

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ATENÇÃO BÁSICA EM
SAÚDE DA FAMÍLIA

BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR
A CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS PELO ESGOTO

GUILHERME LOPES FRATTEZI GONÇALVES

ARAÇUAÍ-MG

2012

GUILHERME LOPES FRATTEZI GONÇALVES

**BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS PELO ESGOTO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Especialização em
Atenção Básica em Saúde da Família,
Universidade Federal de Minas Gerais, para
obtenção do Certificado de Especialista.

Orientador: Prof^o. Antônio Leite Alves Radicchi - UFMG

ARAÇUAÍ-MG

2012

GUILHERME LOPES FRATTEZI GONÇALVES

**BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS PELO ESGOTO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Especialização em
Atenção Básica em Saúde da Família,
Universidade Federal de Minas Gerais, para
obtenção do Certificado de Especialista.

Orientador: Prof^o. Antônio Leite Alves Radicchi - UFMG

Banca de Avaliação:

Prof^o. Antônio Leite Alves Radicchi – Orientador

Prof^o. Juarez Oliveira Castro

Aprovado em Belo Horizonte, 02/03/2013

À Comunidade de Jaguarão, que me acolheu...

À Rosinan, esposa, amada e companheira em todos os momentos...

A meus familiares e colegas, que me incentivaram em todos os momentos da minha formação.

RESUMO

O problema da contaminação dos rios, córregos e mananciais por dejetos sempre foi e continua sendo um problema atual na maioria das comunidades rurais. Uma alternativa para este problema é a criação de um sistema alternativo que visa minimizar ou até eliminar o despejo de dejetos orgânicos em fontes de recursos hídricos. Logo, este trabalho visa à implantação de um Biodigestor anaeróbio que seja de fácil construção e operação como alternativa para o destino final dos dejetos domiciliares.

Palavras-Chave: Dejetos. Despejos. Digestor anaeróbio.

ABSTRACT

The problem of contamination of rivers, streams and fountains by slurry always has been and continues to be a current problem in the majority of rural communities. An alternative to this problem and the creation of an alternative system that aims to minimize or even eliminate the dumping of slurry in organic sources of water resources. Soon, this work is aimed at the implementation of an anaerobic digester is easy construction and operation as an alternative to the final destination of household wastes.

Keywords: Household waste. Anaerobic digestion

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO..... | 08 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 10 |
| 2.1 Impactos da contaminação das fontes de recursos hídricos pelos dejetos..... | 10 |
| 2.2 Processo de digestão anaeróbia..... | 10 |
| 2.2.1 Acidogênese..... | 12 |
| 2.2.2 Acetogênese..... | 13 |
| 2.2.3 Metanogênese..... | 13 |
| 2.3. Eficiência dos reatores..... | 14 |
| 2.4. Os reatores anaeróbios..... | 14 |
| 2.5. Reatores de modelo contínuo..... | 16 |
| 2.6. Características físico-químicas do processo..... | 18 |
| 3. CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR..... | 25 |
| 3.1 Custos operacionais do projeto..... | 25 |
| 3.2 Operação do Biodigestor..... | 28 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 30 |
| REFERÊNCIAS..... | 31 |

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Através do Curso de Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família (CEABSF), percebi a necessidade dos profissionais em sair para a comunidade a fim de estudar as causas dos problemas que afetam diretamente/indiretamente a população e, assim, desenvolver soluções mais efetivas para o enfrentamento das doenças.

Durante meu percurso como odontólogo na atenção básica, percebi que o problema da contaminação da água afeta diretamente minha comunidade e também diversas outras comunidades vizinhas, se tornando um problema comum em minha região e em todo o país. Uma vez realizada a observação ativa, foi possível constatar que existe uma carência de um sistema de tratamento de esgoto, provocando uma exposição da população a riscos de saúde que aumentam a cada dia.

A discussão acerca da necessidade de preservação dos recursos hídricos não só do Brasil, mas de todo o planeta, não é nova. A ocorrência cada vez maior de acidentes ecológicos com petroleiros que acabam despejando milhões de litros de petróleo nos oceanos, a contaminação destes pela descarga de toneladas de resíduos de esgoto industrial e domiciliar por segundo através dos emissários submarinos preocupam a população do planeta de acordo com MARIA, Rita *et al.*(2003). Estes dejetos, por sua vez, levam a contaminação de lençóis freáticos indispensáveis ao abastecimento de água potável das populações rurais e urbana.

A conservação dos recursos hídricos do planeta é uma necessidade real, que afeta todos os seus habitantes, independentemente de país, raça, credo ou sexo. Portanto, é dever de todos contribuir, por mínimo que seja, para reduzir ou acabar com a contaminação de fontes de recursos hídricos, principalmente nas zonas rurais que dependem destes recursos e, freqüentemente, não recebem um sistema de tratamento de água.

Este trabalho visa a implantação de um sistema como fonte alternativa para captação do esgoto dos domicílios, levando estes dejetos para um tanque fechado (Biodigestor) no qual ocorrerá a transformação da matéria orgânica em gás metano e gás carbônico que são os componentes principais do biogás.

Os Biodigestores são classificados em dois tipos: Biodigestores de alimentação contínua e Biodigestores de batelada ou de fluxo não contínuo. Optou-se por utilizar um Biodigestor que utiliza carga contínua, pois este modelo permite que a câmara de biodigestão seja alimentada de maneira contínua, ao contrário dos Biodigestores do tipo “batelada” no qual a matéria orgânica penetra na câmara de forma descontínua, reduzindo o potencial para a biodigestão dos dejetos. Portanto, neste último a carga de matéria orgânica não pode ser inserida diariamente, limitando o uso deste tipo de Biodigestor.

Quando os dejetos orgânicos são encaminhados para uma câmara fechada ocorre o processo de biodigestão. Este processo provoca uma transformação química do material orgânico em gás metano(CH_4) e gás carbônico(CO_2) pela ação de bactérias metanogênicas. Assim temos a degradação de parte do esgoto, eliminando a maior parte do material sólido que é convertido em gases que podem ser utilizados como combustíveis.

A utilização da biodigestão anaeróbia através de biodigestores para estabilização de diferentes substratos é bastante antiga. No Brasil esta tecnologia teve um forte impulso nas décadas de 70 e 80 caindo posteriormente em descrédito devido, principalmente, a falta de conhecimento e acompanhamento técnico desta tecnologia. Na década de 90, a biodigestão anaeróbia novamente ganhou força, colocando-se como alternativa para agregação de valor ao dejetos além de propiciar uma degradação parcial da fração líquida podendo ser utilizado como biofertilizante dentro dos preceitos das boas práticas agrônômicas (Kunz, 2004).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico tem como objetivo revisar as diversas fontes literárias para viabilizar a realização e implantação de um biodigestor anaeróbio como alternativa final de despejo de dejetos humanos.

2.1 Impactos da contaminação das fontes de recursos hídricos pelos dejetos

A contaminação das fontes hídricas em todas as regiões de nosso país é um problema que atinge diversas comunidades Brasileiras, pois é proveniente de um sistema ineficaz de coleta e tratamento de esgoto. Os dejetos eliminados de domicílios quando encontram rios e córregos produz um fenômeno chamado eutrofização que leva a destruição da vida aquática.

Uma das causas mais graves de contaminação orgânica é a descarga de dejetos de suínos, que tem altas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), reduzindo a concentração de oxigênio dissolvida na água. Uma cabeça de suíno produz volume de dejetos (litros/dia) equivalente ao volume gerado entre 10 a 12 pessoas, cujo poder poluente em DBO corresponde a produção de esgoto doméstico de 100 pessoas (TUNDISI, 2003).

2.2 Processo de digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia ou biodigestão é um processo natural de degradação da matéria orgânica e produção de metano, entre outros gases. Os primeiros registros históricos foram apresentados no ano de 1776 por Alessandro Volta, na Itália, que destaca em seus estudos a descoberta de metano presente no gás do pântano (CECCHINI & PELOSI, 1992).

Conforme relata Nogueira (1986), o primeiro reator anaeróbio destinado à produção de gás combustível ocorreu na Índia, em Bombaim, no ano de 1857. Com as crises energéticas ocorridas durante primeira e a segunda Guerra Mundial, muitas pesquisas foram desenvolvidas na Alemanha e na Inglaterra

para produção de energia a partir da digestão anaeróbia. Mas o destaque para disseminação desta tecnologia ocorreu na Índia, a partir da década de 1950. Como resultado desta iniciativa, surgiu o biodigestor modelo Indiano. Um projeto simples e de fácil construção que, na década de 1950, logo atingiu a marca de meio milhão de unidades construídas, proporcionando saneamento, energia e fertilizante para comunidades pobres, das regiões rurais e áreas urbanas (QUEVEDO, HELENO 2011).

Devido à crise energética mundial da década de 1970, a tecnologia de digestão anaeróbia teve um significativo impulso de crescimento, proporcionando sua difusão e aplicação em diversos países, inclusive no Brasil. Neste período ocorreram grandes avanços sobre o conhecimento da dinâmica das etapas da digestão anaeróbia, rotas metabólicas e a modelagem do processo (QUEVEDO, HELENO 2011).

Após a superação da crise energética e com o restabelecimento do preço petróleo, e a soma de uma série de pontos de insucesso levou ao quase abandono do uso dos biodigestores no Brasil, segundo Kunz et al. (2004) e Feiden (2009).

As rotas metabólicas de degradação dos substratos orgânicos durante o processo de digestão anaeróbia são complexas e não há uma modelagem completa do processo que considere toda sequência diversificada de reações. Juntamente com o substrato a ser consumido (oxidação da matéria orgânica) também é produzida uma quantidade reduzida de biomassa bacteriana devido às taxas de crescimento e reprodução destes micro-organismos, de acordo com Chernicharo (1997) e Mata-Alvarez (2003).

Sobre o processo de digestão anaeróbia, segundo Chernicharo (1997), é composto por várias reações sequenciais, com populações microbianas distintas, dividindo-se em quatro fases distintas, a citar: hidrólise, acidogênese,

acetogênese e metanogênese. A Figura 1, abaixo, ilustra as rotas metabólicas de degradação do substrato e produção de novas substâncias pelos microorganismos.

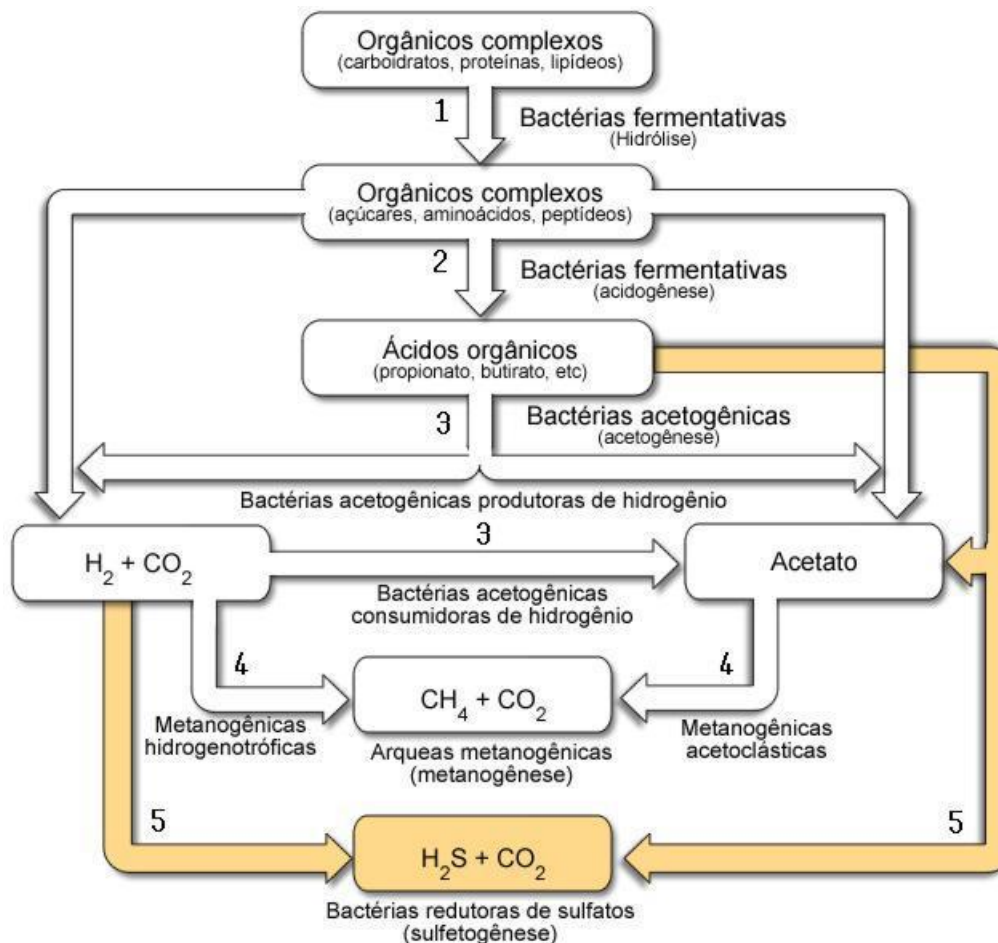


Figura 1 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de Lettinga *et al.* (1996).

2.2.1 Acidogênese

Na acidogênese, etapa dois (2) da Figura 1, as bactérias fermentativas acidogênicas consomem os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise, transformando-os (excretando) em compostos mais simples, tais como: ácidos graxos, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de

hidrogênio, conforme Comastri Filho (1981). Estes produtos metabólicos serão a base do consumo das bactérias acetogênicas e arqueias metanogênicas, segundo Chernicharo (1997).

2.2.2 Acetogênese

De acordo com Chernicharo (1997) e Oliveira & Higarashi (2006), a acetogênese e a acidogênese são as etapas líquidas do processo de digestão anaeróbia, nas quais ocorre a oxidação das substâncias geradas na fase de acidogênese produzindo ácidos orgânicos pela ação das bactérias sintróficas acetogênicas, conforme ilustrada na etapa três (3) da Figura 1. Os produtos oriundos desta etapa são o substrato básico para o grupo arqueia da fase metanogênica.

2.2.3 Metanogênese

Considerada a última etapa, sendo esta gasosa, ilustrado pelo item quatro (4) da Figura 1, onde dois grupos de arqueias metanogênicas atuam sobre os produtos gerados nas etapas anteriores: as arqueias metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% de metano do processo, tendo como fonte de energia os ácidos acéticos para produzir metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) a partir dos seus metabolismos e as rota das arqueias metanogênicas hidrogenotróficas produzem cerca de 30% do metano do processo, usam hidrogênio como fonte de energia e gás carbônico (CO_2) como acceptor de elétrons, resultando maior liberação de energia e formando metano a partir dessa reação, de acordo com Oliveira & Higarashi (2006).

2.3 Eficiência dos reatores

A eficiência de um reator anaeróbio está relacionada com o teor de sólidos orgânicos (matéria orgânica) presentes no substrato e com taxa de conversão em metano. Alguns parâmetros são proporcionais a este conteúdo de matéria orgânica, permitindo avaliar a digestibilidade do substrato (QUEVEDO, HELENO 2011).

A função do reator anaeróbio é acelerar o processo de digestão anaeróbia, criando condições favoráveis para manter a biomassa de bactérias ativas em contato direto com o substrato orgânico presente no afluente (LOUZADA, 2006).

2.4 Os reatores anaeróbios

A classificação quanto ao tipo de biodigestor é determinada pelo tipo de construção, ou seja, se a câmara de biodigestão(reator) está acima ou abaixo do solo, bem como a sua eficiência que é determinada pelo tempo em que os dejetos orgânicos permanecem dentro da câmara(tempo de retenção hidráulica ou TRH). Por definição, iremos considerar, neste trabalho, apenas a utilização de biodigestores anaeróbios.

Os sistemas baseados na digestão anaeróbia apresentam como vantagem a baixa produção de sólidos, de duas (2) a oito (8) vezes menor, quando comparados aos sistemas baseados na digestão aeróbia. Os sistemas de digestão anaeróbia consomem pouca ou praticamente nenhuma energia para sua operação, sendo que, quando há consumo de energia para o processo, a mesma está diretamente relacionada à localização física do sistema à topografia do terreno e/ou às condições climáticas do local onde está instalado, levando à necessidade de sistemas de bombeamento, aquecimento e/ou sistema de agitação mecânica. (QUEVEDO, HELENO 2011).

O tempo de permanência influenciará diretamente no tipo de desejos que serão produzidos, classificando, também, cada biodigestor de acordo com sua

finalidade. Assim, podemos ter biodigestores que produzem mais fertilizantes do que o biogás ou o contrário. Além de biodigestores que são alimentados continuamente ou não.

Dessa forma, podemos resumir os biodigestores em alguns modelos mais conhecidos, de acordo com a sua função principal baseada no fluxo hidráulico, como está idealizada na tabela 1 por Campos (1999):

Tabela 1:

| Tipo de Reator | Fluxo | Mistura | Característica |
|-----------------------|--------------|----------------|--|
| Batelada | Descontínuo | Completa | Reator preenchido no início e esvaziado ao final do ciclo do processo de digestão anaeróbia, repetindo-se a operação com nova batelada. |
| Tubular ou Pistão | Contínuo | Tubular | O efluente entra e passa por meio de tanque longo, favorecendo a retenção de partículas sólidas e permitindo a saída da fase líquida na mesma sequência da entrada. Teoricamente não ocorre mistura no sentido longitudinal e com pouco ou nenhuma |

| | | | |
|------------------|----------|----------|--|
| | | | dispersão transversal. A concentração de carga orgânica e sedimento diminuem da entrada para saída do tanque longitudinal. |
| Mistura Completa | Contínuo | Completa | O substrato ao entrar no reator é homogeneizado constantemente ao longo do processo. |
| Arbitrário | Contínuo | Mista | Possui as características intermediárias entre as do reator tubular e as do reator mistura completa |

Fonte: Campos (1999).

2.5 Reatores de modelo contínuo

O presente trabalho irá utilizar Biodigestor(es) no modelo chinês devido à seu baixo custo e facilidade de execução do projeto. Apesar de este modelo necessitar de um trabalho de pedreiro de primeira linha, dispensa a construção de uma campânula de ferro/aço, como ocorre no modelo indiano, que encarece o valor final do projeto e necessita de um tempo maior de execução. A Figura 2 representa os dois tipos mais comuns de biodigestores.

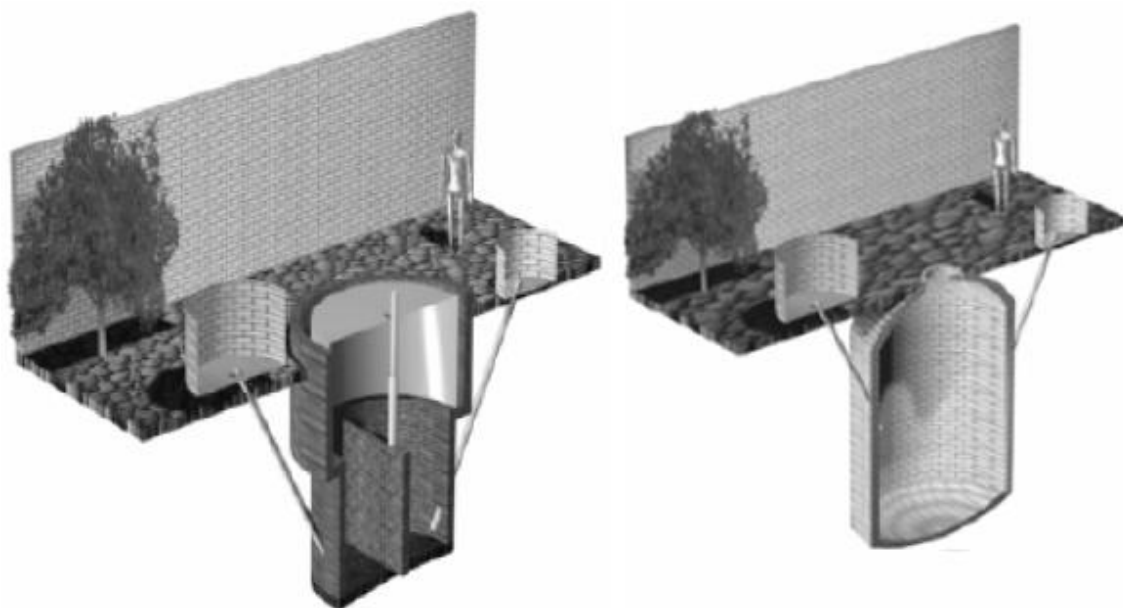


Figura 2 - Representação tridimensional em corte dos biodigestores indiano e Chinês.

Percebemos, então, que a finalidade dos biodigestores é criar um ambiente ideal para o desenvolvimento da cultura microbiana, responsável pela digestão anaeróbia da biomassa, segundo Comastri Filho (1981). Neste ambiente sem oxigênio atmosférico e com controle das faixas de temperatura, pressão, pH e quantidade de água usada na diluição do substrato, ocorrem a fermentação dos sólidos totais e dos sólidos voláteis gerando biogás, rico em metano (SGANZERLA, 1983).

Considerando que a finalidade principal deste projeto é minimizar a quantidade de dejetos que irão entrar em contato com o meio ambiente, é importante frisar que a produção final de substâncias que poderão ser utilizadas como fertilizantes não é de sua importância. Porém a produção de biogás poderá ser utilizada como alternativa para contribuir pela melhoria de qualidade de vida da comunidade. Deve-se ressaltar, também, que os dejetos de origem humana possuem uma capacidade poluidora bem menor do que dejetos de outros animais, além de apresentarem menores quantidades de nitrogênio e fósforo que são importantes para formação dos fertilizantes.

Em levantamento relacionado com o excremento de outros animais, a capacidade poluidora dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é muito superior à de outras espécies. Como pode ser observado na Tabela 2, onde a quantificação da carga poluidora é expressa em termos do equivalente populacional (EP) (DERISIO, 1992).

Tabela 2 – Equivalentes populacionais de várias espécies de animais

| Origem dos dejetos | Equivalente populacional (EP) |
|--------------------|-------------------------------|
| Homem | 1,00 |
| Vaca | 16,40 |
| Cavalo | 11,30 |
| Galinha | 0,14 |
| Ovelha | 2,45 |
| Suíno | 3,00 |

Fonte: Derisio (1992).

Os dejetos de suínos possuem elevadas concentrações de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sólidos em suspensão e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo). Isto representa uma fonte de fertilizantes, mas também uma fonte potencial de poluição quando não tratado ou manejado inadequadamente. No entanto, os dejetos de animais podem, quando bem manejados, constituir-se em alternativa econômica para a propriedade rural, sem comprometimento da qualidade ambiental (OLIVEIRA et al., 2000).

2.6 Características físico-químicas do processo

Um aspecto importante que se deve ressaltar é o tempo de permanência dos dejetos na câmara de biodigestão para que ocorra a redução da matéria orgânica, eliminação de parasitas e outros microorganismos patogênicos para o homem. De acordo com diversos autores, o prazo de 20 dias é suficiente para reduzir significativamente o número de microorganismos indicadores de poluição fecal e a quantidade de ovos de helmintos parasitas de ruminantes.

Na tabela 3, são apresentados os teores de sólidos totais e voláteis e a produção de biogás, no afluente e nos efluentes dos biodigestores Indiano e Chinês, nos tempo de retenção hidráulica de quarenta, trinta e vinte dias. Verificou-se que os teores de sólidos voláteis, representaram 83,36%, 81,41% e 79,10% dos teores de sólidos totais, nos afluentes dos biodigestores, nos tempos de retenção de quarenta, trinta e vinte dias, respectivamente. Esses dados estiveram próximos aos de BALSARI (1988) e aos dados obtidos na literatura, os quais demonstraram que, em resíduos provenientes de

bovinocultura, os teores de sólidos voláteis representavam aproximadamente 80% dos teores de sólidos totais.

Tabela 3 - Teores de sólidos totais e voláteis e produção de biogás por kg estrume, por kg sólidos totais (ST) adicionados e por kg de sólidos voláteis (SV) adicionados e reduzidos, no afluente e nos efluentes dos biodigestores modelo Indiano e Chinês, nos tempos de retenção hidráulica de quarenta, trinta e vinte dias.

| Biodigestores | Indiano | | | Chinês | | |
|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tempo de retenção hidráulica (dias) | 40 | 30 | 20 | 40 | 30 | 20 |
| Sólidos totais contidos no afluente | 11,54 | 8,34 | 7,56 | 11,54 | 8,34 | 7,56 |
| Sólidos totais contidos no efluente | 7,51 | 6,29 | 5,74 | 7,47 | 5,72 | 4,79 |
| Sólidos voláteis contidos no afluente | 9,62 | 6,79 | 5,98 | 9,62 | 6,79 | 5,98 |
| Sólidos voláteis contidos no efluente | 5,85 | 4,97 | 4,40 | 5,71 | 4,50 | 3,65 |
| Produção média de biogás (m ³ /kg estrume) | 0,0255 | 0,0244 | 0,0231 | 0,0233 | 0,0258 | 0,0279 |
| Produção média de biogás por kg de sólidos totais adicionados (m ³ /kg ST adicionados) | 0,1104 | 0,1162 | 0,1019 | 0,1013 | 0,1232 | 0,1233 |
| Produção média de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados (m ³ /kg SV adicionados) | 0,1325 | 0,1427 | 0,1288 | 0,1215 | 0,1513 | 0,1558 |
| Produção média de biogás por kg de sólidos voláteis reduzidos (m ³ /kg SV reduzidos) | 0,3381 | 0,5324 | 0,4877 | 0,2989 | 0,4488 | 0,3999 |

Assim, através da utilização dos biodigestores, é possível reduzirmos consideravelmente a matéria orgânica presente nos dejetos e, ao mesmo tempo, produzirmos combustível, principalmente na forma de biogás e biofertilizantes, minimizando o contato desses dejetos com o meio ambiente e melhorando consideravelmente o custo/benefício deste projeto.

Segundo Crane (1980), a aplicação de dejetos animais no solo é a maior fonte de microrganismos, incluindo muitas espécies patogênicas aos animais e ao homem. Esses microrganismos podem, principalmente, através das chuvas, serem levados às fontes de água superficiais e subterrâneas, comprometendo a qualidade microbiológica de mananciais.

Devemos lembrar que para realizarmos este projeto devemos definir, inicialmente, as dimensões de nosso biodigestor e o custo da mão-de-obra que pode ser voluntária desde que siga as especificações (tabela 4 e 5) para a construção do Biodigestor e utilize pessoal capacitado e com mínimo de habilidade necessária para construção da estrutura em alvenaria. O Biodigestor, modelo chinês, consiste em um recipiente fechado que tem paredes em alvenaria. Este tanque deve seguir medidas específicas e pode ser de dois tipos: biodigestor com pouca profundidade e com maior profundidade.

Tabela 4 – Biodigestores com pouca profundidade.

| Capacidade do Tanque Digestor (em m ³) | Dimensões do Tanque Digestor (diâmetro X m) | Dimensões da Campânula | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | Clima Frio/Temperado (diâmetro X m) | Clima Tropical (diâmetro X m) |
| 8 m ³ | 2,00 x 2,60 | 1,80 x 1,10 | 1,80 x |
| 10 m ³ | 2,20 x 2,70 | 2,00 x 1,10 | 2,00 x |
| 12 m ³ | 2,35 x 2,80 | 2,15 x 1,10 | 2,15 x |
| 15 m ³ | 2,53 x 3,00 | 2,33 x 1,20 | 2,33 x |
| 18 m ³ | 2,70 x 3,15 | 2,50 x 1,20 | 2,50 x |

Relação Biomassa/Biogás: 2,4: 1 m³ (Clima frio/temperado) 1: 1 m³ (Clima

Fonte: SGANZERLA, 1983, p. 42.

Tabela 5 – Biodigestores com maior profundidade.

| Capacidade do Tanque Digestor (em m ³) | Dimensões do Tanque Digestor (diâmetro X m) | Dimensões da Campânula | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | Clima Frio/Temperado (diâmetro X m) | Clima Tropical (diâmetro X m) |
| 8 m ³ | 1,70 x 3,60 | 1,50 x 1,50 | 1,50 x |
| 10 m ³ | 1,85 x 3,80 | 1,65 x 1,50 | 1,65 x |
| 12 m ³ | 1,97 x 4,00 | 1,77 x 1,55 | 1,77 x |
| 15 m ³ | 2,10 x 4,40 | 1,90 x 1,60 | 1,90 x |
| 18 m ³ | 2,20 x 4,80 | 2,00 x 1,75 | 2,00 x |

Relação Biomassa/Biogás: 2,4: 1 m³ (Clima frio/temperado) 1: 1 m³ (Clima

Fonte: SGANZERLA, 1983, p. 43.

Dessa forma, podemos esquematizar a estrutura de um biodigestor como segue a Figura 4. O modo de funcionamento do biodigestor chinês é bem semelhante ao modelo indiano e ambos trabalham com um sistema de alimentação contínua. Na caixa de descarga há uma saída específica para biofertilizante, conforme demonstrado na Figura 4. O sistema chinês em termos de construção possui vantagem sobre o indiano, pois pode ser construído inteiramente pelo usuário, além de proporcionar melhor isolamento térmico e o custo menor. A vantagem do sistema indiano está na perda de gás, que não ocorre em função do gasômetro metálico, possuindo maior produtividade. As demais características são equilibradas. Como o objetivo deste projeto não é construir um biodigestor que apresente uma elevada taxa de produtividade de biogás/fertilizantes, necessitamos apenas de um sistema que seja capaz de fazer a biodigestão dos dejetos provenientes do esgoto domiciliar para atender pequenas comunidades onde não há um sistema de coleta/tratamento de esgoto.

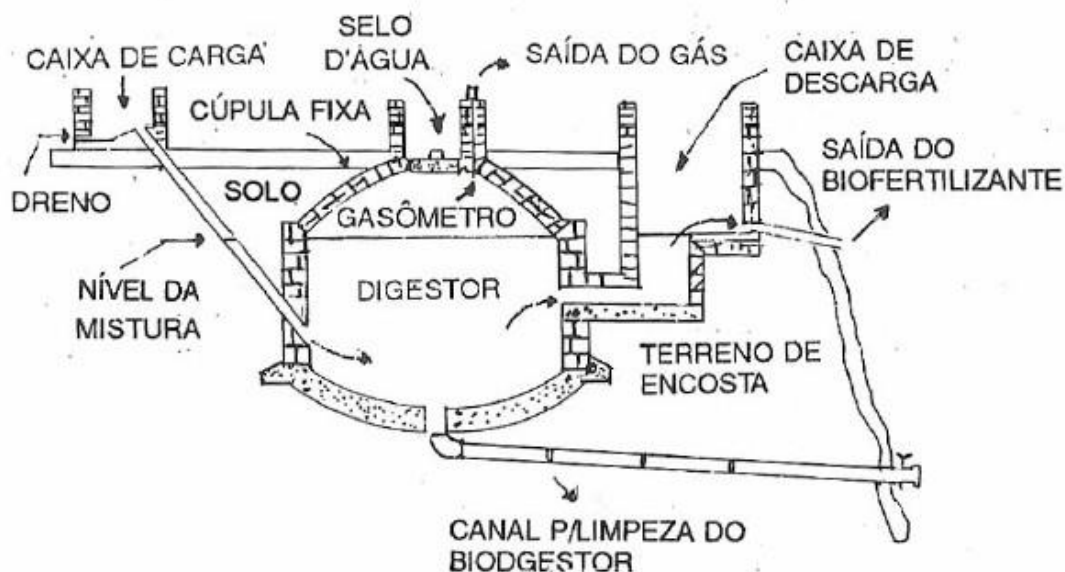


Figura 4: Biodigestor chinês – Fonte: Barrera, 1993.

Neste sistema, os dejetos são continuamente adicionados ao reator (câmara de biodigestão) e o biofertilizante (substrato já degradado) é continuamente removido, sem a necessidade de parar o processo, gerando um fluxo contínuo de substrato. Dessa forma, o biodigestor permite que a carga e a descarga do material orgânico (dejetos diluídos em água) sejam feitas em intervalos contínuos através de sistemas de bombeamento ou pelo princípio de vasos comunicantes. A alimentação não é de forma constante, mas em intervalos regulares de tempo, e o substrato deve ter uma concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar obstrução do tubo de carga e facilitar a circulação da biomassa (QUEVEDO, HELENO 2011). A adição regular da carga orgânica ao reator favorece o desenvolvimento simultâneo de todas as etapas no processo de digestão anaeróbia e após o período de estabilização do processo permite uma produção constante de biogás e biofertilizante.

O modelo Chinês surgiu a partir de uma adaptação do modelo Indiano às condições locais da China. Seu custo foi reduzido eliminando-se o gasômetro feito em chapa metálica e a sua construção priorizou o uso de material local substituindo o uso de alvenaria. Quanto ao formato do tanque, este modelo tem o corpo em formato cilíndrico com o fundo e o teto em formato de calotas esféricas, tornando seu aspecto construtivo mais difícil que o do modelo

Indiano. Também possui caixa de carga e descarga funcionando pelo princípio de vasos comunicantes e ausência de gasômetro móvel (QUEVEDO, HELENO 2011). O volume fixo desfavorece o controle da pressão interna do reator, a qual varia dependendo da quantidade de biogás armazenado. O acúmulo de biogás em excesso aumenta a pressão interna, ocasionando o deslocamento do efluente da câmara de fermentação para caixa de descarga. Este modelo de reator é recomendado para aplicações rurais em pequena escala, de acordo com Lucas Júnior, Souza & Lopes (2003).

Dentre os principais produtos da biodigestão, temos o biogás e os biofertilizantes. O biogás é um combustível gasoso, resultado da mistura de vários gases ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{NH}_3$), cujo principal constituinte é o metano (CH_4). O gás metano é incolor e sem cheiro, entretanto a presença de outras substâncias ao biogás lhe confere um odor levemente desagradável, sua combustão produz uma chama azul-clara sem deixar fuligem. Já o biofertilizante não possui odores desagradáveis, além de ser isento de microorganismos patogênicos QUEVEDO (2011). Para OLIVEIRA (2004) o material que se encontra no interior da câmara de fermentação, que já foi biodigerido, será deslocado para caixa de descarga no momento em que o sistema for abastecido com nova carga. Esse efluente tem grande quantidade de nutrientes e dependendo das características do solo, poderá ser utilizado como fertilizante orgânico e complementar a aplicação de fertilizante químico. Segundo QUEVEDO (2011) o que determina a prioridade da produção de biogás ou biofertilizante no biodigestor é o tempo de retenção hidráulico (TRH), o qual corresponde ao tempo necessário para toda carga do biodigestor ser substituída. Esse será o tempo que os microorganismos atuarão no substrato para fermentá-lo. TRH acima de 50 dias tem por finalidade a estabilização da matéria orgânica. Cargas freqüentes de dejetos mantêm a concentração de sólidos voláteis (SV) alta e as bactérias metanogênicas irão produzir mais biogás, conforme Chen (1983) apud Kunz & Oliveira (2006). Isso acaba gerando, mesmo assim, um efluente ainda com concentrações significativas de matéria orgânica pelo fato da maturação do biofertilizante estar incompleta.

O TRH, como dito anteriormente, define a finalidade do biodigestor, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – TRH de acordo com a finalidade do biodigestor

| Produção no Biodigestor | TRH |
|--------------------------------------|--------------|
| Produção de Biogás | 10 a 20 dias |
| Produção de Biofertilizante | 50 a 60 dias |
| Produção de Biogás + Biofertilizante | 30 dias |

Fonte: Lucas Júnior, Souza & Lopes (2003)

Outro fator que devemos considerar é a temperatura. Para Campos (1999) a temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbia, uma vez que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. Dentre os principais efeitos da temperatura citam-se as alterações na velocidade do metabolismo dos microorganismos envolvidos no processo anaeróbio, na solubilidade dos substratos, principalmente de lipídios, e no equilíbrio iônico.

O biodigestor contém diversas espécies de microorganismos que atuam em faixas ideais de temperatura diferentes, portanto existem aqueles que necessitam de baixas temperaturas, até 20°C que são denominados de microorganismos psicrófilos. Outros preferem a faixa entre 20°C e 40°C que é a mais comum para tratamento anaeróbio nos países tropicais e subtropicais, sendo classificados como microorganismos mesófilos. E, também, alguns que atuam na faixa acima de 40°C que são os microorganismos termófilos (CAMPOS, 1999). Segundo Campos (1999) não há uma configuração específica de reator para cada faixa de temperatura, o que ocorre são dispositivos para manter a temperatura do reator em determinadas faixas, por exemplo, na faixa mesófila, a mais utilizada em processos anaeróbios dos sistemas instalados no mundo.

O armazenamento do biogás tem a função de garantir a oferta deste quando o consumo for maior que a rendimento do biodigestor. O armazenamento a altas pressões só se justifica em grandes sistemas que necessitam reduzir o volume e estabilizar a pressão para viabilizar a sua comercialização (SOUZA &

SCHAEFFER, 2010). O armazenamento pode ser feito de três maneiras: baixa pressão, alta pressão e liquefação. No sistema de baixa pressão, o biogás é armazenado em balões de manta plástica ou nas próprias câmaras de gás formadas nos reatores Modelo Tubular (SOUZA & SCHAEFFER, 2010). Esse sistema de armazenagem tem o menor custo quando comparado com os outros dois métodos de armazenagem, de acordo com Lucas Júnior et al. (2003). No armazenamento sob alta pressão, o biogás é comprimido aproximadamente a 200 bar de pressão e estocado em cilindros especiais. O processo de liquefação tem o custo mais alto de armazenamento, sendo obtido pelo sistema de criogenia onde o metano se liquefaz em pressão ambiente a uma temperatura de -161°C de acordo com QUEVEDO, HELENO (2011).

3 CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR

Este tópico relata resumidamente o processo de construção e operação de um biodigestor.

3.1 Custos operacionais do projeto

Para realização deste projeto, inicialmente deve-se calcular o custo dos materiais necessários para a construção do tanque biodigestor. Pois, mesmo que um projeto tenha uma boa relação custo/benefício, é necessário realizar seu cálculo de custos a fim de prever viabilidade do mesmo.

O sistema chinês utiliza apenas materiais em alvenaria, portanto não necessita de estruturas pré-fabricadas. Dentre os materiais necessários podemos resumir em cimento, tijolos, areia, pedra brita, barras de ferro, tubos de PVC e canos galvanizados de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Custos com materiais de construção.

| Material (Unidade) | Loja 1 | Loja 2 | Loja 3 | MÉDIA |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Saco de Cimento (50 kg) | R\$ 23,50 | R\$ 25,80 | R\$ 22,00 | R\$ 23,76 |
| Tijolo 2 furos (milheiro) | R\$ 350,00 | R\$ 300,00 | R\$ 390,00 | R\$ 346,66 |
| Areia Média lavada (m ³) | R\$ 30,00 | R\$ 38,00 | R\$ 35,00 | R\$ 34,33 |
| Pedra Brita (m ³) | R\$ 50,00 | R\$ 55,00 | R\$ 52,90 | R\$ 52,63 |
| Vedacit (3,6 l) | R\$ 25,00 | R\$ 23,50 | R\$ 21,50 | R\$ 23,33 |
| Barras de Ferro ¼" (12 m) | R\$ 15,00 | R\$ 18,00 | R\$ 15,00 | R\$ 16,00 |
| Tubos de PVC (150 mm) - Barras de 6 m | R\$ 89,90 | R\$ 82,90 | R\$ 98,90 | R\$ 90,56 |
| Cano Galvanizado 1" (barras de 12 m) | R\$ 55,90 | R\$ 49,90 | R\$ 57,90 | R\$ 54,56 |

Fonte: Pesquisa de Campo em Set/Out. 2011.

As dimensões adequadas ao biodigestor modelo chinês proposto, adaptadas de Costa; Silva; Gomes (1983, p 44), são as seguintes:

- a) Raio da Cúpula (r1) $\frac{3}{4}$ 1,66 m;
- b) Altura sobre a laje para fixação do gabarito $\frac{3}{4}$ 1,22 m;
- c) Raio da escavação do Cilindro (R) $\frac{3}{4}$ 1,58 m;
- d) Profundidade da escavação do Cilindro (P) $\frac{3}{4}$ 2,9 m;
- e) Raio interno do Cilindro (r2) $\frac{3}{4}$ 1,45 m;
- f) Altura do Cilindro (h2) $\frac{3}{4}$ 2,03 m;
- g) Profundidade de escavação do degrau superior da Caixa de Descarga

(PS) $\frac{3}{4}$ 1,31 m;

h) Profundidade de escavação do degrau inferior da Caixa de Descarga

(PI) $\frac{3}{4}$ 2,41 m;

i) Desnível do degrau inferior da Caixa de Descarga (DDI) $\frac{3}{4}$ 0,49 m;

j) Raio de escavação da Caixa de Carga (RCC) $\frac{3}{4}$ 0,61 m;

k) Profundidade de escavação da Caixa de Carga (PCC) $\frac{3}{4}$ 0,20 m;

l) Altura da Caixa de Carga (HCC) $\frac{3}{4}$ 0,70 m.

Os diagramas que mostram as etapas de construção do biodigestor podem ser encontrados nos diversos trabalhos que abordam o assunto, como Barrera (1983), Costa; Silva; Gomes (1985), Sganzerla (1981) e Seixas (1980), entre outros. Além disso, um pedreiro experiente não terá maiores dificuldades para seguir as indicações acima. Os materiais exigidos para a construção do biodigestor planejado de acordo com as dimensões dispostas acima se encontram detalhados na Tabela 8, juntamente com o custo previsto para as quantidades totais previstas. Os custos foram definidos com base nos dados da Tabela 7.

Tabela 8 – Materiais/Custos de construção do biodigestor.

| Materiais de Construção | Quantidade | Custo Unitário | Custo Total |
|--|------------|----------------|-------------|
| Saco de Cimento (50 kg) | 36 | R\$ 23,76 | R\$ 855,36 |
| Tijolo 2 furos (milheiro) | 5 | R\$ 346,66 | R\$ 1733,30 |
| Areia Média lavada (m ³) | 6 | R\$ 34,33 | R\$ 205,98 |
| Pedra Brita (m ³) | 2 | R\$ 52,63 | R\$ 105,26 |
| Vedacit (3,6 l) | 7 | R\$ 23,33 | R\$ 163,31 |
| Barras de Ferro $\frac{1}{4}$ " (12 m) | 4 | R\$ 16,00 | R\$ 64,00 |

| | | | |
|--|---------|-----------|-------------|
| Tubos de PVC (150 mm) - Barras de 6 m | 1 (hum) | R\$ 90,56 | R\$ 90,56 |
| Cano Galvanizado 1" (barras de 12 m) | 1 (hum) | R\$ 54,56 | R\$ 54,56 |
| Total dos Custos | - | - | R\$ 3272,33 |

Fonte: Pesquisa de Campo em Set/Out. 2011.

Este total de R\$ 3272,33 reais não inclui gastos com pagamento de frete, mão-de-obra qualificada (pedreiro) para construção do biodigestor, ou preparação do local onde o mesmo será erigido. Seria temerário especular o impacto final que tais gastos representariam no preço final do aparelho, uma vez que os mesmos dependem de uma série de fatores, como a negociação de valores com o pedreiro encarregado da construção do digestor ou a distância da propriedade rural à loja de materiais de construção.

3.2 Operação do Biodigestor

Os Biodigestores, de maneira geral, foram desenvolvidos de maneira a simplificar seu manuseio pelos funcionários que irão operá-los. Uma sequência de passos desde o momento da saída dos dejetos dos domicílios até a chegada destes dejetos ao Biodigestor está disposta a seguir:

1ºPasso: Coleta dos dejetos: Na comunidade onde o Biodigestor está instalado, o sistema de coleta dos dejetos domiciliares é feito pela rede esgoto comum que sai das casas. Este esgoto desemboca numa tubulação independente que leva os dejetos diretamente para a caixa de carga. Uma válvula impede que os dejetos entrem na caixa de carga de maneira contínua.

2ºPasso: Armazenamento na caixa de carga e decantação: Os dejetos chegam à caixa de carga por uma tubulação conectada na sua parte superior. Há uma

válvula logo na entrada da caixa de carga, a qual regula a vazão e quantidade de resíduos a serem colocados. O processo inicia-se com a decantação dos resíduos. O tempo de decantação é o de uma noite. Os dejetos ficam retidos na caixa de carga durante a noite e, no dia seguinte, são colocados no biodigestor. Com isso, os resíduos sólidos ficam no fundo da caixa e entra somente líquido. Os sólidos são descartados nas lagoas. O controle de volume dentro da caixa de carga é feito por uma mangueira externa à caixa. Por essa mangueira é possível determinar a quantidade de líquido que entra na caixa de carga observando a altura de líquido na mangueira, além de possibilitar que seja colocado o volume correto para a fermentação dentro do biodigestor.

3ºPasso: A fermentação no biodigestor: Assim que os dejetos entram no biodigestor, eles começam a ser consumidos pelos microrganismos do biodigestor. A alimentação do biodigestor é feita diariamente, no entanto, a alimentação não é contínua, o sistema é alimentado por um pulso, uma vez ao dia, como se fosse uma batelada contínua. Ao sair do biodigestor, os dejetos são levados por uma tubulação até uma das lagoas, onde ficarão retidos até que possam ser usados.

4ºPasso: Disposição dos dejetos em lagoas: Para dar fim aos dejetos produzidos pelos animais, após certo tempo, em torno de três meses, esses resíduos são utilizados para adubar plantações locais. Sendo assim os dejetos vindos do biodigestor também vão ser armazenados nas lagoas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos estudos concluímos que os biodigestores, quando implantados de forma adequada, oferecer uma alternativa bem atraente para minimizar a contaminação dos recursos hídricos pelos dejetos domiciliares. Trata-se de uma alternativa relativamente barata, ou seja, certamente bem mais barata do que a instalação de redes de tratamento de esgoto que em áreas rurais tornam-se inviáveis.

Com o aumento populacional e conseqüentemente o aumento de resíduos produzidos pelos domicílios e, também, o déficit no fornecimento de energia elétrica, torna-se importante o desenvolvimento de soluções alternativas para o controle da poluição.

REFERÊNCIAS

BARRERA, Paulo. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993, p. 11.

CAMPOS, J. R. (Org.) .**Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro - RJ: ABES-FINEP, 1999. 435 p.

CECCHINI, R.; PELOSI, G. **Alessandro Volta and his battery**. IEEE Antennas and Propagation Magazine, APM-34, 2, pp. 30-37, April 1992.

CHEN, Y. R.; VAREL, V. H.; HASHIMOTO, A. G. Methane production from agricultural residues - A short review. In: **Industrial Engineering Chemistry Product Research and Development**. vol. 19, p. 471-477, Houston, 1980.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v.5, 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular Técnica nº 9, EMBRAPA: Corumbá, 1981.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SILVA, Nazareno Ferreira da; GOMES, Francisco Plínio Barrôzo. Biodigestor. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 1985. **Série Cadernos de Pesquisa**.

FEIDEN, A. **Problemas e perspectivas do uso de biodigestores rurais na Região Oeste do Paraná**, Brasil. In: IV Simpósio Brasil-Alemanha. Curitiba, 2009.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. **Biodigestores: Avanços e Retrocessos**. Embrapa Aves e Suínos, 2004.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás**. Revista de política agrícola ISSN 1413-4969, Ano XV n.º 3, Jul Ago. Set, 2006.

LETTINGA, G.; HULSHOF POLL, W.; ZEEMAN, G. **Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic Wastewater treatment**. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, Ed. January, 1996.

LOUZADA, A. G. **Avaliação da Atividade Metanogênica Específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BFs**. 2006. 145 f.. dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

LUCAS JÚNIOR, J. (Org.); SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. **Manual de construção e operação de biodigestores**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2003. 40 p.

MATA-ALVAREZ, J.. **Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes**, IWA Publishing Press, Cornwall, UK, 2003.

MARIA, Rita *et al.*(2003). **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade de Santa Catarina, 2003.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, P.A.V. (Coord.) **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos - Manual de boas práticas**. 01. ed. Concórdia - SC: Embrapa, 2004. v. 01. 109 p.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos**. Série Documentos n. 115. Embrapa Suínos e Aves: Concórdia, 2006.

QUEVEDO, HELENO (2011). **Avaliação dos Modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do ABC, 2011.

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

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

SOUZA, J; SCHAEFFER, L. **Estudo para fabricação de cilindros especiais para biometano**. REVISTA LIBERATO: Educação, Ciência e Tecnologia v. 11, n. 15, jan./jun. 2010 ISSN: 1518-8043, Novo Hamburgo, 2010.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 1. ed. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2003. v. 1. 248 p.