCIMENTO, 1996).

Segundo CHERNICHARO (2000), os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos:

- Bactérias Fermentativas: estas transformam, por hidrólise, polímeros em monômeros, e estes, em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros

produtos, como glicose.

- Bactérias Acetogênicas: convertem os produtos gerados pelas bactérias fermentativas em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.
- Bactérias Metanogênicas: utilizam como substrato os produtos finais do segundo grupo de bactérias, ou seja, as acetogênicas. Algumas usam o acetato, transformando - o em metano e dióxido de carbono, enquanto outras produzem metano através da redução do dióxido de carbono.

Na degradação, via microrganismos anaeróbios, ocorre uma seqüência de reações que torna a matéria orgânica solúvel, quebrando cadeias ou ligações duplas ou triplas existentes.

Existe uma seqüência de reações no processo anaeróbio que é dividida em etapas que são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

O processo de digestão anaeróbia inicia - se com a hidrólise da matéria orgânica, um processo lento. Nesta etapa, há a conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas (enzima de compostos de alto peso molecular) em compostos menores que possam ser utilizados como fontes de energia e carbono pelos microrganismos, excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase pode ser afetada por diversos fatores, como temperatura, tipo de substrato. pH.

Na seqüência das etapas está a acidogênese. Nesta etapa ocorre a metabolização, dos produtos da hidrólise, no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em compostos mais simples, como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e ácido sulfídrico. Como os ácidos graxos voláteis são os principais produtos dos organismos fermentativos, estes são chamados bactérias fermentativas acidogênicas.

A próxima etapa é a acetogênese. As bactérias acetogênicas consistem em bactérias facultativas, isto é, são indiferentes à presença de oxigênio dissolvido e estritamente anaeróbias, ou seja, que só sobrevivem em condições de completa ausência de oxigênio e são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas (uma classe geral de microorganismos conhecidos como formadores de ácidos voláteis). Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas.

Os produtos gerados pelas bactérias acidogênicas são sais ácidos e ácidos de cadeia curta, principalmente, ácido acético, propiônico e

butírico. Outros produtos da reação de formação de ácidos são: o dióxido de carbono e novas células bacteriais. Durante a formação dos ácidos, acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados, diretamente, pelas metanogênicas. Porém, pelo menos 50% da matéria orgânica biodegradável são convertidas em propionato e butirato, os quais são, posteriormente, decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

Na última fase desta série de reações de digestão anaeróbia ocorre a metanogênese realizada pelas bactérias metanogênicas. Estas bactérias utilizam apenas um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio / dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Elas são divididas em dois grupos principais: um que forma metano a partir de ácido acético (bactérias acetoclásticas, responsáveis por 60 – 70% de toda a produção de metano a partir do grupo metil do ácido acético); e o que produz metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono (hidrogenotróficas, constituída por uma gama bem mais ampla de espécies do que as acetoclásticas). Esses dois grupos de bactérias são responsáveis pelo consumo de hidrogênio das fases anteriores.

As bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias e são mais sensíveis às variações das condições ambientais como pH, temperatura e compostos inibidores. Portanto, se ocorrer alguma condição de choque ou inibição, as bactérias metanogênicas levam mais tempo para a recuperação do que as bactérias acidogênicas. (CORBITT, 1990).

A maioria das reações, no processo anaeróbio, ocorre de forma seqüencial e o conjunto das reações seqüenciais pode ser considerado uma reação global anaeróbia. A figura 2 mostra a representação esquemática da bioquímica do processo de digestão anaeróbia.

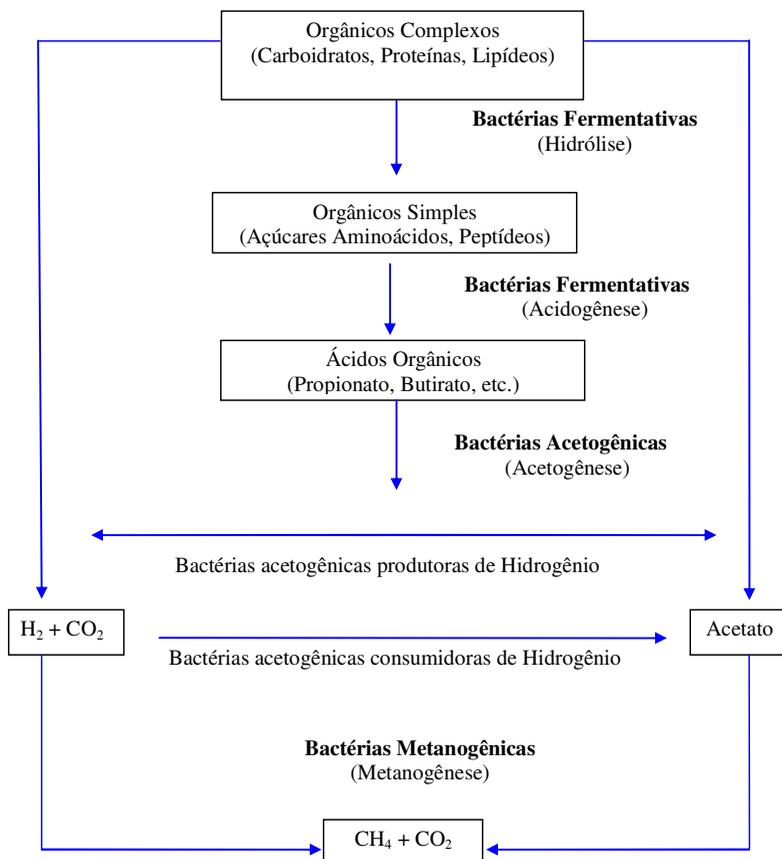


Figura 2 - Representação esquemática do processo de digestão anaeróbia

Fonte: SANTOS *et al.* (2004).

Para que ocorra o máximo de conversão possível da matéria orgânica presente o meio deve ser favorável às condições requeridas pelos microorganismos para isto alguns parâmetros devem ser controlados, os principais são: temperatura, pH, nutrientes, toxicidade, pois, as bactérias metanogênicas são, comumente, consideradas as mais sensíveis à toxicidade entre todos os microorganismos envolvidos no tratamento anaeróbio de efluentes orgânicos. Como muitos outros microorganismos, as bactérias metanogênicas podem tolerar uma grande variedade de toxicidade. Por outro lado, muitos compostos tóxicos são biodegradáveis em reatores anaeróbios, não afetando as bactérias

metanogênicas. (CORBITT, 1990).

Apesar do biogás, o principal produto da biodigestão anaeróbia sua utilização direta como gás combustível é limitada devido à presença de H_2S , que é gerado a partir da redução de compostos de enxofre presentes no substrato, mesmo que em pequenas quantidades.

Para prevenir a toxicidade do H_2S , CORBITT (1990) sugeriu algumas alternativas, por exemplo, prevenir que o H_2S ou o sulfato seja introduzido no efluente a ser tratado; diluir a água residuária abaixo do limite tóxico; formar um complexo insolúvel ou um precipitado para remover o H_2S do reator anaeróbio pela adição de ferro ou sais de alumínio.

A conversão anaeróbica produz quantidade, relativamente, pequena de energia para os microorganismos, por isso, as suas velocidades de crescimento são pequenas e apenas uma pequena porção do resíduo é convertida em nova biomassa celular.

Associada à produção do biogás ocorre a produção de biofertilizante. O biofertilizante é o resíduo produzido a partir da digestão anaeróbia de biomassa, também conhecido com uma substância com aspecto de lodo que, quando diluída, pode ser utilizada como fertilizante agrícola por apresentarem grande quantidade de azoto e fósforo, principais componentes dos adubos industriais.

O tratamento de dejetos por digestão anaeróbia, além de produzir biofertilizante e biogás contribui para destruir organismos patogênicos e parasitas; o biogás produzido é rico em metano permitindo sua utilização como uma fonte de energia; há produção baixa de biomassa implicando em menor volume de dejetos e menor custo; é capaz de estabilizar grandes volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo; a produção de lodo é baixa.

Alguns fatores interferem na digestão anaeróbia, descritas por SOARES *et al.* (2007), que são:

- Temperatura:

A temperatura afeta a velocidade do metabolismo das bactérias, o equilíbrio iônico e a solubilidade dos substratos. De acordo com a temperatura empregada, a digestão anaeróbia pode ser dividida em psicrófila $T < 20^{\circ}C$ (apresentam eficiências muito baixas); mesófila $20 < T < 42^{\circ}C$ (possuem bom desempenho), termófila $50 < T < 65^{\circ}C$ (ideal para altos teores de material particulado).

- pH:
O gás carbônico dissolvido e os ácidos graxos voláteis (AGV)

contribuem para a redução do pH, enquanto íons NH_4^+ e Na^+ contribuem para o aumento do pH. Como microorganismos diferentes atuam nas diferentes fases da digestão anaeróbia, suas necessidades em termos de pH também diferem. O pH ideal na acidogênese fica entre 5,8 – 6,0; metanogênese entre 6,8 – 7,2. Portanto, no reator o pH deve ser mantido na faixa de 6,6 – 7,6.

- Alcalinidade:

Recomenda-se que a alcalinidade ideal esteja na faixa de 1000 – 5000 mg CaCO_3/L e que a concentração de AGV não ultrapasse 250 mg/l. No entanto, existem relatos de reatores operando com concentrações muito distintas e apresentando boas eficiências de remoção.

- Nutrientes:

Existem os macronutrientes, como N, P (os mais importantes), K, S, Ca e Mg, que são necessários para se manter uma relação DQO: N: P ideal e os micronutrientes, como Fe, Ni, Co, Mo, Zn, Mn e Cu que, às vezes, podem ser adicionados para se aumentar a eficiência de degradação.

- Toxicidade:

Os principais agentes tóxicos para os microorganismos anaeróbios são: Na, K, Ca e Mg, sulfetos, amônia e metais pesados. O efeito depende da concentração destas substâncias. Sulfeto, em altas concentrações, é tóxico para as bactérias metanogênicas.

Culturas adaptadas podem degradar compostos tóxicos a taxas maiores que outros não tóxicos. Medidas de controle de agentes tóxicos consistem, em primeiro lugar, na manutenção do pH ideal, seguido de interrupção no fornecimento do composto tóxico e espera para recuperação da cultura. Em muitas situações, podem ser adicionados compostos antagônicos ao tóxico presente como a adição de $(\text{SO}_4)^{-2}$ ou $(\text{S})^{-2}$ para precipitar metais pesados em solução.

Como se percebe, a digestão anaeróbia é um processo que envolve vários microorganismos que convivem em um ambiente em que um produto metabólico de um microorganismo é o substrato de outro, devendo funcionar em perfeita harmonia. Condições ambientais, de pH em torno de 7, temperatura na faixa mesofílica e ambiente anaeróbio estrito, são condições tidas como ótimas para o processo.

4.3 Avaliação do processo anaeróbio

O processo anaeróbio pode ser avaliado no que se diz respeito à:

- Eficiência de remoção de matéria orgânica:

Pode ser relacionada à produção de biogás. Para isto, pode - se utilizar a determinação de Carbono Orgânico Total (TOC), Sólidos Totais Voláteis (STV), Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). (SOARES, 2007)

- A medida do volume de gás (V) produzido e sua composição:

Refletem a condição do processo. Ambos indicam o equilíbrio do processo entre as várias populações de microrganismos.

- A vazão volumétrica (Q):

Associada à concentração de matéria orgânica do efluente é um parâmetro importante para o cálculo da carga aplicada.

- O tempo de retenção (ou detenção) hidráulico (TRH ou TDH):

É o tempo que um elemento de volume leva para percorrer todo o volume do reator (V).

O TRH ou TDH é definido segundo a equação 1.

$$TDH = \frac{V_R}{Q} \quad (1)$$

5 BIOGÁS

5.1 Produção de biogás a partir de dejetos suínos

A suinocultura vem se destacando pela sua qualidade técnica e elevada produtividade, gerando boas relações econômicas na indústria, comércio, prestação de serviço e meio científico. No entanto, a viabilidade da atividade fica ameaçada quando se refere ao meio ambiente, sendo considerada pelos órgãos de controle ambiental, como de alto potencial poluidor. (CAMPOS *et al.*, 2005)

O potencial poluidor dos dejetos suínos é 250 vezes maior que o esgoto doméstico. Em virtude disto, os programas de manejo de dejetos são utilizados tendo por objetivo a redução do volume produzido diariamente, separação das fases sólidas e líquidas e aproveitamento dos dejetos.

Isto se deve, principalmente, à composição química dos dejetos suínos que quando lançados ao solo, cursos ou fontes de água, sem o adequado tratamento, podem contaminá-los e isto se reflete na quantidade de excrementos produzidos diariamente por suíno e o teor de umidade dos seus dejetos variando de acordo com o desenvolvimento corporal, o tipo de alimentação, a quantidade de água ingerida, a estação do ano e a quantidade de água adicionada na higienização das baias (SILVA, 1973&ANDREADAKIS, 1992 *apud* SANTOS, 2004).

Com a reciclagem dos dejetos suínos e uso de biofertilizantes, advindos do tratamento dos mesmos, em áreas agrícolas, existe a possibilidade de retorno econômico e redução dos impactos ambientais.

Os sistemas de produção e o grau de especialização das unidades buscam a viabilidade e o alcance social da suinocultura no desenvolvimento sustentável.

A busca por tecnologias, que auxiliem a redução da poluição ambiental, tem sido objeto de estudo para variados segmentos, principalmente, na área produtiva, objetivando a melhoria da qualidade de vida da população.

O processo de melhoria ambiental tende a incentivar à suinocultura a fazer um trabalho na atividade sustentável, pois venda dos créditos de carbono possibilitam a contabilização de lucros, de forma que estes sejam investidos nas granjas produzindo melhores resultados à atividade nos aspectos social, econômico e ambiental.

Na prática, a produção de biogás é possível utilizando-se o biodigestor. A utilização de biodigestores apresenta eficiência muito

maior que as lagoas convencionais. Produzir biogás nesses equipamentos, ao degradar cerca de 60% a 90% da matéria orgânica, permite uma redução significativa dos tempos de retenção e facilita a realização dos trabalhos de limpeza das lagoas. (LIMA, 2007)

Em virtude da variedade, de modelos de biodigestores, ser muito grande, cada um é adaptado a uma realidade e necessidade.

Quanto à forma de alimentação os biodigestores podem ser classificados como batelada ou contínuo.

No caso de biodigestores contínuos, alguns fatores operacionais podem ser citados como a produção contínua de biogás, a recirculação de efluentes, que pode levar aos menores Tempos de Retenção Hidráulica (TRH).

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 estão ilustrados alguns modelos de biodigestores: modelo indiano, modelo chinês, UASB (RAFA) e RALF, respectivamente.

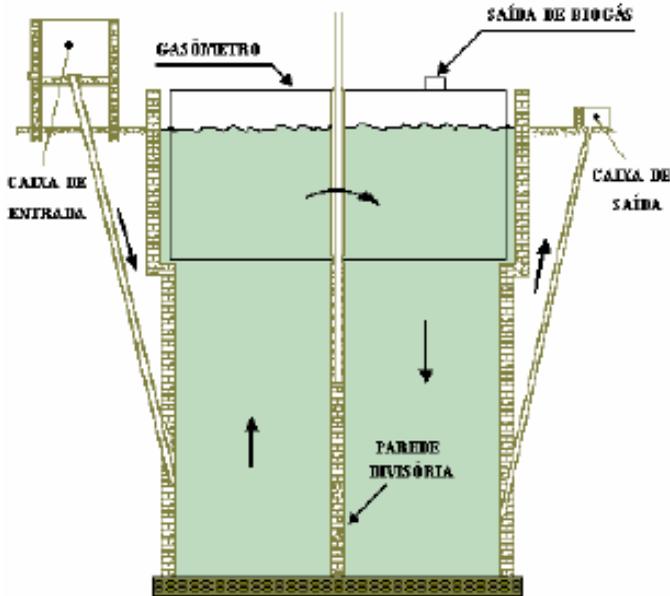


Figura 3 - Biodigestor vertical (modelo indiano)

Fonte: PECORA, 2006

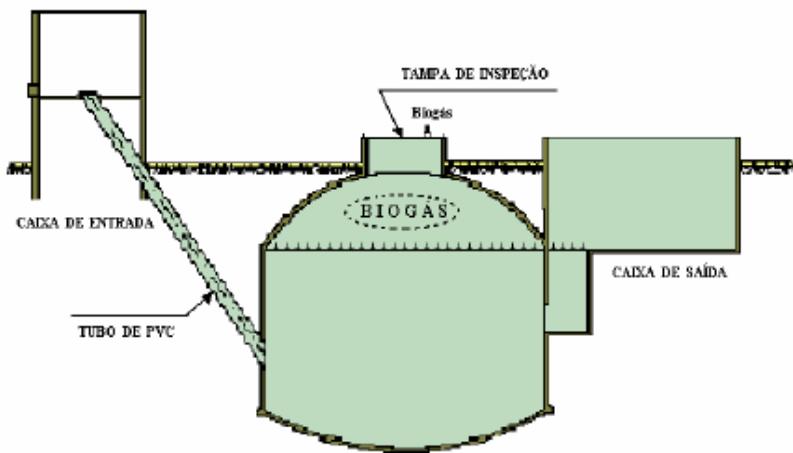


Figura 4 - Biodigestor vertical (modelo chinês)
Fonte: PECORA, 2006

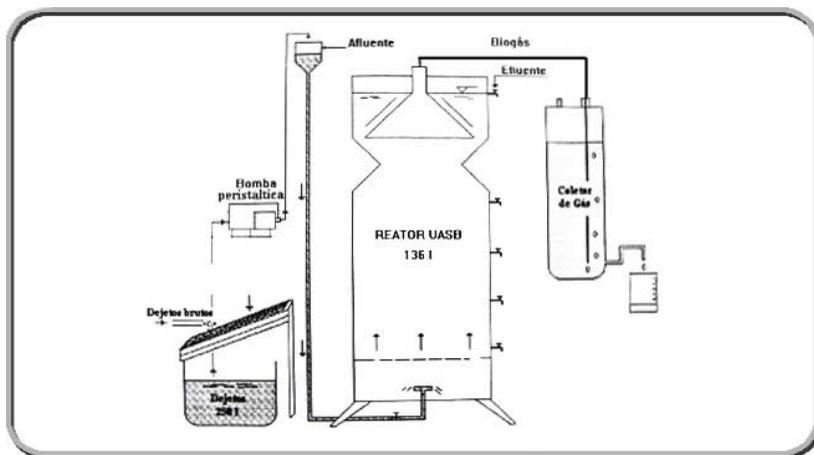


Figura 5 – UASB ou RAFA (Reator de Fluxo Ascendente)
Fonte : <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/Fotos/24.jpg>

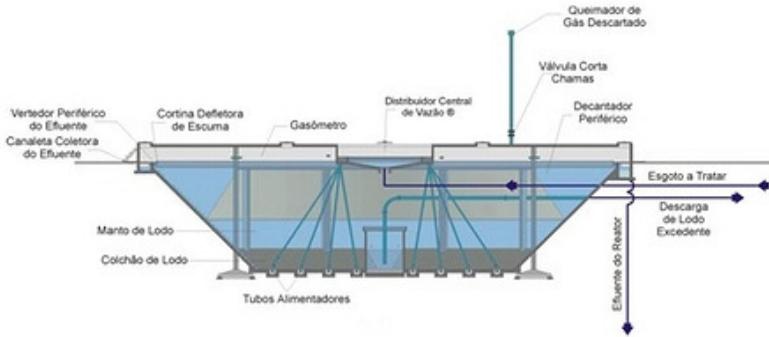


Figura 6 – RALF (Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado)

Fonte: [http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/7AA4DA2DCCDD2BBC83257376004220FB/\\$File/ete%201.jpg?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/7AA4DA2DCCDD2BBC83257376004220FB/$File/ete%201.jpg?OpenElement)

Manoel Sobral Filho, Diretor Executivo da Organização Internacional de Madeiras Tropicais (OIMT) para o site Terrazul e disponível em <http://www.ags.com.br/Home/tabid/36/ctl/Details/mid/372/ItemID/1499/Default.aspx> comenta que diversas são as vantagens, relacionadas ao uso de biodigestores dentre elas é possível destacar:

- Baixo custo de implantação e operação;
- Adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (Matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
 - Redução na produção de lodo;
 - Não há consumo de energia elétrica, uma vez que dispensa o uso de bombas;
 - Baixa demanda de área, reduzindo os custos de implantação;
 - Produção de metano, gás de elevado poder calorífico;
 - Favorece a preservação das colônias de bactérias, dando sustentabilidade ao sistema;
 - Possibilita a recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação com fertirrigação de culturas agrícolas;

Alguns fatores devem ser considerados para estimativa da produção de biogás dentre eles podemos citar: temperatura de operação do biodigestor, diluição do dejetos.

O grau de diluição dos dejetos pode ser determinado pela observação da matéria seca ou dos sólidos totais presentes. No caso de

dejetos dos suínos, os sólidos voláteis representam de 70 a 75% dos sólidos totais. Os sólidos totais voláteis são os responsáveis diretos pela produção de biogás. Quanto maior a concentração de sólidos totais voláteis na alimentação diária do biodigestor, maior será a produção de biogás e, conseqüentemente, energia. (LIMA, 2007)

Existem vários fatores que influenciam o desempenho do biodigestor, dentre as quais podemos destacar as condições climáticas da região; o material que será usado na construção; a quantidade e tipo de biomassa que alimentará o biodigestor: como por exemplo, dejetos de animais (bovinos, suínos e aves), efluentes da indústria ou agricultura. A forma de coleta do dejetos determinará o rendimento em produção de biogás.

LUCAS JR (1997) verificou que, de modo geral, o estrume suíno, quando fermentado em biodigestores batelada, sofre reduções nos teores de sólidos voláteis acima de 70%. Logo, a qualidade e o volume de biogás produzido estão diretamente, ligados à quantidade de matéria orgânica existente no dejetos, por isto, é importante o conhecimento da quantidade de sólidos totais voláteis existentes.

Alguns autores realizaram a caracterização média de dejetos suínos no sul do Brasil e resultados obtidos estão apresentados de forma simplificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização média dos dejetos suínos no sul do Brasil

| Parâmetros | MEDRI (1997) | CAZARRE (2000) | ZANTONELLI (2002) | ALVES (2007) |
|------------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| ST (mg/L) | 17.240,00 | 14.332,00 | 22.867,00 | 22.399,00 |
| STV (mg/L) | 10.266,00 | 9.304,00 | 16.855,00 | 16.389,00 |
| STF (mg/L) | 6.974,00 | 5.028,00 | 6.012,00 | 6.010,00 |
| STV/ST | 0,60 | 0,65 | 0,74 | 0,73 |
| STF/ST | 0,40 | 0,35 | 0,26 | 0,27 |

Fonte: Modificado de OLIVEIRA (2002) *apud* ALVES (2007).

Alguns testes podem ser feitos relacionados à biodegradabilidade do resíduo, são eles: DQO, presença orgânica de refratários, pH, alcalinidade total, ácidos voláteis totais, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, temperatura, sólidos suspensos (fixos e voláteis), sólidos totais (fixos e voláteis).

SANTOS *et al* (2004) comentou que STV entre 79 – 80% dos ST (média STV igual a 48.500mg/L), bem como, STF entre 20 – 21% dos

ST (média STF 12.796mg/L) caracterizam o afluyente como substrato de alta biodegradabilidade.

Tendo por objetivo verificar a eficiência do processo de remoção de matéria orgânica, SILVA (1996) *apud* ALVES (2007) realizou análises de sólidos em dejetos suínos que estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de Sólidos

| | STV (mg/L) | ST (mg/L) | STF (mg/L) |
|--------|------------|-----------|------------|
| Mínimo | 8.429 | 12.697 | 4.268 |
| Média | 16.389 | 22.399 | 6.010 |
| Máximo | 39.024 | 49.432 | 10.409 |

Fonte: SILVA (1996) *apud* ALVES (2007)

A quantidade de dejetos líquidos produzidos varia com o desenvolvimento ponderal dos animais sendo cerca 8,5 – 4,9% do seu peso vivo por dia, considerando peso vivo entre 15 e 100 kg. (JELINEK 1977, *apud* OLIVEIRA, 1993).

Os suínos excretam 1,9 vezes mais dejetos que um bovino de corte e 1,3 vezes mais que um bovino leiteiro – aproximadamente 16 toneladas por ano. (ENSMINGER *et al.*, 1990).

O interesse no aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados na suinocultura tem aumentado, não somente pelos aspectos de reciclagem de nutrientes no próprio meio e de saneamento, como também pelo aproveitamento energético do biogás (ANGONESE, 2006).

Segundo BORESMA *et al.* (1981) ao estudarem a recuperação de energia a partir de dejetos suínos verificaram que 86,4% da energia estava sendo utilizada numa propriedade agrícola, demonstrando a existência de um potencial possibilitando às propriedades independência energética.

5.2 Recuperação energética de biogás

Devido ao elevado poder calorífico do biogás, muitos aterros sanitários no mundo, além da sua simples queima, vem implantando unidades de geração de energia elétrica.

Existem outras formas de se utilizar o biogás tanto em sistemas de calefação como combustível veicular, necessitando de instalação de uma unidade de beneficiamento para aumentar o teor de metano do biogás.

O biogás com uma composição entre 55% a 70% de metano pode ser utilizado nas mais diversas atividades como: aquecimento das unidades de produção de suínos e aves; geração de energia elétrica; secagem de grãos, funcionamento de motores, resfriadores de leite, aquecedores de água, em substituição do GLP na cozinha, dentre outras.

Para produzir 1m^3 de biogás pode - se utilizar 25 kg esterco fresco de bovino, 2,3 kg esterco seco de galinha, 2,5 kg resíduos secos de vegetais ou 2,86 kg esterco seco de suíno. (SALOMON, 2007)

5.3 Composição do biogás e suas propriedades

Sabe - se que toda a matéria viva, após a morte é decomposta por bactérias microscópicas. Durante esse processo, as bactérias retiram da biomassa parte das substâncias de que necessitam para continuarem vivas, e lançam na atmosfera gases e calor. Este gás é o chamado biogás, mistura gasosa, produzida na degradação anaeróbia de material orgânico encontrado em resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou efluentes industriais, como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fábricas de alimentos (GIACAGLIA; SILVA DIAS, 1993 *apud* PECORA, 2006).

O tratamento de resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, dentre eles os dejetos suínos, através de biodigestão anaeróbia, produzem biogás.

A produção de biogás depende de vários fatores como o tipo de dejetos e a unidade de referência. E a composição do biogás varia de acordo com a composição do efluente e as condições operacionais. A tabela 3 mostra produção de biogás a partir de dejetos suínos em unidades referência.

De forma geral, o biogás é composto, principalmente, pelos gases:

- Metano (CH_4), principal componente que não tem cheiro, nem cor, nem sabor;
- Gás carbônico (CO_2);
- Ácido sulfídrico (H_2S), que possui cheiro desagradável, e outros gases.

Tabela 3 - Produção de biogás a partir de dejetos suínos

| Unidade referência | Produção específica de biogás (m ³ /kg STV) | Produção diária (m ³ /animal.dia) |
|---|--|--|
| Porca reprodutora em ciclo fechado | 0,45 | 0,866 |
| Porca reprodutora em criação de leitões | 0,45 | 0,933 |
| Porco em exploração de engorda | 0,45 | 0,799 |

Fonte: Modificado de SANTOS (2000) apud COLDEBELLA *et al.* (2006)

A proporção de cada gás depende de vários parâmetros, como por exemplo, o tipo do biodigestor e o substrato.

Na Tabela 4 encontra-se representada a descrição da composição típica de um biogás proveniente de um biodigestor anaeróbio.

Tabela 4 – Descrição da composição típica do biogás

| Composição (%) | |
|--|-----------|
| CH ₄ | 50 - 90 |
| CO ₂ | 10 - 50 |
| Outros gases (H ₂ , O ₂ , H ₂ S, N ₂) | 1,0 - 5,0 |

Fonte: ALVES (2000) apud COSTA (2006)

Há autores, ainda, que simplificam dizendo que a composição média do biogás, oriundo da digestão de dejetos suínos, pode ser descrita com 55-65% CH₄, 35-45% CO₂ e traços de H₂S.

As propriedades físico-químicas do biogás têm natural influência na tecnologia a ser utilizada em sua depuração e combustão. Como mistura variável de diferentes gases, o biogás tem poder calorífico e densidade variando com a concentração relativa de cada um dos constituintes (CCE, 2000 apud MAGALHÃES *et al.*, 2005).

Segundo CCE (2000) citado por MAGALHAES *et al.* (2005), o metano puro, em condições normais (pressão a 101,325 kPa e temperatura de 0°C), possui poder calorífico equivalente a 35.640 kJ.m⁻³. O biogás, com teor de metano variando entre 50% e 80%, possui poder calorífico inferior (PC_i) entre 17.880 e 28.440 kJ. m⁻³. Assim, afirmou que a cada 10% de CO₂ na mistura gasosa de biogás corresponde a, aproximadamente, 3.600 kJ.m⁻³ a menos em seu poder

calorífico. Para efeito de cálculos, o Ministério de Minas e Energia utiliza poder calorífico médio equivalente a 19.800 kJ m^{-3} de biogás.

Fazendo – se uma equivalência da produção de biogás com outros tipos de combustíveis, para 1m^3 de biogás produzido temos aproximadamente: 0,613 L de gasolina; 0,579 L de querosene; 0,553 L de óleo diesel; 0,454 L de GLP; 1,536 kg de lenha; 0,790 L de álcool hidratado; 1,428 kW de eletricidade. (OLIVER *et al.*, 2008)

A Tabela 5 a seguir mostra a equivalência energética do biogás quando comparado a outras fontes de energia segundo apresentado por COLDEBELLA *et al.*(2006).

Tabela 5 - Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.

| Energético | Ferraz&Mariel | Sganzerla | Nogueira | Santos |
|--------------------|---------------|-----------|----------|--------|
| | (1980) | (1983) | (1986) | (2000) |
| Gasolina (L) | 0,61 | 0,613 | 0,61 | 0,6 |
| Querosene(L) | 0,58 | 0,579 | 0,62 | - |
| Diesel (L) | 0,55 | 0,553 | 0,55 | 0,6 |
| GLP (kg) | 0,45 | 0,454 | 1,43 | - |
| Álcool (L) | - | 0,79 | 0,80 | - |
| Carvão M. (kg) | - | 0,735 | 0,74 | - |
| Lenha (kg) | - | 1,538 | 3,5 | 1,6 |
| Eletricidade (kWh) | 1,43 | 1,428 | - | 6,5 |

Fonte: COLDEBELLA *et. al* (2006)

O biogás, após seco e tratado, dependendo da composição e vazão, pode ser aproveitado em motores de combustão interna, na distribuição em rede após tratamentos adequados, na alimentação de caldeiras e na geração de energia elétrica em estações de tratamentos.

Em alguns casos, seu aproveitamento não se mostra adequado sob os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, então este, muitas vezes, é queimado em *flares* ou tratado antes de descartado na atmosfera através de biofiltração, adsorção em carvão ativado, absorção química (lavadores) ou oxidação térmica.

O uso do biogás gera problemas em virtude da presença de H_2S dentre os quais podemos destacar aqueles relacionados à:

- Segurança, pois um vazamento pode resultar em mortes;
- Natureza corrosiva do ácido sulfídrico o que faz aumentar a necessidade de manutenção de caldeiras e máquinas e conseqüente

diminuição considerável de sua vida útil dos mesmos, pois o ácido sulfídrico também pode acidificar o óleo lubrificante dos equipamentos, necessitando de trocas com mais frequência;

- Emissão de óxidos de enxofre pela queima de H₂S.

Através do Quadro 1 torna-se possível comparar o gás natural e o biogás no que se diz respeito à descrição, tipo de energia que confere a cada um e as vantagens de se utilizar uma ou outra fonte de energia.

| Combustível | Gás natural | Biogás |
|-----------------|--|--|
| Descrição | Mistura gasosa que se encontra, geralmente, junto das jazidas de petróleo. | Produzido pela degradação de resíduos orgânicos |
| Tipo de energia | Fonte de energia não renovável | Fonte de energia renovável e inesgotável |
| Vantagens | Não libertar fuligens e monóxido de carbono (CO) | Poderá substituir as aplicações do gás natural com as mesmas vantagens de não libertar fuligens e monóxido de carbono (CO) contribuindo para a diminuição dos custos de manutenção e aumentando a vida útil dos equipamentos |

Quadro 1 - Comparativo entre biogás e gás natural.

5.5 Avaliação da produção do biogás

A avaliação da produção do biogás é feita através de alguns parâmetros, como por exemplo:

- Volume de gás produzido e sua composição;
- Reflete a condição do processo. Ambos indicam o equilíbrio do processo entre as várias populações de microorganismos;
- O poder calorífico superior (PCS) de um gás combustível:

O poder calorífico representa a quantidade de energia por unidade de volume liberada na queima de um determinado combustível e pode ser definido como sendo a quantidade de energia interna contida no mesmo. Há dois tipos de poder calorífico: superior e inferior. (JOSÉ, 2004)

O poder calorífico superior, PC_s, pode ser definido como sendo a quantidade de calor produzida por 1 kg de combustível, quando este

entra em combustão, com excesso de ar, e os gases da descarga são resfriados de modo que o vapor de água neles seja condensado.

E o poder calorífico inferior (PC_I), pode ser definido como sendo a quantidade de calor que pode produzir 1 kg de combustível, quando este entra em combustão, com excesso de ar, e gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada.

O calor fornecido pela queima de gases combustíveis através de um orifício submetido a pressões constantes é representado pelo número de *Wobbe* (W). É utilizado, também, para a intercambialidade de gases. (JOSÉ, 2004). Em outras palavras, refere - se à potência de um dado queimador; gases com o mesmo número de Wobbe apresentam o mesmo desempenho energético. Há dois tipos o número de Wobbe inferior e superior.

O poder calorífico do biogás pode ser quantificado através de cálculo utilizando a equação 2.

$$PC_B = (\%CH_4) \cdot \rho_{CH_4} \cdot PC_{CH_4} \quad (2)$$

Onde:

PC_B = poder calorífico do biogás, kJ.m^{-3} ;

ρ_{CH_4} = peso específico do metano, kg.m^{-3}

PC_{CH_4} = poder calorífico do metano, kJ.kg^{-1}

E,

$PC_{iCH_4} = 50.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$;

$PC_{sCH_4} = 55.545 \text{ kJ.kg}^{-1}$;

$\rho_{CH_4} = 0,72 \text{ kg.m}^{-3}$. ($T = 0 \text{ }^\circ\text{C} - P = 1\text{atm}$)

O número de Wobbe foi calculado segundo a equação 3, a seguir:

$$W = \frac{PC}{\sqrt{\rho_{relativa}}} \quad (3)$$

Onde:

W = número de Wobbe;

PC = poder calorífico do biogás;

$\rho_{relativa}$ = densidade relativa ao ar do biogás

- A densidade do biogás

É um parâmetro útil para projetos de equipamento, armazenamento e compressão do biogás e pode ser obtida por meio da equação 4:

$$\rho_{relativa} = \frac{\%CH_4 \cdot \rho_r CH_4 + (\%CO_2) \cdot \rho_r CO_2}{100} \quad (4)$$

Onde:

$\rho_{relativa}$ = densidade relativa ao ar do biogás

$\rho_r CH_4$ = densidade relativa ao ar do metano = 0,55*

$\rho_r CO_2$ = densidade relativa ao ar do CO_2 = 1,52*

*valores apresentados na norma ASTM D3588/98 para 20° C e 1 atm.

A dependência do poder calorífico do biogás em relação ao teor de metano e do grau de umidade do gás pode ser exemplificada como na tabela 6.

Tabela 6 - Poder calorífico em função da composição do biogás

| Composição Biogás(%) | Peso Específico (kg/Nm ³)* | Poder Calorífico Inferior (kcal/kg) |
|---|---|--|
| 10% CH ₄ – 90% CO ₂ | 1,8393 | 465,43 |
| 40% CH ₄ – 60% CO ₂ | 1,4643 | 2.338,52 |
| 60% CH ₄ – 40% CO ₂ | 1,2143 | 4.229,98 |
| 65% CH ₄ – 35% CO ₂ | 1,1548 | 4.831,14 |
| 75% CH ₄ – 25% CO ₂ | 1,0268 | 6.253,01 |
| 95% CH ₄ – 5% CO ₂ | 0,7768 | 10.469,60 |
| 99% CH ₄ – 1% CO ₂ | 0,7268 | 11.661,02 |

Fonte: AVELLAR (2001) *apud* COSTA (2006)

*CNTP (0°C e 1 atm)

Como forma de compatibilizar uma ação ambiental, com objetivo de reduzir as emissões de efluentes e de gases, empresas renomadas e de caráter inovador estão viabilizando a construção de biodigestores para o suinocultor em troca dos créditos de carbono a serem gerados com a implantação do mesmo, como alternativa ao suinocultor.

6 MDL - IPCC – PROTOCOLO DE KYOTO – CRÉDITO DE CARBONO

O tema “mercado de carbono” vem sendo tratado, com bastante ênfase, no que se diz respeito às discussões sobre mudanças climáticas relacionadas ao efeito estufa.

Com objetivo de atingir as metas de redução das emissões, o Protocolo de Kyoto criou três mecanismos: a troca de emissões entre países com metas a cumprir, a implantação de projetos conjuntos para reduzir emissões e o chamado MDL, ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Em 1988 aconteceu a primeira reunião entre governantes e cientistas sobre as mudanças climáticas, realizado em Toronto, Canadá, que descreveu o impacto nas mudanças climáticas como potencial inferior apenas ao de uma guerra nuclear.

Nos anos 90 eram grandes as pressões para a criação de um tratado mundial para cuidar deste tema. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) responderam a essas pressões criando um grupo de trabalho intergovernamental que se encarregou de preparar as negociações desse tratado.

Desde então, fizeram - se enormes progressos na área científica sendo possível citar a criação do Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) e na área política - com a Organização das Nações Unidas estabelecendo o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção - Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC), que mais tarde culminou na criação a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC (*UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change*). (CENAMO, 2004)

Em 1990 foi feito, pelo IPCC, o primeiro informe com base na colaboração científica de nível internacional, na qual os cientistas advertiram que para estabilizar os crescentes níveis de CO₂, seria necessário reduzir as emissões em 60% comparadas às de 1990.

A assinatura, em 1992 por mais de 160 governos, da Convenção (marco sobre mudança climática) na ECO – 92 (Rio de Janeiro), teve como objetivo evitar interferências antropogênicas perigosas no sistema climático e isto precisaria ser feito, rapidamente, com objetivo de poder proteger as fontes alimentares, os ecossistemas e o desenvolvimento social. Além disto, foi incluída uma meta nas quais os países

industrializados deveriam manter suas emissões de gases de efeito estufa, em 2000, semelhantes aos níveis de 1990. Estando incluso, também, o princípio de responsabilidade comum e diferenciada, significando que todos os países têm a responsabilidade de proteger o clima.

O objetivo final da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos com ela relacionados que adote a Conferência das Partes é o de alcançar, em conformidade com as disposições pertinentes desta Convenção, a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável. (UNFCCC, 1992 *apud* CENAMO, 2004).

6.1 Protocolo de Kyoto

Em 1997, foi adotado o Protocolo de Kyoto, na cidade de Kyoto (Japão). Foi o mais importante acordo ambiental feito pela ONU e estabeleceu que até 2012, 38 países industrializados precisavam reduzir em 5,2% as emissões de gases de efeito estufa, entre eles, o CO₂.

O Protocolo de Kyoto - um acordo internacional que, estabeleceu metas de redução de gases poluentes, limitou emissões dos seis gases que provocam o efeito estufa, pois se acreditava que estivessem ligados ao aquecimento global.

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) foram listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto e são: CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, acompanhado por suas famílias de gases, HFC' s e PFC' s. E quando emitidos em razão das atividades antropogênicas, decorrem, principalmente, da queima de combustíveis fósseis em usinas termoeletricas, indústrias, veículos em circulação e sistemas domésticos de aquecimento, além de atividades agro - pastoris, lixões e aterros sanitários.

Entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, e foi ratificado por 36 países do grupo dos mais ricos do planeta (os países desenvolvidos e responsáveis por 80% da poluição mundial).

Os mecanismos adicionais de implementação, bem como, o Protocolo de Kyoto, mais especificamente, o MDL, necessitavam de regulamentação complementar sendo objeto dos Acordos de Marraqueche, firmados em novembro de 2001, durante a 7ª Sessão da

Conferência das Partes da Convenção, ou simplesmente COP-7.

A Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC, adotada durante a ECO 92 e ratificada, aceita, aprovada ou aderida por 185 países mais a União Européia, estabeleceu um regime jurídico internacional para atingir o objetivo principal de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático.

6.2 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado a partir do Protocolo de Kyoto, dentro do princípio de que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de gases de efeito estufa através dos Créditos de Carbono.

A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para a redução das emissões globais. (CENAMO, 2004)

Os países do ANEXO I deveriam estabelecer em seus territórios metas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões podem comprar Certificados de Emissões Reduzidas (CER) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Os países em desenvolvimento, por sua vez, devem utilizar o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável. (CENAMO, 2004).

CENAMO (2004) comenta ainda que a princípio, os projetos de MDL seriam divididos nas seguintes modalidades:

- Fontes renováveis e alternativas de energia;
- Eficiência/conservação de energia e,
- Reflorestamento e estabelecimento de novas florestas (é nesta modalidade que estão a maioria dos projetos de seqüestro de carbono).

Além do MDL, existem outros dois mecanismos de flexibilização incluídos no Protocolo de Kyoto, que são:

- Comércio de Emissões (Emission Trade), que estabelece que cada país, do Anexo I, pode comercializar parte de suas reduções que exceder as metas.
- Implementação Conjunta (JI) - um instrumento proposto pelos EUA, que permite a negociação bilateral de implementação conjunta de projetos de redução de emissões de GEE entre países integrantes do

Anexo I, o que implica, portanto, em constituição e transferência de crédito de emissões de gases de efeito estufa do país em que o projeto está sendo implementado para o país emissor. Isto permite que este possa comprar “crédito de carbono” e, em troca, constituir fundos para projetos a serem desenvolvidos em outros países. Os recursos financeiros obtidos deverão ser aplicados, necessariamente, na redução de emissões ou em remoção de carbono.

Mas existe um detalhe, esses mecanismos não podem ser utilizados pelo Brasil, porque são válidos apenas para os países membros do ANEXO I.

6.3 IPCC

IPCC, sigla em inglês que significa Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, é um órgão composto por delegações de 130 governos que tem por missão avaliar a informação científica disponível sobre os efeitos das mudanças climáticas; destacar seus impactos ambientais e sócio - econômicos e traçar estratégias para dar respostas adequadas ao fenômeno com objetivo de promover avaliações regulares sobre a mudança climática.

O IPCC foi criado em 1988, para analisar o impacto das mudanças climáticas com base na percepção de que a ação humana poderia estar exercendo uma forte influência sobre o clima do planeta e que é necessário acompanhar esse processo.

Desde 2007, o IPCC tornou-se uma das referências mais citadas nas discussões sobre mudança climática.

Através do órgão da ONU foi divulgado um relatório completo sobre o aquecimento global atual que, dentre outras coisas:

- Reuni evidências científicas sobre a mudança climática em relação à ação antropogênica;
- Argumenta em favor da criação da Convenção Básica das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas, (em inglês, UNFCCC);
- Trata das consequências da mudança climática para o meio ambiente e para a saúde humana;
- Estuda maneiras de combater a mudança climática e prover alternativas de adaptação das populações.

Após a divulgação dos últimos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e a constatação de que o aquecimento global decorre das emissões antropogênicas de GEE percebe-se que a comunidade internacional tem - se mobilizado na

busca por soluções visando suavizar as mudanças climáticas.

Dentre as iniciativas até então propostas encontram - se a política de biocombustíveis, pois têm sido defendidos como uma alternativa promissora quanto ao combate à mudança climática.

Se compararmos os biocombustíveis aos fósseis é possível dizer que são os biocombustíveis são considerados superiores no que se diz respeito às emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, baseando - se nas emissões decorrentes de sua utilização que equivalem, no máximo, à quantidade de carbono fixada durante a produção de biomassa, através do processo fotossintético.

6.4 Créditos de carbono – RCE (Reduções Certificadas de Emissões)

Para facilitar o entendimento do que seriam créditos de carbono, podemos defini - lo como sendo um novo título (a ser lançado no mercado capitalista mundial), ou uma nova "moeda", que tem como principal objetivo auxiliar na redução do aquecimento global.

Os créditos de carbono equivalem à redução de emissões de gases onde cada crédito equivale a uma tonelada do gás (CO₂) reduzida, com valor médio de mercado entre 12 a 18 euros (2007), atingindo a marca de 10 euros (2009) em virtude da crise mundial, variando de acordo com a cotação internacional, passando a ser um certificado para venda similar ao mercado de ações. (MERCADO INTERNACIONAL - CRÉDITO DE CARBONO, 2009)

As RCE's (Reduções Certificadas de Emissões) representam os créditos que podem ser utilizados pelas Partes Anexo I – que são países desenvolvidos que pertencem à OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e países em transição em que se incluem a Federação Russa, países da Europa Central e do Leste, e os Estados Bálticos - que tenham ratificado o Protocolo de Kyoto – como forma de cumprimento parcial de suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE).

Para os países em desenvolvimento, como o Brasil, os estímulos advindos do mercado de carbono se concentram nas atividades de projeto elegíveis e realizadas no âmbito do MDL.

Em relação ao Brasil, sabe - se que existe em desenvolvimento um modelo operacional destinado a facilitar o acesso de atividades de projeto elegíveis ao MDL, de forma a estimular investidores brasileiros e estrangeiros a participarem, ativamente, das oportunidades propiciadas por esse mecanismo.

No caso dos suinocultores percebe - se que eles vêm se mostrando interessados em adquirir novas tecnologias, atento ao meio ambiente, conduzindo ao caminho ético, demonstrando o início de uma nova fase.

Conforme dados contidos no site do Banco Real (2009), os maiores interessados na compra destes créditos são:

- Empresas e/ou governos de países desenvolvidos que de acordo com o estabelecido pelo Protocolo de Kyoto precisam reduzir e/ou compensar suas emissões;
- Empresas que não têm metas de redução, mas que compram Créditos de Carbono, voluntariamente, como incentivo e apoio ao desenvolvimento sustentável de países emergentes;
- Investidores que acreditam na valorização dos créditos para negociação no mercado.

Sabe-se que o potencial de aquecimento global do gás metano (GWP_{CH_4}) é 21 vezes maior do que o potencial do CO_2 , logo, pode - se dizer que o CO_2 equivalente do metano é igual a 21.

Com relação ao histórico de negociação de créditos de carbono, observamos que em 2005 o preço pago pelos créditos era em torno de US\$ 5,60 por tonelada de CO_2 reduzida.

Em 2007, aconteceu o primeiro leilão de carbono no Brasil e na América Latina, na BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros) em São Paulo e foram negociadas 808.450 toneladas de CO_2 pertencentes ao aterro Bandeirantes, sendo este lote arrematado pelo banco europeu Fortis Bank NV/SA por €16,20/ton.

No ano seguinte, a Mercuria Energy Trading, empresa sediada nos EUA adquiriu no dia 25 de setembro, o lote único do leilão de certificados de crédito de carbono realizado na BM&F. As 713 mil toneladas foram arrematadas por €19,20 a tonelada. Dos certificados leiloados, ou reduções certificadas de emissão (RCE's), 454.657 pertenciam ao Aterro Sanitário Bandeirantes, na zona norte da capital paulista, e outros 258.657 são originários do Aterro Sanitário São João, na zona leste. (RIBEIRO, 2008)

Dados de 2009 mostram que a queda dos preços do petróleo e as freqüentes notícias sobre a recessão nas principais economias do mundo derrubaram as cotações dos créditos de carbono e das permissões (allowances), negociadas entre os países da Europa. As Reduções Certificadas de Emissões (RCE's) emitidas, por exemplo, por empresas brasileiras fecharam janeiro de 2009 cotadas a 10,43 euros a tonelada de CO_2 reduzida, tendo uma redução em torno de 84% em relação aos quatro meses anteriores, quando a prefeitura de São Paulo vendeu em

leilão RCE's por €19,20.

O período de obtenção de créditos, segundo AM0006(2004) que em inglês, significa Convenção Básica das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas que tem o propósito de reduzir a emissões de gases de efeito estufa (GEE) na tentativa de combater o aquecimento global, pode ter duração de 7 anos, com no máximo duas renovações, totalizando três períodos de 7 anos, desde que a linha de base seja ainda válida ou tenha sido revista e atualizada; de 10 anos, sem renovação.

6.4.1 Quantificação de Crédito de Carbono

A quantificação dos créditos de carbono é baseada na estimativa de redução de emissões de metano e toneladas de CO₂ equivalente por ano.

A metodologia proposta pela ACM0010 (2006), versão 2, fundamenta-se e refere-se à linha de base para os sistemas de manejos de dejetos. Esta é uma metodologia aprovada pelo conselho executivo do CQNUMC da qual pode avaliar as emissões de GEE em dois cenários: cenário da linha de base e o do projeto. Aplica-se, sobretudo, ao manejo de esterco em fazendas de gado em que o sistema utilizado de tratamento anaeróbio do esterco, dentro do limite do projeto, seja substituído por um sistema ou um conjunto com mais de um sistema de manejo de resíduos animais que provoquem menores emissões de GEE. Os cálculos das emissões de metano, através desta metodologia, incluem aspectos referentes às emissões de linha de base, emissões da atividade do projeto, conseqüentemente, o cálculo da redução de emissões pela atividade do projeto. (BARANCELLI, 2007).

Segundo ACM 0010(2006) para que sua utilização seja válida, existem algumas condições a serem observadas:

- O sistema de criação das fazendas de gado (bovino, bufalino, suíno, ovino, caprino) e/ou aves seja executado em regime de confinamento;
- Em fazendas onde o esterco não seja despejado junto a fontes de recursos hídricos;
- Em caso da existência de sistema de tratamento em lagoas anaeróbias, estas devem possuir profundidade superior a 1 m;
- A temperatura no local de instalação do empreendimento com tratamento anaeróbio de esterco deve ser superior a 5°C;
- O tempo mínimo de retenção no sistema de tratamento deve ser de um mês (30 dias);

- O manejo e o processo de tratamento dos dejetos devem assegurar que não ocorram vazamentos ou infiltrações no solo;

As emissões de GEE na linha base são, de forma geral, as emissões oriundas do empreendimento, no qual se propõe a implantação de um projeto MDL, antes da implantação do mesmo. (BARANCELLI, 2007). Em seus cálculos BARANCELLI (2007) e SHOW *et.al* (2008) consideraram como cenário de linha de base uma lagoa anaeróbia aberta.

As emissões da atividade de projeto do MDL são avaliadas de forma a estimar as emissões antrópicas de gases de efeito estufa da atividade de projeto do MDL, por fontes, dentro do limite do projeto.

O limite do projeto abrange todas as emissões de gases de efeito estufa, sob controle das atividades de projeto que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, a essas atividades. (AM0006, 2004).

A metodologia ACM 0010(2006) estima as emissões baseada nos sólidos totais voláteis (local), na capacidade máxima de produção de metano e no fator de conversão de metano.

- Sólido total volátil local (SV_{local})

É o sólido volátil anual para o gado, no caso estudado do tipo suíno que entra em todos os sistemas de manejo de dejetos animais (AWMS) (com base no peso da matéria seca.).

- Capacidade máxima de produção de metano (β_0)

É valor – padrão que representa o máximo de capacidade de produção de metano a partir dos dejetos por animal e varia com a espécie de animal e alimentação (dieta) sendo possível definir como sendo o ganho de metano (teórico) baseado nos STV dos dejetos, considerando as práticas adotadas na granja. Ou, como de acordo com a UNFCCC (2006), sendo o potencial máximo de produção de metano do sólido volátil gerado, em $m^3 CH_4 / kg SV$ (m.s.).

Os valores - padrões, quando usados, podem ser obtidos das tabelas 10A-4 a 10A-9 (Diretrizes do IPCC, 1996 para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, volume 4, capítulo 10), específicas do país em que o projeto é implementado. (ACM0010, 2006).

A capacidade de produção de metano pode ser calculada através da equação 5.

$$\beta_0 = \frac{\text{vazão}CH_4 (m^3 CH_4 / dia)}{SV_{local} (kgSV / dia)} \quad (5)$$

- O Fator de Conversão do Metano (MCF)

Representa o máximo de capacidade de produção de metano a partir dos dejetos por animal e reflete a porção de β_0 que é conseguido. Varia de acordo com a maneira que o dejetos é tratado e o clima.

6.4.1.1 Emissões da linha de base

A linha de base é o sistema de manejo de dejetos animais de forma que estas representem as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta. É qualificada e quantificada com base em um cenário de referência, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes, listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto, que ocorram dentro do limite do projeto. (ANGONESE *et al*, 2007; ACM0010, 2006).

As emissões de CH_4 da linha de base são medidas a partir de dados obtidos para lagoa anaeróbia (BARANCELLI, 2007; SHOW *et.al*, 2008) e pode ser quantificada de acordo com a equação 6.

$$E_{\text{CH}_{4,L.B}} (\text{tCO}_2 \text{eq} / \text{ano}) = \text{GWP}_{\text{CH}_4} \cdot \text{MCF}_{\text{LB}} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot \text{SV}_{\text{local}} \cdot \beta_0 \cdot 300 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \cdot 1000^{-1} \quad (6)$$

Onde:

- GWP_{CH_4} = potencial de aquecimento global
- MCF = fator de conversão de metano
- $\text{STV}_{\text{(local)}}$ ($\text{m}^3 \text{dejetos} / \text{animal} \cdot \text{dia}$) = sólidos totais voláteis (local)
- β_0 ($\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{kg STV}$) = máxima produção de metano
- N (animais) = número de animais
- ρ_{CH_4} ($\text{kgCH}_4 / \text{m}^3$) ($T=20^\circ\text{C}$, $P=1\text{atm}$) = densidade do metano.

Ao fator de conversão de metano, MCF padrão do IPCC (2006), deve-se aplicar um fator de conservadorismo de 0,94, para contabilizar a incerteza de 20%, como orientações das diretrizes do IPCC (2006), para se tenha o fator de conversão de metano da linha de base (MCF_{LB}). Esta correção está descrita na equação 7.

$$\text{MCF}_{\text{linhadabase}} = \text{MCF}_{\text{(lagoa)padrãoIPCC} \cdot 2006} * 0,94 \quad (7)$$

6.4.1.2 Metodologia das emissões da Atividade de Projeto do MDL

A metodologia, ACM0010, para determinação das emissões da atividade de projeto do MDL inclui emissões de metano devido à decomposição de detritos sob condições anaeróbicas.

Ressalta-se que não são consideradas, nos limites do projeto e da linha de base, as emissões de metano dos depósitos de lodo no sistema de gestão de detritos, pois se considera que o lodo não seria acumulado ou depositado sob condições anaeróbicas (fugas). (AM0006, 2004)

A estimativa do total das emissões do projeto envolve as emissões de CH₄ no biodigestor anaeróbio e as de CH₄ devido à combustão incompleta e para isto utiliza-se a equação 8.

$$E_{CH_4 \text{ projeto}} = E_{CH_4 \text{ D.A}} + E_{CH_4 \text{ Q.}} \quad (8)$$

Onde:

- ECH₄ projeto (tCO₂eq/ano) = emissão de metano utilizando o projeto
- ECH₄ D.A (tCO₂eq/ano) = emissão de metano (biodigestor anaeróbio)
- ECH₄ Q (tCO₂eq/ano) = emissão de metano (queima)

6.4.1.2.1 Emissão de CH₄ no Biodigestor Anaeróbio (E_{CH₄D.A})

Para estimativa das emissões de CH₄ no biodigestor anaeróbio, utiliza-se a equação 9, descrita na metodologia ACM0010(2006).

$$E_{CH_4, DA} = SV_{biodigestor} \cdot \beta_0 \cdot \rho_{CH_4} \cdot MCF_{DA} \cdot GWP_{CH_4} \cdot 300 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \cdot 1000^{-1} \quad (9)$$

Onde:

MCF_{D.A} = fator de conversão de metano (digestão anaeróbia) descrita pela equação 10 (IPCC, 2004), na qual permite calcular o fator de emissão de metano (MCF_{D.A}) quando se utiliza no projeto o biodigestor anaeróbio.

$$MCF_{D.A.} = \left[\frac{CH_{4prod} - CH_{4usadoenergia} - CH_{4flare} + \left(\frac{MCF_{sistema}}{100 * \beta_0 * SV * 0,67} \right)}{\beta_0 * SV * 0,67} \right] * 100 \quad (10)$$

Sendo:

- CH4prod= Produção de CH4 (kg CH4) = representada pela 11
- CH4energia = CH4 usado para energia (kg CH4) = representada pela equação 12
- CH4flare = CH4 queimado (kg CH4) = representada pela equação 13.

Onde:

$$CH_{4prod} = volume_{biogás} \cdot fraçãoCH_{4biogás} \cdot \rho_{CH_4} \quad (11)$$

$$CH_{4energia} = volumeCH_{4aquecedor} \cdot \rho_{CH_4} \quad (12)$$

$$CH_{4flare} = volumeCH_{4flare} \cdot \rho_{CH_4} \quad (13)$$

6.4.1.2.2 Emissões de CH₄ devido à combustão incompleta

Metano pode ser liberado como um resultado da combustão incompleta tanto na opção de queima ou no caso de o biogás ser usado para geração de eletricidade e/ou calor.

A equação 14 permite calcular a emissão de CH₄ devido à combustão incompleta durante a queima.

$$E_{CH_4Q} (kg/ano) = Prod.CH_4 \cdot \%biogás_{queimador} \cdot \rho_{CH_4} \cdot (1 - \eta_f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot 300 \frac{dias}{ano} \cdot 1000^{-1} \quad (14)$$

Onde:

- η_f (%) = eficiência do queimador
- Prod. CH₄ = fração de biogás que chega ao queimador

6.4.2 Total de reduções e créditos de carbono estimados

O total de reduções de emissões, pela atividade do projeto durante um determinado ano, é diferença entre as emissões de CH₄ pela linha de base e as emissões de CH₄ pelo projeto, descrita na equação 15.

$$E_{total} = E_{LB} - E_{projeto}$$

$$E_{total} = E_{LB} - E_{projeto} \quad (15)$$

A porcentagem de redução de emissões é calculada através da equação 16.

$$\% \text{redução emissões} = \left(1 - \frac{\text{Emissões .projeto}}{\text{Emissões .linha.de.base}} \right) * 100 \quad (16)$$

O total de redução de emissões expressa em tCO₂eq /ano, ou seja, quantidade de emissão reduzida é conhecida como CER (Certificado de Emissões Reduzidas) ou, simplesmente, Créditos de Carbono.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 Metodologia de análises

Este trabalho foi realizado em uma granja de suínos, localizada no município de Iomerê/SC, cidade esta de clima mesotérmico úmido e temperatura média de 16,9°C, onde encontra - se instalado um biodigestor contínuo e um *flare* para queima de biogás, como mostram as figuras 7 e 8, respectivamente. As coletas das amostras foram realizadas nos dias 18/03/2009, 06/04/2009, 24/04/2009 e 05/05/2009. Porém, as amostras do dia 18/03/2009 foram desprezadas por inconsistência de dados.



Figura 7 – Foto do Biodigestor utilizado na granja de suínos no município de Iomerê /SC.



Figura 8 – Foto do flare Granja situada em Iomerê /SC

O biodigestor utilizado é do tipo horizontal de fluxo contínuo, sendo seu volume de 450m^3 com tempo de detenção hidráulico em torno de 30 dias onde são tratados 8m^3 dejetos por dia, não havendo pré-tratamento dos dejetos.

Segundo dados fornecidos pela empresa que auxilia na gestão do projeto na granja, a mesma utiliza o Sistema Vertical Terminados (Granja – SVT) com capacidade de alojamento para 1950 suínos.

Durante o período analisado estavam em regime de confinamento 1600 suínos em fase de terminação. O biogás produzido não é armazenado, sendo consumido diariamente.

Os suínos produziam, aproximadamente, 180m^3 de biogás/dia. Cada animal gerava, aproximadamente, 5L de dejetos por dia, sendo um total de aproximadamente 8m^3 de dejetos produzidos por dia. Com relação às entradas diárias de dejetos no biodigestor, ainda segundo informações da mesma empresa não há entradas diárias de dejetos no biodigestor, o que ocorre é uma descarga de todo dejetos acumulado no biodigestor a cada 2. Os dejetos produzidos são armazenados em canaletas e descarga dos mesmos para o biodigestor é realizada, em média a cada 2 dias.

Em virtude de, ser granja com sistema de terminação, valores como de volume de biogás produzido, produção de dejetos por animal, por exemplo, podem variar, uma vez que dependem da idade dos suínos. O sistema é alimentado por gravidade.

O queimador foi projetado pela empresa parceira da granja e uma empresa terceirizada, tem capacidade de queimar, em média 40m^3 de biogás por hora, que ocorre de forma intermitente, ou quando acionada manualmente.

Os parâmetros de avaliação do sistema foram análises físico-químicas (sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV)) antes e depois do tratamento utilizando biodigestor, análises para a determinação da composição do biogás e dos gases de exaustão devido à combustão do biogás.

7.1.1 Análise de sólidos

A metodologia adotada, para análise de sólidos, foi baseada na Norma Brasileira (NBR 10.664/ Abril 1989 - Método Gravimétrico)

As amostras foram simples e uma amostra por dia de coleta na entrada e na saída do biodigestor. Para análise de sólidos as amostras foram coletadas em garrafas PET (2L) e armazenadas, em caixa térmica

com gelo até o encerramento das análises, durante o período que compreendeu da metade do ciclo até o 100º dia de permanência, com intervalo de aproximadamente 10 dias entre cada amostragem.

Após, aproximadamente 24h após a coleta, as amostras contidas nas garrafas PET (2L) foram analisadas em triplicata e a partir dos mesmos foram efetuados os cálculos das médias diárias.

E para quantificação utilizou – se das equações 17, 18 e 19:

Sólidos Totais (mg/L):

$$ST(mg / L) = \frac{(m_2 - m_1) * 1000}{V} \quad (17)$$

Sólidos totais fixos (mg/L):

$$SF(mg / L) = \frac{(m_3 - m_1) * 1000}{V} \quad (18)$$

Sólidos Totais Voláteis (mg/L):

$$SV(mg / L) = ST(mg / L) - SF(mg / L) \quad (19)$$

Onde:

- m_1 = massa da cápsula vazia
- m_2 = massa da cápsula após secagem
- m_3 = massa da cápsula após calcinação
- V_a = volume da amostra

7.1.2 Análise da Composição do Biogás

Para a análise da composição do biogás, a coleta foi realizada em sacos Tedlar®, na válvula de segurança do biodigestor. E para análise utilizou–se kit de análises de biogás – *Alfakit* e cromatografia gasosa.

As análises através do kit de análise de biogás são colorimétricas para amônia e gás sulfídrico, no qual se utiliza um sistema de comparação visual com cartela de cores. O limite de detecção do H₂S é entre 20 e 1020 ppmv e da amônia é de zero até 1310 ppmv.

As análises de metano e CO₂ foram realizadas em um cromatógrafo a gás, CG 35 *Cromacon*, com detector de condutividade

térmica. As condições operacionais do cromatógrafo foram: 130 °C do injetor, 60 °C na coluna e 200 °C no detector, utilizando vazão de He como gás de arraste de 30 mL/min. A coluna utilizada para a análise foi a Porapaq - Q empacotada com 1,8 m.

Posteriores às análises foram efetuados testes buscando a validade dos dados obtidos. Primeiramente, buscou-se um analisador de CO₂, um equipamento pequeno, mais simples que o Kit biogás (*Alfakit*), que segue o método ORSAT para medição de CO₂ com escala de 0 – 60%. Foram testadas concentrações de solução de KOH 50% e a solução comercial e uma com 25% de KOH. Os testes seguiram as instruções do manual do equipamento para as duas soluções. Testes com o Kit Biogás (*Alfakit*) e cromatografia gasosa, para as mesmas amostras, foram realizados.

Em todos os testes, a amostra utilizada era composta por uma mistura gasosa de 59,99% CH₄, 40% CO₂ e 1030ppm H₂S e certificada pela White Martins, seguindo procedimentos da ISO e INMETRO.

7.1.3 Análise dos Gases de Combustão

Os gases de exaustão devido à combustão do biogás foram analisados utilizando-se o analisador de gases de combustão e fuligem - Greenline MK2, *Eurotron* (figura 9), a partir da imersão da sonda do equipamento no ponto de amostragem. As análises foram realizadas em campo nos mesmos dias e horários das coletas de resíduos e biogás.

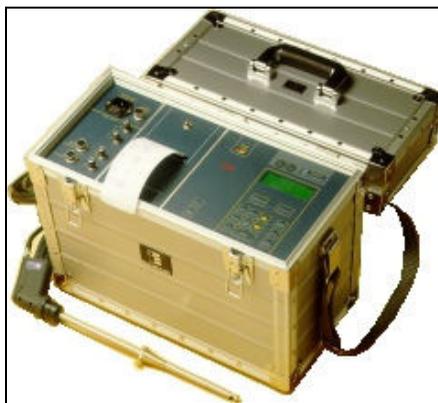


Figura 9 - Analisador de gases de combustão Greenline MK2 (RIBEIRO, 2002)

O ponto de amostragem, definido neste trabalho, de avaliação dos gases de exaustão do sistema combustão era localizado no topo da chaminé.

O analisador de gases opera de forma contínua e baseia-se em um grupo de células eletroquímicas, para análise de monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) e oxigênio (O₂), e peristor para hidrocarboneto (C_xH_y). O CO₂ é calculado com base em combustível previamente definido e no excesso de ar.

7.1.4 Metodologia de cálculo de créditos de carbono

A metodologia aplicada para a quantificação dos créditos de carbono foi a ACM 0010, pois, é uma metodologia consolidada e o sistema de manejo dos dejetos na granja condiz com as exigências da mesma.

Para sua aplicabilidade foi necessária a descrição e avaliação das etapas do processo presente na granja estudada e dos dejetos produzidos pela mesma, a definição do cenário de linha de base, atividade e limite do projeto.

Sabe-se que os dejetos produzidos nas instalações são encaminhados para o sistema de tratamento, que os suínos estavam em fase de terminação. Para efeito de cálculos admitiu-se que o cenário de linha de base adotado, lagoa anaeróbia aberta, o cenário de atividade do projeto, um sistema formado por biodigestor anaeróbio e um queimador (*flare*) e o limite da atividade de projeto conforme está descrito na Figura 9

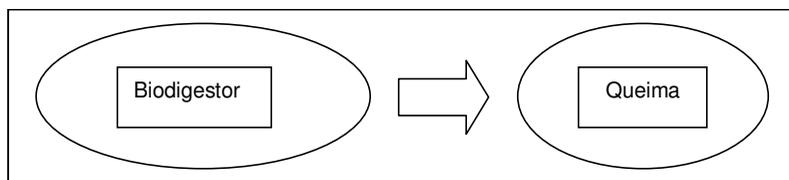


Figura 10 – Sistema que representa o limite da atividade do projeto.

Para a quantificação das emissões, as equações foram descritas pela metodologia ACM0010, referenciadas da equação 5 até a 16.

7.4.1.1. Estimativa de parâmetros

Em virtude de a metodologia adotada envolver incertezas na estimativa das emissões, alguns parâmetros – chave, que são, freqüentemente, duvidosos e, muitas vezes apenas valores - padrões são acessíveis; alguns foram calculados.

Para a estimativa das emissões, uns parâmetros foram escolhidos de modo a evitar superestimacões e outros foram definidos conforme práticas locais e o contexto do projeto.

Os parâmetros calculados conforme práticas locais da granja foram:

- A vazão média do biogás:

Pela impossibilidade de se realizar medições de produção média de biogás de forma a retratar melhor a realidade do biodigestor, o cálculo da vazão média (m^3/dia) de biogás procedeu-se segundo as diretrizes do IPCC que especificam as fugas físicas provenientes dos biodigestores anaeróbios como sendo de 15% da produção total de biogás. (ACM0010, 2006). Baseado nisto, aos valores referentes às fugas adicionou-se à vazão de biogás, medida através de um medidor de vazão digital, que chegava ao queimador para se obter a vazão média de biogás. As medições foram feitas, associadas às análises de emissões, pois na maioria das vezes o queimador estava desligado e precisou ser acionado manualmente. Para efeito de cálculos o valor utilizado foi vazão média de $189,83m^3/dia$, sendo este um valor aceitável, pois segundo dados disponibilizados pela empresa a vazão média seria em torno de $180m^3/dia$.

- Fração de metano:

A concentração média, no biogás quantificado pela cromatografia gasosa foi de 62% conforme será apresentado na Tabela 10, posteriormente.

- Produção de metano (m^3/dia)

Calculada a partir da vazão média de biogás, calculada levando-se em consideração as fugas, e a fração de metano no biogás.

- Fração de biogás

Baseado nos dados obtidos da análise da queima do biogás e de dados de projeto para o queimador a fração que chega ao *flare* e é queimado foi estimado em 99%

- O número de animais

O número de animais calculado a partir do número de animais do ciclo em estudo (1600 animais) e extrapolado para total de animais por ano na granja visto que há 3 ciclos por ano totalizando 4800 suínos.

Parâmetros que foram admitidos:

- Densidade do $\text{CH}_4 = 0,67\text{kg/m}^3$ ($T = 20^\circ\text{C}$ e $P = 1\text{atm}$)
- Fração de CH_4 “livre” devido à combustão incompleta do queimador = eficiência do queimador ($\eta = 99\%$)
- A quantidade de CH_4 usado para produção de energia ($\text{CH}_4\text{energia}$) foi considerada nula, em virtude de o sistema analisado não utilizar aquecedor.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Análise de dejetos suínos

As tabelas 7 e 8 mostram a quantidade de matéria orgânica, média diária, existente nos dejetos suínos representada pela relação STV/ST e a quantidade de matéria inorgânica, pela relação STF/ST antes do tratamento e depois do tratamento, respectivamente. As médias de ST, STV e STF presentes nos dejetos, na entrada e na saída do biodigestor, bem como a eficiência de remoção do período estão demonstrados na tabela 8.

Tabela 7 – Quantificação da matéria orgânica contida nos dejetos suínos antes do tratamento de biodigestão anaeróbia instalado em uma granja de suínos em Iomerê /SC.

| <i>Parâmetros</i> | <i>71 dias</i> | <i>87dias</i> | <i>100 dias</i> | <i>Média</i> |
|-------------------|----------------|---------------|-----------------|--------------|
| ST (mg/L) | 16.565,83 | 28.080,83 | 43.735,56 | 29.460,74 |
| STF (mg/L) | 5.748,33 | 9.029,17 | 12.990,00 | 9.255,30 |
| STV (mg/L) | 10.817,50 | 19.051,67 | 30.745,56 | 20.204,91 |
| Relação STV/ST | 0,65 | 0,68 | 0,70 | 0,68 |

Tabela 8 - Quantificação da matéria orgânica contida nos dejetos suínos depois do tratamento de biodigestão anaeróbia instalado em uma granja de suínos em Iomerê /SC

| <i>Parâmetros</i> | <i>71dias</i> | <i>87dias</i> | <i>100 dias</i> | <i>Média</i> |
|-------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
| ST (mg/L) | 9.063,33 | 9.435,56 | 13.835,56 | 8.057,71 |
| STF (mg/L) | 1.887,50 | 2.520,00 | 6.723,33 | 3.659,81 |
| STV (mg/L) | 7.175,83 | 6.915,56 | 7.112,22 | 7.083,80 |
| Relação STV/ST | 0,79 | 0,73 | 0,51 | 0,68 |

Os dados acima descritos assemelham-se aos obtidos por SANTOS (2004) na qual correlacionou a concentração de STV entre 79 – 80% dos ST (média STV igual a 48.500mg/L), bem como, STF entre 20 – 21% dos ST (média STF 12.796mg/L) como forma de caracterizar o afluente como sendo substrato de alta biodegradabilidade.

Tabela 9 – Eficiência de Remoção Média de Matéria Orgânica.

| <i>Parâmetros</i> | <i>Entrada Biodigestor</i> | <i>Saída Biodigestor</i> | <i>Eficiência (%)</i> |
|---|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| ST (mg/L)-média | 29.460,74 | 8.057,71 | |
| STF (mg/L)-média | 9.255,30 | 3.659,81 | |
| STV (mg/L)-média | 20.204,91 | 7.083,80 | 68,37 |
| Relação SV/ST- após 100 dias (%) | 70,30 | 51,41 | - |

Comparando os dados de caracterização média dos dejetos suínos, quantificados e apresentadas na Tabela 9, àqueles apresentados na Tabela 1 (Caracterização média dos dejetos suínos no sul do Brasil), percebe-se que os resultados obtidos estão de acordo com a literatura, no que se diz respeito aos valores de ST, STV, ST, bem como a relação (STV/ST e STF/ST). Como se verifica, também, os valores encontrados por SILVA (2006) *apud* ALVES (2007) demonstrados na tabela 2 foram muito semelhantes os quantificados neste estudo.

Como se pode observar na Tabela 6, 7 e 8, a concentração de STV no afluente foi 70,30% do ST e a concentração de STV após a biodigestão foi 51,41%. Este decaimento é explicado por ALVES (2007) e CHERNICHARO (1997) *apud* SANTOS (2004) que afirmam que a concentração de STV no afluente deve ser em torno de 70% dos ST e após a biodigestão anaeróbia, há a tendência desta proporção em cair a 50% sendo esta explicada pela existência de material não – biodegradado pelo sistema (sólidos fixos) que totaliza entre 10 – 30 % dos sólidos totais, condições estas que implicam numa boa eficiência do processo quanto à remoção de matéria orgânica. No caso estudado a eficiência média de remoção de matéria orgânica foi de 68,37%.

A tabela 10 mostra a eficiência média de remoção dos sólidos totais voláteis.

Tabela 10 - Eficiência de remoção média diária dos STV.

| Tempo dos suínos na granja (dias) | Remoção de STV (mg/L) | Eficiência de remoção STV (%) |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 71 | 3.710,83 | 34,30% |
| 87 | 12.019,17 | 63,09% |
| 100* | 23.633,33 | 76,87% |

* final do ciclo

Por meio da Tabela 10 pode-se observar que a eficiência de remoção de matéria orgânica variou durante o período analisado podendo estar relacionado efeito de heterogeneidade do reator e/ou problemas hidráulicos, pois no período que as amostras foram coletadas havia produção de biogás.

Nos gráficos 2 e 3 estão representadas as quantidades de sólidos contidas nas amostras de dejetos antes e depois do tratamento utilizando biodigestor, respectivamente.

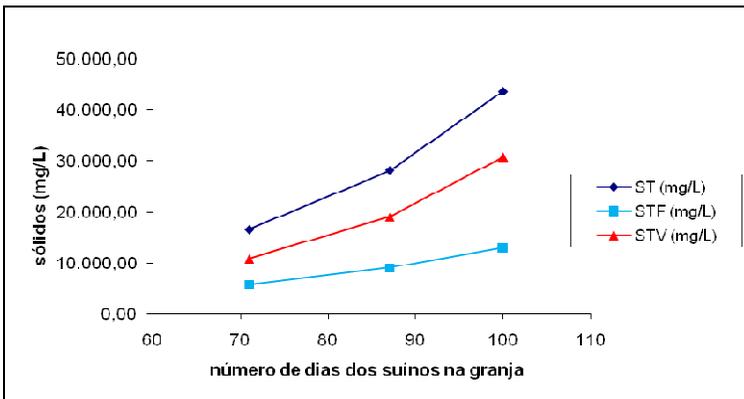


Gráfico 2 – Concentração média de sólidos nos dejetos que entraram no biodigestor

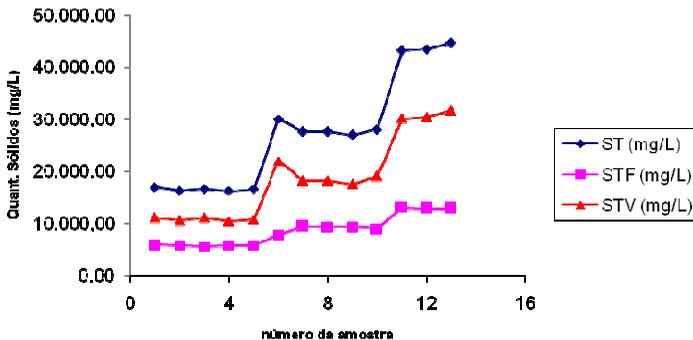


Gráfico 3 - Quantidade de sólidos nos dejetos antes do tratamento para todas as amostras analisadas

Constatou-se que os sólidos presentes nos dejetos suínos que alimentaram o sistema de tratamento, sofreram grandes oscilações devido às influências da diluição, função das peculiaridades do dia-a-dia

da granja.

Segundo Soares et al. (2007), a variação da massa de sólidos totais é função do Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e da temperatura do reator; influenciada, também, pelo processo de hidrólise e liquefação do substrato durante a digestão anaeróbia.

Os gráficos 4 e 5 mostram a quantidade média de sólidos (em mg/L) e a quantidade de sólidos em cada amostra analisada (em mg/L), respectivamente, durante o período de estudo.

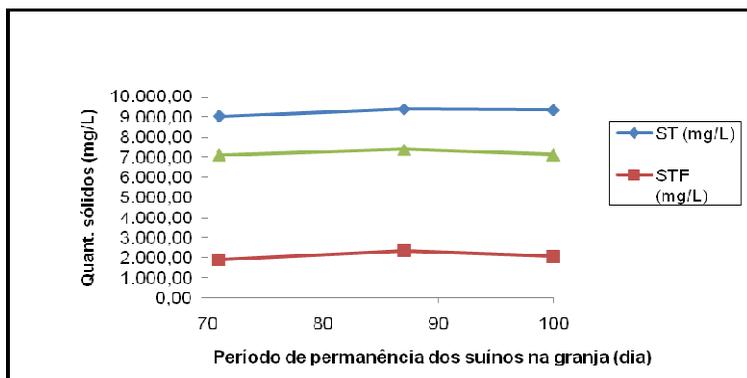


Gráfico 4 - Quantidade média de sólidos existente nas amostras dos dejetos depois do tratamento

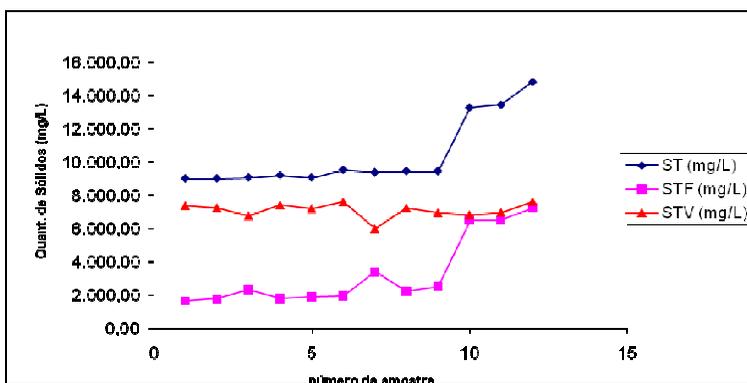


Gráfico 5 - Quantidade sólidos existente nas amostras dos dejetos depois do tratamento

Durante o período em que foram coletadas amostras embora a variação de ST afluente tenha sido muito grande em função das próprias características do dejetos suíno, as concentrações de sólidos

voláteis mantiveram-se, relativamente, constante na saída do biodigestor, porém, com melhora, gradativa e ao longo do tempo, do desempenho do biodigestor.

Isto ocorre em virtude, possivelmente, em decorrência do processo de progressão de carga da qual se obtém o aumento da produção de gás e, que conseqüentemente, pode causar um aumento do grau de agitação, promovendo um aumento da homogeneização do meio. Com o conseqüente aumento de vazão no reator (biodigestor) pode ter ocorrido perda de sólidos existentes no interior do reator (biodigestor) e os sólidos que possivelmente estariam saindo do biodigestor sendo aqueles de menor densidade que ficaram em suspensão devido à agitação do meio. De forma semelhante, ao que citam Soares et. al. (2007) ao analisarem um reator UASB.

8.2 Composição do biogás e poder calorífico

Por meio da quantificação da composição do biogás foi possível mensurar o poder calorífico e o número de Wobbe.

Os resultados obtidos depois de realizada média das leituras das vazões de biogás estão mostrados na tabela 11. O tempo de funcionamento do queimador é médio, de 4h/dia.

Tabela 11 - Quantificação da vazão de biogás produzido

| Dias na granja | Fuga (m ³ /h) | Vazão biogás -queimado (m ³ /h) | Vazão biogás- produzido (m ³ /h) | Tempo de queima (h/dia) | Vazão de biogás- produzido (m ³ /dia) |
|----------------|--------------------------|--|---|-------------------------|--|
| 71 | 6,96 | 46,4 | 53,36 | 4 | 213,44 |
| 87 | 5,16 | 34,4 | 39,56 | 4 | 158,24 |
| 100 | 6,45 | 43 | 49,45 | 4 | 197,8 |
| | Média | 41,27 | 47,46 | 4 | 189,83 |

Dados resultantes da análise da composição média de amostras de biogás e a relação CH₄/CO₂ no período estudado estão demonstrados na tabela 12. Os valores referentes às médias relacionadas a amostras coletadas analisadas em dias diferentes durante o período em estudo.

Tabela 12 – Análise de composição do biogás

| Amostra Composto | (18/03/2009) | (06/04/2009) | (24/04/2009) | (05/05/2009) |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Metano ^a [%] | 62,64±2,61 | 62,35±2,61 | 66,07±2,61 | 59,70±2,61 |
| CO ₂ ^a [%] | 36,98±5,21 | 28,90±5,21 | 24,57±5,21 | 28,47±5,21 |
| CO ₂ ^b [%] | - | - | 22,0 | 27,50 |
| H ₂ S ^b [ppmv] * | >1020 | 510 | >1020 | >1020 |
| Amônia ^b [ppmv] | 15 | 175 | 0 | 15 |
| CH ₄ /CO ₂ | 1,69 | 2,16 | 2,69 | 2,09 |
| Ar (%) | - | 8,75 | 9,30 | 11,8 |

*Limite de detecção: 20 -1020 ppmv;

^b Método Colorimétrico (Kit de análises Alfakit); ^a Método cromatográfico;

Constatou-se, então, que o biogás apresentou, em média, 62,64 % CH₄ e 36,98% de CO₂, baseado na medição que teve a relação CH₄/CO₂ mais próxima da típica para o biogás e levando em consideração que houve entrada de ar quando realizada a coleta das amostras. Permitindo, assim, admitir que a relação média CH₄/CO₂ obtida foi de 1,69, sendo que a composição típica para o biogás proveniente de dejetos suínos em média de 60% CH₄ e 40% CO₂ o que resultaria numa relação típica CH₄/CO₂ de 1,70.

Pode-se observar nas amostras analisadas um desvio padrão, para a concentração de CH₄ de 2,61 e para o CO₂ de 5,21, sendo o mesmo aceitável, pois possivelmente está associado, também, à concentração de ar detectada quando estas amostras foram analisadas no cromatógrafo, relacionado possivelmente pela forma e/ou local de coleta (válvula de segurança do biodigestor). Isto, pois, pôde se constatado por meio dos valores de CO₂ medidos que foram inferiores ao esperado tornando assim a relação CH₄/CO₂ acima do esperado.

Na tabela 13 estão demonstrados PCI, PCS, densidade relativa do biogás relativa ao ar e número de Wobbe superior (WS) para cada amostra de biogás analisada e suas respectivas médias.

Como complementação para este estudo de caso foi calculada energia para ser utilizada, por exemplo, aquecer água de 15 – 37°C caso o biogás produzido pela granja estudada, com 63% CH₄ e 37% CO₂, em média, fosse utilizado. Os resultados estão demonstrados no Quadro 2 abaixo.

Tabela 13 – Parâmetros Calculados

| Amostra Composto | (18/03/2009) | (06/04/2009) | (24/04/2009) | (05/05/2009) |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PCi [kJ.Nm ⁻³] | 22.549,86 | 21.163,79 | 23.786,35 | 21.487,43 |
| PCs [kJ.Nm ⁻³] | 25.050,64 | 23.510,85 | 26.424,25 | 23.870,39 |
| Densidade relativa ao ar | 0,91 | 0,73 | 0,74 | 0,76 |
| Número de Wobbe superior [kJ.Nm ⁻³] | 26.309,26 | 27.465,62 | 30.781,87 | 27.362,00 |

| | |
|--|-----------|
| Excesso de Ar (%) | 15 |
| Umidade Relativa (%) | 40 |
| Temperatura de saída (°C) | 37 |
| Temperatura do Ar (°C) | 15 |
| mol Vapor H ₂ O por Ar Seco | 0,01 |
| Capacidade calorífica (kJ/°C) | 25.369,88 |
| Calor de Entrada (kJ/kmol) | 50,62 |
| Calor de Saída (kJ/kmol) (calor latente + calor sensível da água) | 6,14 |
| Eficiência (%) | 87,87 |

Quadro 2 - Resultados do cálculo da energia térmica utilizada tendo como base de cálculo 100kmol de biogás, caso.

Observando os resultados percebe-se que o biogás pode ser utilizado para, por exemplo, aquecer água com uma eficiência quase 90%. Confirmando as expectativas de se poder utilizar o biogás como fonte de renovável de energia.

Na tabela 15 estão mostrados de forma sucinta os resultados de análise do gás padrão utilizando o método do ORSAT (analisador de CO₂, kit biogás) e cromatografia, com objetivo de validar a utilização do analisador de CO₂. O gás analisado foi o CO₂.

Nota- se que o analisador de CO₂ apresentou um erro de 20% que é justificado pelo fornecedor do equipamento que o mesmo estava dentro do previsto (20%) para escala 0 – 60% CO₂ o mesmo utilizado para os testes. Conclui-se então que, este equipamento pode ser utilizado em campo somente para fins qualitativos (ou semi-quantitativos).

Tabela 14 – Análise de gás padrão

| Método | Varição CO₂(%) | CO₂ (%) padrão |
|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Analizador de CO ₂ | 48 - 50 | 40 |
| Kit biogás | 45 -55 | 40 |
| Cromatografia Gasosa | 35 - 38 | 40 |

Com relação à cromatografia percebemos que é a mais confiável, pois o erro que ela apresentou foi percebido em virtude da existência de ar detectado pelo equipamento na amostra.

Com dados sobre a produção de biogás e da quantificação dos sólidos presentes nos dejetos suínos, da granja em estudo (tabelas 20 e 21, que constam dos anexos) foi possível calcular a produção específica de biogás para as condições analisadas.

Ao se fazer análise da produção de biogás e relacioná-la à produção de dejetos, para o ciclo em questão, obteve-se, para a vazão de dejetos bruto produzido, de 8,0 m³/dia, 1600 animais e uma produção média de biogás de 176,87m³biogás/dia, a produção de dejetos em função do número de animais igual a 5,0 L/animal.dia, na qual os dados experimentais obtidos concordam com os dados fornecidos pela granja.

Ao final do ciclo, sabendo-se que a descarga de dejetos para o biodigestor acontece a cada 2 dias, obteve-se:

- 7,4 m³ biogás /m³ dejetos.dia
- 0,25m³ biogás / kgST.dia
- 0,36m³biogás/Kg STV.dia.

Resultando em produção específica de biogás para suínos em exploração de engorda, de 0,48m³ biogás/kgSTV concordando com que COLDEBELLA(2006) apresentou e descrito no Quadro 2. Bem como aos dados apresentados por ALVES (2007), que obteve 7,3 m³ biogás /m³ dejetos *dia, 0,17m³ biogás / kgST.dia, 0,25m³biogás / kgSTV.dia e 8,6L de dejetos/animal.dia e afirmou que valores de produção de dejetos acima deste indicariam a existência de desperdício de água.

8.3 Emissões provenientes da queima do biogás

Os valores apresentados na Tabela 16 mostram as emissões em duas condições de entrada de combustível analisadas: 46,40 m³/h e 34,41 m³/h. Quando a vazão era de 46,40 m³/h, a análise foi limitada a 2

amostragens devido à temperatura alta na sonda e por motivo de a chama alcançar a sonda não permitindo valores reais de emissão, visto que a queima ainda não estava finalizada. Já quando a vazão de combustível era de 34,41 m³/h, a chama estava abaixo da sonda permitindo, assim, medidas reais e precisas das emissões. Neste caso, a coleta e análise dos gases se deram quando a queima já estava estável. Foram coletadas 3 amostras em intervalo entre elas de aproximadamente 5 minutos.

Tabela 15 – Análise das Emissões Gasosas - Valores de concentração corrigidos para fins de comparação com a legislação

| Amostra | CO [mg/Nm ³] | CO ₂ [%] | C _x H _y [mg/Nm ³] | NO _x [mg/Nm ³] | SO ₂ [mg/Nm ³] |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|--|--|--|
| Q = 46,40 m ³ /h | 139,88 | 10,3 | 58,04 | 1,15 | 41,66 |
| | 256,83 | 9,2 | 206,85 | 1,04 | 45,43 |
| Média | 198,35 ± 58,48 | 9,75 ± 0,55 | 132,44 ± 74,40 | 1,09 ± 0,05 | 43,55 ± 1,88 |
| Q = 34,41 m ³ /h | 33,45 | 7,2 | 0,00 | 2,01 | 55,03 |
| | 21,19 | 7,0 | 0,00 | 2,09 | 54,78 |
| | 46,60 | 7,2 | 0,00 | 1,98 | 53,14 |
| Média | 33,74 ± 8,57 | 7,13 ± 0,09 | 0,00 | 2,03 ± 0,04 | 54,31 ± 0,78 |
| Q = 46,40 m ³ /h | 59,94 | 4,41 | 24,87 | 0,49 | 17,85 |
| | 256,83 | 3,94 | 88,65 | 0,44 | 19,47 |
| Média | 85,09±25,06 | 4,17±0,23 | 56,76±31,88 | 1,09±0,05 | 18,66±0,80 |
| Q = 34,41 m ³ /h | 14,34 | 3,08 | 0,00 | 0,86 | 23,58 |
| | 9,08 | 3 | 0,00 | 0,89 | 23,47 |
| | 19,97 | 3,08 | 0,00 | 0,85 | 22,77 |
| Média | 14,46± 3,67 | 3,06±0,04 | 0,00 | 0,87±0,02 | 23,27±0,34 |
| CONAMA 382* | NA | NA | NA | 248,5 | NA |
| SEMA ** | 100 | NA | NA | NA | NA |

* CONAMA: Resolução CONAMA 382/2006 (concentrações expressas em [mg/Nm³]).

Valores de concentração foram corrigidos para 7%O₂ para fins de comparação com a legislação

** SEMA: Resolução n° 54/06 (concentrações expressas em [mg/Nm³]). Valores de concentração foram corrigidos para 3%O₂ para fins de comparação com a legislação

NA = não aplicável

Em virtude de se fazer comparação dos valores obtidos na análise

das emissões gasosas, os mesmos foram convertidos para unidades de mg/Nm^3 e corrigidos para um valor referência de 7% de oxigênio, com objetivo de verificar a eficiência da queima e se estavam dentro dos limites da legislação vigente. As legislações utilizadas foram:

- A resolução 382/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para processos de combustão externa de gás natural em fontes fixas. Para o caso estudado, os padrões utilizados são os referentes a fontes com potência térmica inferior a 70 MW.
- Resolução no 54/06 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do governo do estado do Paraná definir padrões de emissão atmosférica para processos de geração de calor ou energia os padrões utilizados são os referentes a fontes com potência térmica entre 10 - 50MW e condição referencial de oxigênio de 3%.

Observa-se, na Tabela 16 que quando a vazão de entrada de combustível era maior, a emissão de CO se deu acima dos limites exigidos e ocorreu emissão de C_xH_y o que indica que o metano não foi completamente consumido. Quando a vazão de entrada de combustível foi diminuída observou-se que todas as emissões estão dentro dos limites exigidos por legislação e não ocorre emissão de C_xH_y , o que mostra que nenhum metano não queimado é emitido.

8.4 Estimativas de créditos de carbono

A Tabela 17 mostra os valores dos parâmetros utilizados para os cálculos de estimativas de reduções emissões de CH_4 , e a tabela 16 apresenta o comparativo entre as reduções de emissões estimadas para o projeto.

O MCF (fator de conversão de metano), para a linha de base e o projeto, e β_o (capacidade máxima de produção de metano) calculados foram, respectivamente, 73%, 12% e 48%, estando de acordo com os dados apresentados como padrões pela tabela 10.7 – Capítulo 4, do IPCC (2006) para países da América Latina e peso médio inicial igual a 28 kg onde se tem MCF linha de base igual a 76%, MCF biodigestão anaeróbica, 10% para temperatura ambiente de 17°C , $\text{SV}_{\text{local}} = (0,3 \pm 25\%) \text{ kg SV} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $\beta_o = 0,27 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{kg SV}$ (dado este justificado pela concentração dos sólidos voláteis na entrada do biodigestor.

Tabela 16 - Parâmetros para estimar as reduções de emissões de metano (CH_4).

| Parâmetros | Linha de Base | Projeto |
|--|---------------|---------|
| GWP CH_4 | 21 | 21 |
| % CH_4 no biogás | 62 | 62 |
| MCF | 0,73 | 0,12 |
| STV (local) (m^3 dejeito/animal*dia) | 0,27 | 0,27 |
| $\beta_0 \mu (\text{HX}_4) \zeta \text{T} \Sigma \gamma \kappa /$ N (animais) | 0,48 | 0,48 |
| 4800 | 4800 | 4800 |
| $\rho_{4\text{HX}} \text{HX} \gamma \kappa (4 \mu / ^3 \text{O}_2 = \text{T} ($) $\mu \tau \alpha 1 = \Pi , X$ | 0,67 | 0,67 |
| $V_{\text{biogás}}$ (m^3/dia) | 189,83 | 189,83 |
| η_{ϕ} % (| - | 99 |

Tabela 17 – Redução de emissões – Créditos de Carbono

| $t\text{CO}_{2eq}$ | Projeto |
|--|-------------------|
| Emissões Linha de Base | 1.919,26 |
| Emissões Atividade do Projeto | 323,87 |
| Total de Redução de Emissões % | 83,13% |
| Créditos de Carbono | 1.595,39 |
| Valor dos Créditos (€ / $t\text{CO}_{2eq}$ reduzida) (Março/2009) * | 10,00 |
| Total (€/ ano) | 1.595,39 |
| Total (€) ** | 159.539,46 |

*fonte: http://BR.advbfm.com/noticias/MERCADO-INTERNACIONAL-CREDITO-DE-CARBONO-Crise_37127558.html(2009)

** Total de Créditos de Carbono, em euros (€), que podem ser adquiridos com a venda após período de 10 anos.

Como se observa as emissões provenientes da lagoa anaeróbia aberta (linha de base) é muito grande ($1.919,26t\text{CO}_{2eq}$), haja vista que aquelas provenientes do sistema composto biodigestor seguido por um queimador são bem menores ($323,87t\text{CO}_{2eq}$), mostrando que a substituição de uma lagoa anaeróbia pelo sistema pode reduzir as emissões de CH_4 , que neste caso em especial atingiu uma redução de 83,13%.

Durante estes estudos, um projeto MDL para a mesma granja

estava sendo estudado e apresentou como resultados os seguintes valores para as emissões: linha de base, 949,71 tCO_{2eq} , atividade do projeto, 248,48 tCO_{2eq} , sendo 717,85 tCO_{2eq} o total de redução de emissões. Se compararmos os resultados do projeto de MDL da granja e ao que foi apresentado percebe-se que a diferenças entre valores e podem estar relacionadas aos parâmetros que, neste estudo, foram quantificados e no projeto de MDL foram utilizados valores – padrões; ou ainda, à metodologia para os cálculos do projeto que não foi informada, podendo ser diferente visto que existem outras formas de determinar os créditos de carbono, e ainda, às correções de parâmetros calculáveis.

9 CONCLUSÃO

O estudo da eficiência do processo de geração do biogás, a partir de dejetos suínos, avaliando sua composição química da conversão de sólidos, antes e depois do processo de biodigestão constatou-se que durante o período analisado, os dejetos suínos bruto apresentaram em média 68% de matéria orgânica e a concentração de STV após a biodigestão foi 51,41%. Este decaimento concorda com a literatura que afirma que a concentração de STV no afluente deve ser em torno de 70% dos ST e após a biodigestão anaeróbia, tendo uma tendência desta proporção em cair a 50% pois pode existir material não – biodegradado pelo sistema (sólidos fixos) que totaliza entre 10 – 30 % dos sólidos totais, condições estas que implicaram uma eficiência do processo quanto à remoção de matéria orgânica de 68,37%.

A produção de biogás no biodigestor, tendo como base uma alimentação média de 8,0m³dejetos/dia, com descarga a cada 2 dias, resultou em uma produção específica de 0,48 m³biogás/kgSTV e a produção de dejetos foi de 5,0L de dejetos/animal.dia, que indica um bom manejo sem desperdício de água.

Os poderes caloríficos inferior e superior do biogás obtidos foram, respectivamente 24.808,96 kJ.Nm⁻³ e 22.332,31 kJ.Nm⁻³ e o número de Wobbe superior médio calculado foi 28.609,93 kJ.Nm⁻³ confirmando o grande potencial energético do biogás. E, que quando utilizado para produção de energia térmica para, por exemplo, aquecimento de água, podendo apresentar uma eficiência superior a 80%.

No que se dizem respeito ao estudo das emissões de CH₄ provenientes da queima do biogás produzido por digestão anaeróbia de dejetos suínos, quando atingida a estabilidade de queima, para uma vazão de 34,41 m³/h, as concentrações de CO, CO₂, SO₂, NO_x emitidas estavam todas de acordo com os limites exigidos por legislação e não ocorreu emissão de C_xH_y, o que mostra que nenhum metano não queimado é emitido. Confirmando que esta a condição mais adequada para uma queima mais completa e estável para a granja estudada.

Avaliando o potencial em créditos de carbono por meio da queima do biogás em um “flare” quantificou-se as emissões de CH₄ que ocorreriam caso o processo para o tratamento dos dejetos suínos fosse uma lagoa anaeróbia (1.919,26 tCO₂eq/ano) e as emissões de CH₄ quando utilizado biodigestor associado a queima do biogás no flare (323,87tCO₂eq/ano), contabilizando 1.595,39 tCO₂eq/ano, ou seja, 1.595,39 créditos de carbono que poderiam ser adquiridos,

representando um total redução de emissões CH_4 de 83,13%. Isto mostra que, em questões ambientais, deve - se preferir utilizar biodigestores anaeróbios a lagoas anaeróbias quando se trata de resíduos com alta carga orgânica, pois, além de reduzir emissões possibilitam a utilização do biogás produzido devido ao seu alto poder calorífico e a do lodo estabilizado como adubo. Economicamente, os créditos que podem ser adquiridos servem de incentivo para os produtores de suínos, pois como pôde ser constatado o biogás possui uma capacidade calorífica alta favorecendo a sua utilização como fonte de energia.

Vale à pena ressaltar que devido a dificuldades de acompanhamento do processo, em virtude de condições inerentes ao próprio sistema, os dados obtidos demonstram o quão difícil é controlá-lo, pois o processo sofre inúmeras interferências possibilitando a ocorrência de erros bem como àquelas relacionadas ao acesso de dados específicos da granja.

A biodigestão anaeróbia de dejetos suínos, mesmo que associado a um queimador é menos poluente, no que se diz respeito às emissões gasosas, em relação à lagoa anaeróbia, pois além de permitir a captação de biogás (com aproximadamente 60% de metano) há possibilidade real de utilização para produção de energia, em virtude de seu alto poder calorífico, possibilitando a obtenção de créditos de carbono.

Este trabalho permitiu identificar que com a boa eficiência do tratamento dos dejetos desde o tratamento do resíduo até a queima do biogás, é possível ajudar a melhorar as qualidades ambientais, evitando, principalmente, o lançamento de Gases de Efeito Estufa (GEE), e transformar as reduções de emissões em certificados, os créditos de carbono.

10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas são as sugestões para trabalhos futuros:

Estudar alternativas para remoção de H_2S do biogás haja vista os problemas decorrentes devidos á sua presença.

Estudar utilização do biogás associada à sua purificação.

REFERÊNCIAS

ACM 0010/ versão 2. “Metodologia consolidada de linha de base para reduções de emissões de gases de efeito estufa provenientes de sistemas de manejo de esterco”. UNFCCC/CQNUMC. Revisão da metodologia consolidada e aprovada de linha de base. 2006.

ALVES, R.G.C.M. Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios – operação e avaliação de diversos reatores em escala real. TESE. Florianópolis – Santa Catarina. 2007.

AM0006 “GHG emissions reductions from manure management systems”. UNPCCC/CNUCC Approved baseline methodology. 01/2004.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A.T.; ZACARKIM C. E.; MATSUO M. S; CUNHA F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2006.

BANCO REAL. Disponível em <
<http://florestareal.clientes.ananke.com.br/html/creditodecarbono.html>>2009.

BARANCELLI, G. T.. Estudo da implantação de um biodigestor para produção de biogás e biofertilizante a partir de rejeitos da suinocultura. TCC. UFRS. Novembro de 2007.

BARBIERI, J.C. Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21. Petrópolis: Vozes, p 23-45.1997.

BORESMA, L, et al. Methods for recovery of nutrients and energy from swine manure.1.Biogás, Neth.J.Agric.Sci.Wagenigen, v29, p3-14. 1981.

CAMMAROTA,M.C. Tratamento de efluentes líquidos. Escola de química. UFRJ

CAMPOS, C.M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)

alimentado com dejetos de suínos. 2005.

CENAMO, M. C. Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono. CEPEA. 2004.

CHERNICHARO C. A. L. Reatores Anaeróbios – princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, volume 5, 2000.

COLDEBELLA A.; SOUZA, S.N.M.; SOUZA, J.; KOHELER, A.C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. 2006

CONAMA. Resolução 382. 2006.

CORBITT, R. A. Standard Handbook of Environmental Engineering. USA: McGraw-Hill, 1990.

COSTA, D.F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. São Paulo, 2006.

ENERGIA DE BIOMASSA. Disponível em :
<<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-energia-da-biomassa/>.2009.

ENSMINGER M. E., OLDFIELD, J.E., W.W. HEINEMANN. Feeds & Nutrition_ 2^a ed. Clovis, Californis, The Ensminger Publishing Company, 1544p. 1990.

FLORENTINO, F.S., SOBRINHO, P.M, SILVEIRA, J.L. Aproveitamento energético de resíduos sólidos aplicado à avicultura de corte. 2003.

Gaseificação Industrial. Disponível em:
http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/biomassa/gaseificacao_industrial.html

GRAUER, A.G., KAWANO, M. Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem. Ano I N^o5 - NOV/DEZ-2001. Disponível em:<<http://www.ambientebrasil.com.br>

HEIKKINEN.J.M, HORDIJK, J. C, DE JONG, W., SPLIETHOFF.
Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be use for
energy generation. 2003.

HORIKAWA, M.S. Purificação de Biogás – Remoção de H₂S.
Dissertação. Universidade Estadual de Maringá, 2001.

JOSÉ, H.J. Combustão e combustíveis - Apostila - Química Tecnológica
Geral, 2004.

IBAMA. Workshop - Madeira Energética: Principais questões
desenvolvidas na organização e no aperfeiçoamento do uso energético
da lenha- 29/05/2007. Disponível em:
<<http://www.funtec.org.br/arquivos/compactacaoresiduosbndsrio2007.pdf>>

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006.

LEITE, V.D.&POVINELLI,J. Comportamento dos sólidos totais no
processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais
. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p 229
– 232, Campina Grande .PB. DEAg/UFPB.1999.

LIMA, P. C. R.. Biogás da suinocultura: Uma importante fonte de
geração de energia. Out.2007.

LUCAS JÚNIOR, Prof.Dr. J. Manejo de dejetos em suinoculturas:
biodigestores. FCA/UNESP - Jaboticabal, Depto de Engenharia Rural,
1997.

LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob
efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato –
considerações sobre a partida. 2005.

LORA, E.S.; ANDRADE, R.V. Biomass as energy source in Brazil.
2006.

MAGALHÃES E.A., DE SOUZA S. N.M., AFONSO, A. D. L, SILVA,
J. N., Desenvolvimento e avaliação de um sistema de purificação de
biogás: Influência da pressão e razão líquido/gás na absorção de CO₂.
2005 .

MERCADO INTERNACIONAL - CRÉDITO DE CARBONO: Crise reduz pela metade preços. Disponível em http://br.advfn.com/noticias/MERCADO-INTERNACIONAL-CREDITO-DE-CARBONO-Crise_37217558.html. 2009

MESA, J.M.; ROCHA, J.D, OLIVARES E., BARBOZA, L.A., BROSSARD, L.E, JUNIOR, L.E.B. Pirólise rápida em leite fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. Revista Analytica, maio 2003.

NASCIMENTO, R. A. Desempenho de reator anaeróbio de manta de lodo utilizando efluentes líquidos de indústria alimentícia. Dissertação. Campinas – São Paulo. 1996.

NBR 10.664 - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico - Método de ensaio. Abril 1989.

OLIVEIRA, P. A. V (coord.) **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMPRAPA, 188p (EMBRAPA, CNPSA. Documentos, 27). 1993.

OLIVER, A.P. M, NETO, A.A. S, QUADROS, D.G., VALLADARES, R.E. **Manual de treinamento em biodigestão**. USAID, WINROK INTERNATION BRASIL e ENERGIA E DESENVOLVIMENTO. Brasil. Versão 2.0. Fevereiro, 2008.

PECORA, V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso. TESE. São Paulo, 2006.

PECORA, V.; COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; DE ABREU, F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. Trabalho publicado e apresentado no: XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE), Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

PINTO, R. O. Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado. TESE. UFSC. Florianópolis. SC. 2006.

RIBEIRO, A.P.R. Influência da qualidade do carvão e das condições operacionais no processo de combustão de uma usina termelétrica. Dissertação. UFSC. Florianópolis. SC.2002.

RIBEIRO, A. P., Mercuria vence leilão de crédito de carbono na BM&F. 2008. Disponível em:
<<http://portalexame.abril.com.br/ae/financas/m0168298.html>>

SALOMON, K.R. Avaliação Técnico - Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade. TESE. Itajubá. 2007.

SANTOS, J.H.T. Eficiência de um sistema de tratamento biológico em série contendo reator UASB, lagoa aerada e lagoa de polimento: estudo de caso – indústria de refrigerante. 2004.

SANTOS J. H. T. Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos. Tese. VIÇOSA MINAS GERAIS – BRASIL. 2004.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; DA SILVA F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. 2007.

SEMA. Resolução nº 54. 2006.

SILVA, M.J. M.; RUGGERO, P. A. GASEIFICAÇÃO. 2007.
Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.html>>

SILVA F. M., LUCAS JUNIOR, J.; BENINCASA, M. OLIVEIRA, E. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.3, p.608-614, set./dez. 2005.

SHOW K.Y., LEE D.J. Carbon credit and emission trading: Anaerobic wastewater treatment. 2008.

SOARES, H.M; SCMIDELL, W; ETCHEBEHERE, C; MENES, R.J. BERTOLA, N.C; CONTRERAS, E.M.; Tratamento biológico de águas residuárias. Florianópolis. 2007.

SOUZA, G.T.; CELLA, R.F.; SÁ, S.H. Tratamento Anaeróbio de Efluentes. Florianópolis, 2007.

VIRMOND, E. Aproveitamento do lodo de tratamento primário de efluentes de um frigorífico como fonte de energia. Dissertação. UFSC. Florianópolis. SC. 2007.

www.cnpsa.embrapa.br/invtec/FOTOS/24.jpg. Acessado em outubro de 2008.

<http://www.ags.com.br/Home/tabid/36/ctl/Details/mid/372/ItemID/1499/Default.aspx>. Acessado em agosto de 2009.

[http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/7AA4DA2DCCDD2BBC83257376004220FB/\\$File/ete%201.jpg?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/7AA4DA2DCCDD2BBC83257376004220FB/$File/ete%201.jpg?OpenElement).

ANEXOS

Tabela 18 – Dados obtidos através da metodologia de quantificação de sólidos voláteis, que entraram no biodigestor na granja de suínos situada em Iomerê/SC

| Data | Amostra | m₁(g) | m₂(g) | Volume (mL) | ST (mg/L) | m₃(g) | Volume (mL) | STF (mg/L) | STV (mg/L) |
|-------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 6/4/2009 | E | 36,8199 | 37,3295 | 30 | 16.986,67 | 36,9968 | 30 | 5.896,67 | 11.090,00 |
| 6/4/2009 | E | 28,0266 | 28,5169 | 30 | 16.343,33 | 28,1994 | 30 | 5.760,00 | 10.583,33 |
| 6/4/2009 | E | 34,3318 | 34,8323 | 30 | 16.683,33 | 34,4993 | 30 | 5.583,33 | 11.100,00 |
| 6/4/2009 | E | 24,8389 | 25,3264 | 30 | 16.250,00 | 25,0115 | 30 | 5.753,33 | 10.496,67 |
| 25/4/2009 | E | 29,4526 | 30,3544 | 30 | 30.060,00 | 29,6904 | 30 | 7.926,67 | 22.133,33 |
| 25/4/2009 | E | 30,9084 | 31,7384 | 30 | 27.666,67 | 31,1918 | 30 | 9.446,67 | 18.220,00 |
| 25/4/2009 | E | 36,7917 | 37,62 | 30 | 27.610,00 | 37,0724 | 30 | 9.356,67 | 18.253,33 |
| 25/4/2009 | E | 34,3001 | 35,1097 | 30 | 26.986,67 | 34,5817 | 30 | 9.386,67 | 17.600,00 |
| 6/5/2009 | E | 26,7849 | 28,0796 | 30 | 43.156,67 | 27,1773 | 30 | 13.080,00 | 30.076,67 |
| 6/5/2009 | E | 27,9849 | 29,2875 | 30 | 43.420,00 | 28,373 | 30 | 12.936,67 | 30.483,33 |
| 6/5/2009 | E | 26,6366 | 27,9755 | 30 | 44.630,00 | 27,0252 | 30 | 12.953,33 | 31.676,67 |

Tabela 19 – Dados obtidos através da metodologia de quantificação de sólidos voláteis, que saíram biodigestor na granja de suínos situada em Iomerê/SC

| Data | Amostra | m1(g) | m2(g) | Volume (mL) | ST (mg/L) | m3(g) | Volume(mL) | STF (mg/L) | STV (mg/L) |
|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6/4/2009 | S | 27,1594 | 27,4293 | 30 | 8.996,67 | 27,2088 | 30 | 1.646,67 | 7.350,00 |
| 6/4/2009 | S | 27,4171 | 27,6872 | 30 | 9.003,33 | 27,4706 | 30 | 1.783,33 | 7.220,00 |
| 6/4/2009 | S | 30,9342 | 31,2061 | 30 | 9.063,33 | 31,0036 | 30 | 2.313,33 | 6.750,00 |
| 25/4/2009 | S | 27,9874 | 28,2631 | 30 | 9.190,00 | 28,0416 | 30 | 1.806,67 | 7.383,33 |
| 25/4/2009 | S | 27,3919 | 27,6775 | 30 | 9.520,00 | 27,4502 | 30 | 1.943,33 | 7.576,67 |
| 25/4/2009 | S | 39,965 | 40,2456 | 30 | 9.353,33 | 40,0668 | 30 | 3.393,33 | 5.960,00 |
| 25/4/2009 | S | 35,4881 | 35,7711 | 30 | 9.433,33 | 35,5548 | 30 | 2.223,33 | 7.210,00 |
| 6/5/2009 | S | 24,7928 | 25,1907 | 30 | 13.263,33 | 24,9868 | 30 | 6.466,67 | 6.796,67 |
| 6/5/2009 | S | 32,9212 | 33,3242 | 30 | 13.433,33 | 33,1159 | 30 | 6.490,00 | 6.943,33 |
| 6/5/2009 | S | 27,123 | 27,5673 | 30 | 14.810,00 | 27,3394 | 30 | 7.213,33 | 7.596,67 |