

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS MEDIANEIRA
ESPECIALIZAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

JANDIRA FERREIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS E FUNCIONAMENTO DE
BIODIGESTORES NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

CURITIBA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira
Coordenador: Adelmo Lowe Pletsch
Especialização no Ensino de Ciências



JANDIRA FERREIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS E FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTORES
NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

CURITIBA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira

Coordenador: Adelmo Lowe Pletsch
Especialização no Ensino de Ciências



TERMO DE APROVAÇÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS E FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTORES NO ENSINO DE CIÊNCIAS

por

JANDIRA FERREIRA

Esta Monografia foi apresentada em 09 de março de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialização no Ensino de Ciências. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

PROF. DR. RAFAEL ARIOLI
Prof.(a) Orientador(a)

PROF. MARCIA
Membro titular

PROF. FERNANDO PERIOTTO
Membro titular

JANDIRA FERREIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS E FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTORES
NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título em Especialização no Ensino de Ciências (Departamento de Ciências), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Arioli

CURITIBA

2013

Dedicatória

*Dedico este trabalho aos meus familiares
que estiveram sempre ao meu lado e a
todos os meus amigos que estiveram
presentes nos momentos bons e difíceis
da minha vida!*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por iluminar e guiar meus passos.

Aos senhores proprietários do Frigorífico Irmãos Nuzda Ltda, ao Centro de Treinamento de Pecuáristas e ao Centro Estadual de Educação Profissional Olegário Macedo por disponibilizar suas instalações e prestar informações necessárias para a realização deste trabalho.

Ao professor Rafael Arioli pelas informações e orientações recebidas.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de biodigestores instalados em pequenas, médias e grandes propriedades rurais do município de Castro, PR, considerando a destinação dos efluentes e aproveitamento do potencial energético de dejetos animais. Para essa finalidade, estabeleceu-se contato com os proprietários com o objetivo de obterem-se informações do desempenho dos biodigestores de cinco propriedades, das quais duas utilizam como resíduo orgânico dejetos de suínos, duas, dejetos de bovinos de leite e uma, rejeitos de agroindústria de produtos cárneos. As perguntas aplicadas aos proprietários possibilitaram verificar as condições de funcionamento, economia e o grau de satisfação no uso dessa tecnologia em todas as propriedades. Constatou-se que todas as propriedades observadas apresentam biodigestores em funcionamento, fazendo o aproveitamento dos dejetos, produzindo e fazendo o aproveitamento do biogás e biofertilizante. Em todas as propriedades se manifestou satisfação quanto ao funcionamento do biodigestor no que concerne à produção de biogás e biofertilizante, com diminuição de eficiência no período de inverno. As informações obtidas permitiram concluir que a tecnologia da biodigestão anaeróbica pode apresentar viabilidade técnica e econômica na região dos Campos Gerais, desde que tomados os devidos cuidados na sua construção, manejo e manutenção.

Palavras-chave: Biogás, Biodigestores, Biofertilizantes, Biodigestão.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of biodigesters installed in small, medium and large farms in the municipality of Castro, PR, considering the disposal of effluents and exploitation of the energy potential of animal wastes. For this purpose, we established contact with the owners in order to obtain information is the performance of digesters five properties, two of which use organic waste as pig manure, two, dairy cattle slurry and tailings agribusiness of meat products. The questions apply to owners allowed to check the operating conditions, the economy satisfaction in using this technology in all properties. It was found that all the observed properties have digesters in operation, making use of waste, producing and making use of biogas and fertilizer. All the properties are expressed satisfaction with the functioning of the digester with respect to the production of biogas and fertilizer, with decreased efficiency during winter. Information obtained indicated that the technology of anaerobic digestion can submit technical and economic viability in the region of Campos Gerais since taken due care in its construction, management and maintenance.

Keywords: Biogás, Biodigesters, Biofertilizers, Biodigestion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Distribuição global das fontes de metano..... | 7 |
| Figura 2 - Componentes básicos de um biodigestor..... | 10 |
| Figura 3 - Processo biológico que ocorre dentro de um biodigestor..... | 13 |
| Figura 4 - Biodigestor principal da Granja Marujo..... | 21 |
| Figura 5 - Biodigestor do Centro de Treinamento de Pecuáristas..... | 22 |
| Figura 6 - Planta baixa do biodigestor CEEPOM..... | 24 |
| Figura 7 - Biodigestor do Frigorífico Irmãos Nuzda..... | 25 |
| Quadro 1 - Concentração média do biogás..... | 13 |
| Quadro 2 - Consumo de biogás em diferentes atividades..... | 18 |
| Quadro 3 - Demonstrativo da produção de biogás e biofertilizante..... | 26 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. JUSTIFICATIVA..... | 3 |
| 3. OBJETIVOS..... | 4 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL..... | 4 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 4. REFERÊNCIAL TEÓRICO..... | 5 |
| 4.1 POTÊNCIAL POLUIDOR DOS DEJETOS..... | 6 |
| 4.2 DEFINIÇÃO DE BIODIGESTORES..... | 8 |
| 4.2.1 PROCESSO DESCONTÍNUO (BATELADA)..... | 9 |
| 4.2.2 PROCESSO CONTÍNUO (BATELADA)..... | 10 |
| 4.3 HISTÓRICO DOS BIODIGESTORES..... | 11 |
| 4.4 FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA..... | 12 |
| 4.4.1 TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA..... | 15 |
| 4.5 EFLUENTES DA DIGESTÃO ANAERÓBICA..... | 15 |
| 4.6 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS DEJETOS..... | 16 |
| 5. METODOLOGIA..... | 19 |
| 5.1 DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES OBSERVADAS..... | 20 |
| 5.1.1 GRANJA MARUJO..... | 20 |
| 5.1.2 CENTRO DE TREINAMENTO DE PECUARISTAS..... | 22 |
| 5.1.3 CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL OLEGÁRIO MACEDO..... | 24 |
| 5.1.4 FRIGORÍFICO IRMÃOS NUZDA..... | 25 |
| 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS..... | 26 |
| 7. CONCLUSÃO..... | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 30 |

1.INTRODUÇÃO

Existem muitos estudos que mostram a ação nociva de dejetos gerados pela produção agropecuária no meio ambiente, principalmente na água, atmosfera e solo. A criação de animais em sistemas de confinamento e semiconfinamento, muito utilizados na região dos Campos Gerais do Paraná, caracterizam-se pela produção de um grande volume de dejetos que, na maioria das propriedades rurais, não têm recebido o tratamento adequado para a estabilização da matéria orgânica e redução do seu potencial poluidor. (TEIXEIRA, 1985)

Biodigestores têm se mostrado uma opção cada vez mais popular nas propriedades rurais para resolver seus problemas de gerenciamento do estrume. As bactérias existentes no esterco ou outros materiais de origem orgânica promovem a degradação desses resíduos, produzindo metano, dióxido de carbono e outros gases traços. Essa mistura de gases é denominada biogás que, devido ao seu elevado poder de combustão, pode ser utilizado como fonte calorífica para usos diversos na propriedade rural: cozimento, aquecimento de pisos e campânulas, secagem de grãos, entre outras aplicações. (ASSIS 2008)

Além do aproveitamento do biogás, os efluentes resultantes da degradação da matéria orgânica, servem como rico fertilizante, que pode proporcionar economia na aquisição de fertilizantes comerciais. Dessa forma, os resíduos da produção animal deixam de ser um problema para o produtor para ser uma alternativa de preservação ambiental e geração de renda.

Quando pensamos em Biogás devemos lembrar que estamos vivendo num planeta que está pedindo socorro, pois a poluição ambiental é um grande problema que deve ser tratado por toda a sociedade, então devemos começar na escola trabalhando com os alunos, procurando mostrar as diferentes alternativas na geração de energia contribuindo com o meio ambiente que, então surgiu a ideia de trabalhar com Biogás contribuindo com o meio ambiente e gerando energia. A importância da utilização de biodigestores, por ser uma tecnologia limpa e barata, vem de encontro a essa necessidade, trazendo benefícios em forma de biogás e fertilizantes. Apesar de ser extremamente debatida, criticada e comentada, a consciência ambiental ainda está longe de ser uma realidade na mentalidade da sociedade, sendo, portanto necessário que o conhecimento sobre os danos possíveis ao meio ambiente e conseqüentemente a todos nós, seja apresentado na prática e disponibilizado, para que a população não apenas reconheça os malefícios do destrato com o meio ambiente, mas também possua conhecimentos instrumentos para minimizá-lo.

Um dos objetivos do estudo foi determinar os impactos da instalação de biodigestores nas propriedades rurais do município de Castro-PR. Para isso, foram realizadas visitas a essas propriedades e aplicado questionário aos proprietários para verificar como funcionam seus biodigestores, os problemas, desempenho, aplicações e influência que ocasionaram no consumo de gás liquefeito de petróleo.

Diante da elevada produção de dejetos gerados na produção animal, cabe a pergunta: os biodigestores contribuem significativamente para diminuir a poluição ambiental, geração de energia e melhora da fertilidade dos solos nas propriedades rurais estudadas no município de Castro-PR?

Para procurar responder ao problema levantado, serão formuladas as seguintes hipóteses:

- a) O biogás será uma fonte de energia alternativa que será trabalhado no Ensino Médio quando trabalhado Fontes de Energia. Sendo uma fonte de energia pouco conhecida precisamos conscientizar os alunos das diversas fontes alternativas;
- b) Os biodigestores são eficientes mecanismos para a diminuição do efeito dos dejetos animais;
- c) O uso de biodigestores pode contribuir para uma menor poluição ambiental.

2. JUSTIFICATIVA

O município de Castro-PR possui intensa atividade agropecuária, em que se destacam as criações de suínos, aves e bovinos de leite em sistemas de confinamento e semiconfinamento. Esses sistemas de criação são geradores de elevada produção de dejetos que comumente são aplicados *in natura* nas lavouras ou simplesmente colocados em um local qualquer da propriedade, como forma de desfazer-se desses resíduos, não levando, portanto, em consideração os malefícios que a adoção continuada dessas práticas causa ao meio ambiente, uma vez que quando aplicados na natureza, possuem potencial altamente poluente do solo, fontes hídricas e atmosfera.

Tendo em vista a aplicação discriminada desses dejetos na natureza, muitos agricultores têm sido penalizados por severas multas emitidas pelos órgãos de fiscalização ambiental. A implantação de biodigestores constitui-se uma alternativa para a destinação racional dos resíduos, diminuindo seu potencial poluidor, reduzindo sua patogenicidade e adequando a propriedade rural às exigências da legislação ambiental.

Este trabalho pretende fazer um estudo da utilização de biodigestores em propriedades rurais desse município, como forma de se dar uma utilização adequada aos dejetos da criação animal com vistas à mitigação desses impactos ambientais, aproveitamento de biogás para a geração de energia e de biofertilizante para a adubação das áreas de agricultura.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Verificar os resultados obtidos através do uso de biodigestores como alternativas de preservação ambiental, geração de energia e economia de insumos agrícolas em propriedades rurais do município de Castro, Paraná.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados de propriedades rurais que se utilizam da tecnologia de biodigestores;
- Avaliar os resultados obtidos na produção de biogás;
- Avaliar os resultados obtidos na produção de biofertilizante.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

A crise energética e a poluição ambiental geram problemas cruciais que têm afetado sobremaneira a sociedade contemporânea. De acordo com o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2010), a lenha participou na matriz energética brasileira em 2009 com 24,6 milhões de tep – toneladas equivalentes a petróleo, o que corresponde a 31,6% da participação da biomassa e 10,1% do total da matriz. Aponta, ainda, que a participação do petróleo e seus derivados na matriz energética foi de 37,9%. Depreende-se daí que existe uma grande dependência de uma fonte “suja” de energia e que existe uma elevada pressão sobre os recursos naturais, o que certamente contribuiu para o desmatamento e extinção de espécies nativas da flora nacional. Existe necessidade premente de substituir as fontes fósseis e a lenha por novas tecnologias “limpas” para a produção de energia a partir da biomassa.

Nas duas últimas décadas houve uma crescente conscientização quanto a escassez dos recursos naturais e da necessidade de se adotar novas posturas no trato com a natureza. A sociedade não mais admite a produção de bens de consumo a qualquer preço. Tornou-se imperativo produzir de modo sustentável, impactando o menos possível o meio ambiente. Nesse contexto, também se insere a atividade agropecuária. Há uma forte pressão do mercado consumidor para que o meio rural adote sistemas de produção que agridam o mínimo possível à natureza, não desrespeitem os direitos básicos dos trabalhadores e não explorem o trabalho infantil.

Existem várias alternativas para o tratamento dos dejetos gerados na atividade agropecuária, dentre as quais destacam-se os biodigestores. Para TEIXEIRA (1985), os biodigestores são formas alternativas de resolver o problema energético e de poluição ambiental.

ASSIS (2006), afirma que os biodigestores reduzem e estabilizam o material orgânico, removem os poluentes e as substâncias patogênicas, gerando biogás para a geração de energia.

4.1. POTENCIAL POLUIDOR DOS DEJETOS

Qualquer que seja o sistema de produção animal adotado pela propriedade rural, a geração de esterco é característica intrínseca da atividade. A concentração de nutrientes nele existe é variável, em função do manejo adotado e da dieta alimentar fornecida; porém, em geral é elevada. Em função disso, quando aplicados continuamente sobre o solo, aumentam de forma exacerba a concentração desses nutrientes, que posteriormente são lixiviados para o lençol freático ou escorrem superficialmente, carreando materiais poluentes para os rios.

Os resíduos orgânicos efluentes da produção, se dispostos na natureza em seu estado bruto, especialmente nas águas, produzem significativos impactos ambientais ao liberarem grandes quantidades de cargas carbonáceas (ITAIPU BINACIONAL/FAO, 2009).

É comum em propriedades rurais que possuem simultaneamente agricultura e pecuária como atividades econômicas, a aplicação contínua dos dejetos no solo como fonte de suprimento de nutrientes para as culturas. Porém, essa prática pode ocasionar a poluição do ambiente, tendo em vista que as plantas nem sempre conseguem absorver todos os nutrientes presentes nesses dejetos, o que leva ao acúmulo dos mesmos no solo.

Segundo ENSMINGER *et al.* (1990), ao considerarem uma base de 450 Kg de peso vivo, as criações animais, produzem as seguintes quantidades médias anuais de esterco: bovinos de corte, 8,5 t; bovinos de leite, 12 t; ovinos, 6 t; suínos, 16 t; equinos, 8 t; frango, 4,5 t.

Essas grandes quantidades potencializam seu poder poluidor quando os sistemas de produção adotados forem intensivos ou semi-intensivos, em função da concentração espacial dos dejetos gerados pela criação (esterco + restos de alimentos + urina + água de limpeza). Se não forem devidamente tratados, esses dejetos invariavelmente contaminarão mananciais de água, solo e ar.

Corroborando essa afirmação, CRUZ *et al.* (2006), argumenta que ao confinar animais, concentrando-os em pequenas áreas, o produtor consegue atingir um índice de produtividade maior. Entretanto, sem um manejo adequado, provoca impactos ambientais visíveis, despejando diretamente no ambiente dejetos compostos por uma mistura de água, fezes, urina e restos de ração, os quais se transformam em fontes altamente poluidoras ao meio ambiente.

Ao serem lançados diretamente no meio ambiente, sem sofrer um tratamento prévio, esses dejetos irão contaminar o solo, atingir águas subterrâneas e propiciar a formação de elevadas concentrações de nitrato, que é um composto cancerígeno. Concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo também podem levar à eutrofização dos corpos d'água superficiais, alterando a composição biótica dos mesmos.

Para OLIVEIRA *et al.* (2003), além da poluição hídrica e do solo, deve-se também considerar a emissão dos gases gerados pelos sistemas de tratamento adotados. Os principais gases emitidos pelos sistemas de criação e tratamento dos

dejetos são dióxido de carbono, metano e os gases nitrogenados como a amônia, óxido nítrico e nitrogênio.

Além de ocasionarem mau cheiro, esses gases diminuem o conforto e a saúde dos trabalhadores, bem como contribuem significativamente para o agravamento do aquecimento global, uma vez que são componentes dos chamados gases do efeito estufa.

De acordo com o PROSAB (2003), os dejetos de animais apresentam uma contribuição significativa na emissão de metano na atmosfera (figura 1).

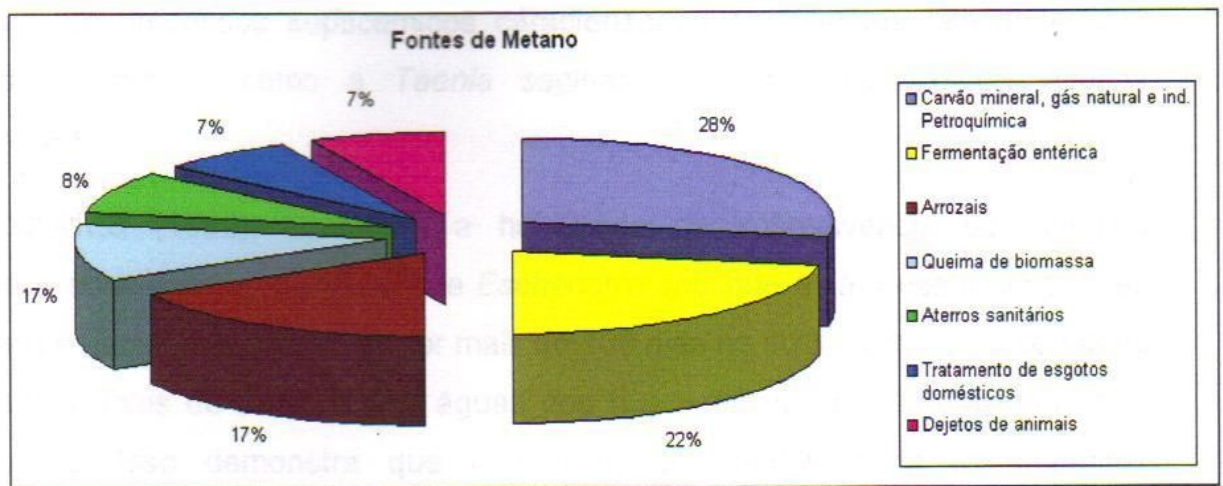


Figura 1. Distribuição global das fontes de metano.

Fonte: PROSAB (2003)

Segundo o IPCC (2001), o metano possui potencial de aquecimento global vinte e uma vezes maior que o do dióxido de carbono, gás a ser emitido como resultado da queima dos resíduos. As lagoas de estabilização da matéria orgânica. Embora reduzam significativamente o potencial poluidor do solo e dos mananciais de água, produzem metano, pela fermentação anaeróbica ocorrida em seu interior, que é liberado para a atmosfera em forma de bolhas.

Além dos aspectos relacionados à contaminação química do meio ambiente, os dejetos da produção agropecuária podem ser portadores de diversos agentes patogênicos. Os dejetos de bovinos, bastante utilizados na adubação de lavouras e pastagens em seu estado natural, sem nenhum tratamento prévio, possibilitam a continuidade do ciclo biológico de patógenos como a *Escherichia coli* e de diversos nematódeos gastrintestinais.

Corroborando essa afirmação, JORGE (2004), aponta que os resíduos agrícolas, humanos e industriais possuem um grande número de bactérias, vírus, vermes e fungos, sendo muitos deles patogênicos. Quando lançados *in natura* sobre o solo ou nos cursos d'água, provocam sérios riscos de transferência de patógenos

para seres humanos, animais e vegetais, como é o caso das *Salmonellas*, bactérias causadoras de toxinfecções alimentares; *Cryptosporidium*, causador de infecção geralmente associada a diarreias em indivíduos jovens e gastroenterites graves em pessoas imunodeficientes; *Listeria monocytogenes*, que provoca desde doenças cutâneas até processos septicêmicos caracterizados por elevada letalidade; dos ovos de helmintos, como a *Taenia saginata*, *Taenia solium* e de *Ascaris lumbricoides*.

JONES (1999) confirmou a habilidade de sobrevivência de diversos patógenos no ambiente. Verificou que *Escherichia coli*, que está resente nas fezes de suínos e vacas, pode persistir por mais de 100 dias no solo, acima de 3 semanas nas plantas, mais de 90 dias nas águas dos rios e acima de 300 dias em água engarrafada. Isso demonstra que o manejo de dejetos pode ter impactos significativos na saúde humana.

Portanto, quando aplicados ao solo em seu estado natural, sem sofrer um processo de estabilização, os dejetos em sistemas de estabilização da matéria orgânica propicia a degradação parcial desta, reduzindo sua pressão poluidora sobre o meio ambiente. Dessa forma, os sistemas de tratamento anaeróbicos, apresentam-se como alternativa para minimizar a poluição e os impactos ambientais, uma vez que agregam valor aos efluentes do ponto de vista energético e como fertilizantes.

Para NOGUEIRA (1986), é praticamente impossível a sobrevivência de patógenos no efluente do biodigestor, sejam bactérias, vírus ou ovos e cisto de protozoários e vermes, em decorrência da ausência de oxigênio, e ao valor elevado de pH, que é ácido, em torno de 6, na fase inicial da fermentação. Dessa forma, os biodigestores constituem-se um instrumento de sanitização dentro da propriedade rural.

A biodigestão anaeróbica representa, portanto, uma alternativa para o tratamento de dejetos produzidos na criação animal, reduzindo ao mínimo os riscos sanitários dos mesmos.

4.2. DEFINIÇÃO DE BIODIGESTOR

Biodigestores são equipamentos herméticos e impermeáveis dentro dos quais se deposita material orgânico para fermentar por um determinado tempo de retenção, no qual ocorre um processo bioquímico denominado biodigestão anaeróbica, que tem como resultado a formação de biofertilizante e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono (MAGALHÃES, 1986).

O biodigestor é constituído por um reservatório que armazena a biomassa por um determinado tempo em dias e por uma câmara (gasômetro) que armazena o biogás.

O biogás fica retido na parte livre do biodigestor, nesse caso transformada em gasômetro, ou pode ir para um acumulador. Em seguida, pode ser canalizado para ser utilizado em aplicações diversas, como processos de aquecimento e resfriamento e na geração de energia elétrica.

Durante a fermentação a concentração das substâncias orgânicas é reduzida em 30 a 50%. Possuem três fases de fermentação: acidogênica, acetogênica e metanogênica.

Por si próprio o biodigestor não produz biogás, mas cria o ambiente propício para que as bactérias metanogênicas ataquem a matéria orgânica e produzam esse combustível. Esse ambiente favorável à produção do biogás diz respeito às condições químicas e físicas necessárias ao desenvolvimento dessas bactérias. Dentro de certas faixas de temperatura, pH e relação C/N da biomassa ocorrem em condições satisfatórias para o aumento da população de bactérias diminuir e, conseqüentemente, para a produção de biogás.

De acordo com LYNCH (1998), o uso de biodigestores destaca-se por diversos aspectos: saneamento, produção de energia (biogás), economia e estímulo à reciclagem orgânica de nutrientes.

Quanto à forma de carregamento dos biodigestores podem ser classificados em descontínuos (batelada) e contínuos.

4.2.1. PROCESSO DESCONTÍNUO (BATELADA)

É um modelo mais simples, utilizado para pequenas produções de gás. Recebe um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período adequado à digestão de todo o lote. Pode ser construído em alvenaria, metal ou fibra de vidro, o qual é carregado, fechado e após 15 a 20 dias de fermentação começa a produzir biogás. Depois de utilizado todo o gás, o biodigestor é aberto, descarregado, limpo e novamente recarregado, para reiniciar o processo. Recomenda-se ter duas unidades. Quando uma começa a produzir biogás, o outro é carregado e quando acaba o biogás de um o outro começa a produzir (SALOMON & FILHO, 2007).

4.2.2. PROCESSO CONTÍNUO (BATELADA)

São construídos de forma que possam ser abastecidos diariamente, permitindo que cada entrada de material orgânico a ser fermentado exista uma saída de material já fermentado. Os modelos mais conhecidos de biodigestores contínuos são o indiano e o chinês. É constituído de um tanque de fermentação da biomassa e de uma câmara de armazenamento de gás, além de uma entrada para carregamento e saída dos efluentes (Figura 2). O cano de saída determina o nível da mistura líquida dentro do biodigestor (água + dejetos). A quantidade de material adicionado na entrada corresponde à quantidade de material deslocado pelo tubo de saída. Em função dessa dinâmica, pode-se calcular o tempo de retenção hidráulica do material orgânico dentro do biodigestor. É um sistema natural que aproveita a digestão anaeróbica (na ausência de oxigênio) das bactérias que já habitam o esterco para transforma-lo em biogás e biofertilizante, reduzindo a carga orgânica bruta dos dejetos.

São muitos os modelos de biodigestores, podendo ser construídos por diferentes tipos de materiais, que dependem do tipo de aplicação pretendida, do nível tecnológico e da disponibilidade financeira do pecuarista.

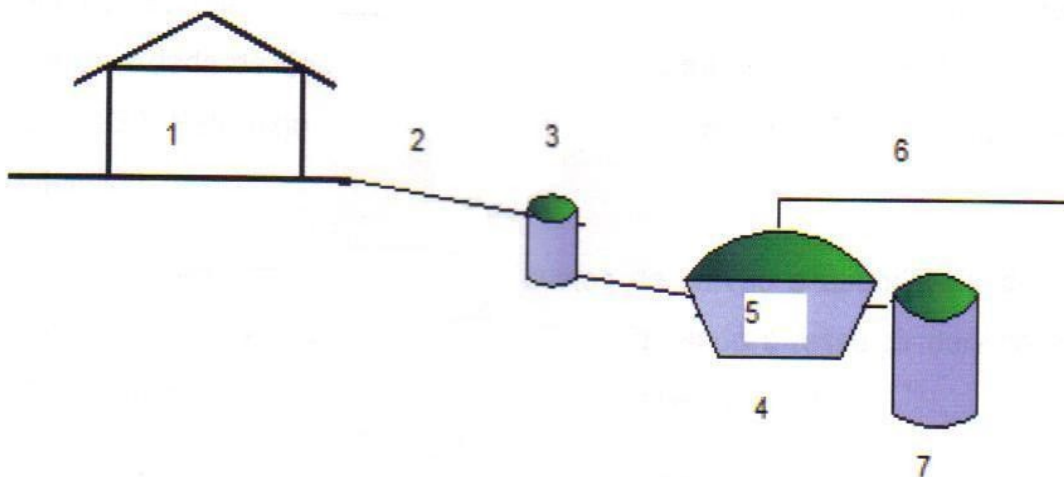


Figura 2. Componentes básicos de um biodigestor, compreendendo os seguintes elementos: 1 – local de coleta dos dejetos; 2 – tubulação para carregar os dejetos; 3 – reservatório para carregamento; 4 – biodigestor; 5 – depósito para acondicionar os dejetos; 6 – tubulação de saída do biogás; 7 – caixa para acondicionar o biofertilizante.

Fonte: Winrock International Brasil (2008), adaptado pelos autores.

4.3. HISTÓRICO DOS BIODIGESTORES

O homem tem-se beneficiado da digestão anaeróbica há centenas de anos e existem evidências de que os antigos egípcios utilizavam biogás gerado a partir do esgoto para obter iluminação (EATON, 2009 *apud* NIIR, 1990). Segundo HENRIQUES (2004), o biogás era utilizado para aquecer a água de banho na Assíria durante o século X a.C. e na Pérsia durante o século XVI. No século XVII, Jan Baptista Van Helmont estabeleceu que gases inflamáveis estavam envolvidos na degradação da matéria orgânica.

De acordo com GASPAR (2003), em 1776 Alessandro Volta, pesquisador italiano, descobriu que o gás metano já existia incorporado ao “gás dos pântanos”, como resultado da decomposição de vegetais em ambientes confinados.

NOGUEIRA (1986) aponta que em 1806 Humphrey descobriu um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. Afirma ainda, que somente em 1857 em Bombaim, Índia, construiu-se uma unidade de produção de biogás para suprir o gás combustível o hospital de hansenianos. Em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, cujo gás foi utilizado para a iluminação pública. Em 1920, Karl Imhoff, na Alemanha, desenvolveu um tanque biodigestor bastante difundido.

Porém devido aos baixos custos do carvão e abundância do petróleo, a utilização do gás metano sofreu uma queda, vindo a ressurgir durante a Segunda Guerra Mundial, sofrendo nova queda após o seu término.

Segundo NOGUEIRA (1986), em 1950 criou-se na Índia Gobar Gas Institute, que deu continuidade às pesquisas com biogás, o que proporcionou um grande desenvolvimento tecnológico e permitiu a construção de quase meio milhão de biodigestores no interior daquele país.

A partir de 1958, a China passou a adotar a tecnologia de biodigestores e até 1972, já tinha instalado 7,2 milhões de unidades na região do Rio Amarelo (GASPAR, 2003).

A crise energética ocorrida entre 1973 e 1979 renovou o interesse no desenvolvimento de sistemas de digestão anaeróbica simples para a produção de metano como uma fonte de energia. A pressa para a implantação de biodigestores para atender a necessidade de energia levou a muitas falhas, tendo em vista que o conhecimento sobre digestão anaeróbica era ainda incipiente (VERMA, 2002).

De acordo com PALHARES (2008), a EMBRATER instalou em novembro de 1979, o primeiro biodigestor modelo chinês na Granja do Torto, em Brasília e ganhou impulso com a crise resultante do segundo choque de preços do petróleo.

Segundo COELHO *et al* (2000), no Brasil os biodigestores tiveram maior desenvolvimento na década de 80, quando houve grande apoio dos ministérios da Agricultura e Minas e Energia. Aproximadamente 8000 unidades foram construídas até 1988, principalmente dos modelos indiano e chinês, além de alguns de plástico. Posteriormente, em virtude da ausência de financiamento para a construção de biodigestores e da expansão da eletrificação rural subsidiada houve um decréscimo

na utilização dessa tecnologia. Esse decréscimo se deve também ao mau funcionamento de muitos biodigestores, ocorrido devido a erros construtivos, de operação e manutenção.

Atualmente, corrigindo os erros cometidos no passado, está se retomando lentamente essa tecnologia.

Em 2007 a Itaipu Binacional e Copel iniciaram experiências com o objetivo de viabilizar a compra de energia elétrica por geração distribuída, oriunda do Biogás produzido por tratamento da biomassa residual de criatórios, especialmente de suínos, no estado do Paraná, redundando, em 2009, na compra de energia de quatro empresas fornecedoras (ITAIPU BINACIONAL/FAO, 2009).

4.4. FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

O fenômeno da biodigestão ocorre porque existe um grupo de micro-organismos bacterianos anaeróbicos presentes na matéria fecal que, ao atuar sobre os dejetos orgânicos de origem vegetal e animal, produzem uma mistura de gases com alto conteúdo de metano (CH_4) chamado biogás, extremamente eficiente quando empregado como combustível. Como resultado desse processo gera resíduos com alto grau de concentração de nutrientes e matéria orgânica (eficientes fertilizantes) que podem ser aplicados frescos, pois o tratamento anaeróbico elimina o mau cheiro e a ploriferação de moscas.

De acordo com HERRERO (2008), o esterco fresco contém bactérias que continuam digerindo-o e produzem metano, dióxido de carbono e outros gases. Se essa digestão ocorre na ausência do ar (digestão anaeróbica) se produz biogás, que é um dos objetivos do biodigestor. Na verdade, ocorre uma produção em cadeia de diferentes tipos de bactérias. Umas, inicialmente, fazem uma hidrose do esterco, gerando ácidos orgânicos. Outros tipos de bactérias digerem esses ácidos orgânicos, através de uma desidrogenação e acetogênese, dando como resultado ácido acético para transforma-lo em metano, que é o gás mais importante do biogás e que permite combustão (figura 3).

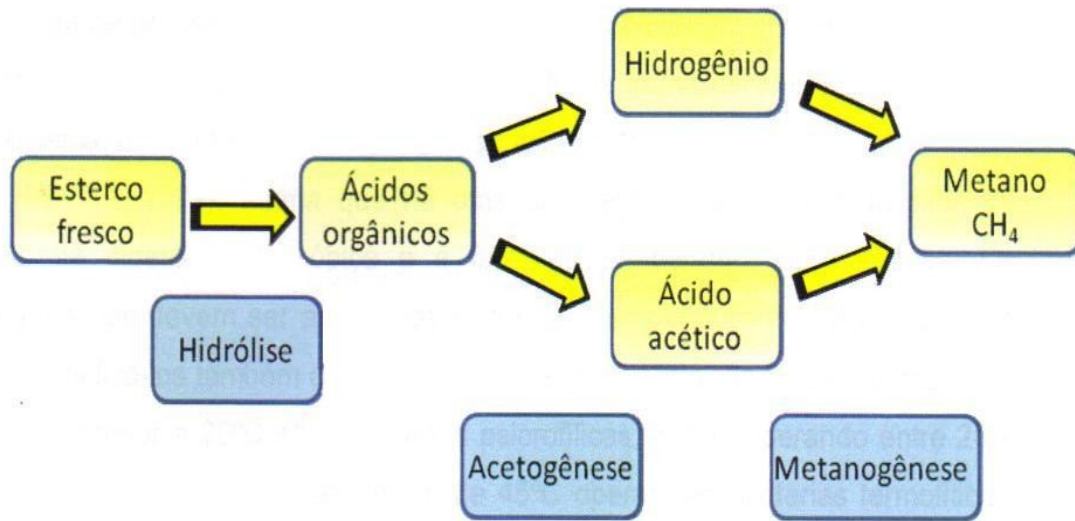


Figura 3. Processo biológico que ocorre dentro de um biodigestor.

Fonte: Herrero (2008, adaptado).

Quadro 1: Apresenta a concentração média do biogás

| Gás | Símbolo | Concentração do biogás (%) |
|--------------------|------------------|----------------------------|
| Metano | CH ₄ | 60-70 |
| Dióxido de carbono | CO ₂ | 30-40 |
| Hidrogênio | H ₂ | 0-1 |
| Nitrogênio | N ₂ | 0-3 |
| Oxigênio | O ₂ | 0-1 |
| Acido sulfídrico | H ₂ S | 0-1 |

Fonte: Silva (1998, adaptado).

Fatores ambientais como pH, Temperatura, concentração de nutrientes e relação carbono/nitrogênio são extremamente importantes na digestão anaeróbica. O pH ótimo para o processo anaeróbico, segundo SOUZA (1984), situa-se entre 6,8 e 7,2. Segundo estudos da digestão anaeróbica feitos por VISWANATH *et al.* (1994), a relação carbono/nitrogênio ótima para a produção de biogás é de 20 a 30:1. Para PICANÇO (2004), se essa relação for bem maior que a estabelecida, o nitrogênio será rapidamente consumido pelos micro-organismos metanogênicos para suprir a necessidade de proteína, resultando em baixa produção de biogás. Se a relação for

pequena, o nitrogênio será liberado e acumulado na forma de amônia, elevando o pH do sistema, inibindo os micro-organismos metanogênicos.

PINTO (1999), afirma que há uma correlação entre a produtividade do processo de digestão anaeróbica e a faixa de temperatura de operação. Os micro-organismos devem ser adaptados a faixa de temperatura de trabalho, o que permite classificá-los também com relação a este parâmetro. As bactérias operando numa faixa inferior a 20 °C são chamadas psicofílicas; outras operando entre 20 e 45 °C são chamadas mesofílicas; acima de 45 °C operam as bactérias termofílicas. Abaixo de 10 °C o processo é, em geral, interrompido, sendo que a produção de gás aumenta com a elevação da temperatura.

Essas influências ambientais sinalizam ao produtor rural para determinadas medidas de manejo que deve adotar na propriedade para otimizar a produção de biogás.

4.4.1. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA (TRH)

É o tempo necessário para que ocorra a digestão anaeróbica da biomassa. Varia em função da temperatura ambiente; em temperaturas mais elevadas, a fermentação é mais rápida. O tempo de retenção hidráulica é calculado pela relação entre o volume de mistura líquida do biodigestor e a carga diária. Assim, havendo um volume líquido total de X litros e uma entrada de Y litros por dia, o tempo de retenção hidráulica (TRH, em dias) é dado por X/Y . Por exemplo, se o volume da mistura líquida do biodigestor for de 3000 litros, e a carga diária for de 100 litros, o tempo de retenção hidráulica será de 30 dias.

Durante esse tempo de retenção, ocorre a degradação do material orgânico e produção de biogás. Esse biogás é armazenado no interior do biodigestor, capturado por um orifício de saída no topo e conduzido, através da tubulação, para o local de consumo.

O biodigestor deve ser alimentado diariamente. Há autores que defendem que sejam abastecidos duas vezes por dia.

4.5. EFLUENTES DA DIGESTÃO ANAERÓBICA

A digestão anaeróbica, além de gerar biogás, produz um efluente rico em nutrientes orgânicos e inorgânicos, denominado biofertilizante. Sua concentração em nutrientes depende da dieta alimentar dos animais que produziram o resíduo fecal. Constitui-se um excelente adubo para a recuperação dos solos degradados e para a manutenção da fertilidade.

O biofertilizante, inicialmente considerado um produto secundário, atualmente é tratado com a mesma importância, ou maior, que o biogás, uma vez que provê a propriedade rural de um fertilizante natural que aumenta significativamente o rendimento das colheitas.

De acordo com NOGUEIRA (1986), como possui pH em torno de 7,5 e 8,5, funciona como corretivo da acidez e dificulta a proliferação de fungos patogênicos.

Esses resíduos orgânicos contêm elementos químicos que, ao serem adicionado ao solo, podem fornecer nutrientes para o desenvolvimento de plantas. Tais nutrientes, após sua mineralização no solo, têm as mesmas funções nas plantas que as dos fertilizantes minerais (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 1995; BRANDJES *et al.*, 1996). Dessa forma, apresentam a mesma importância do biogás, uma vez que quando aplicados no solo possibilitam economia na adubação para produção agrícola.

As vantagens de sua aplicação no solo são: economia na aquisição de adubos industrializados; melhora a estrutura do solo; aumenta a retenção de água; aumenta a estabilidade de agregados; reduz a erosão; aumenta a atividade biológica; é isento de organismos patogênicos e de sementes de plantas invasoras (eliminados no processo de digestão anaeróbica); diminui danos ao meio ambiente, pois apresenta menor potencial poluente que o esterco *in natura* e é isento de mau cheiro, não atraindo moscas e outros insetos.

MEDEIROS & LOPES (2006), destacam o efeito do biofertilizante no controle de pragas e doenças de plantas e sua ação fungistática, bacteriostática e como repelente de insetos.

4.6. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS DEJETOS

A biomassa residual das atividades agropecuárias constitui uma vasta reserva energética de que o Brasil dispõe, mas que está inerte, espalhadas pelos campos do país, esperando para ser usada. Seu aproveitamento sinaliza para novas oportunidades de geração de emprego e renda, e da promoção do desenvolvimento com sustentabilidade (ITAIPU BINACIONAL/FAO, 2009).

O biogás é uma mistura de gases produzida através da fermentação da biomassa, cujo constituinte energético é o metano. Este é o gás combustível do biogás e pode ser produzido por fontes naturais e antropogênicas. Podem ser citadas como fontes controladas ou influenciadas pelo homem a cultura do arroz inundado, a fermentação entérica de bovinos e o manejo de dejetos da agropecuária. Origina-se da biodigestão anaeróbica e é considerado como uma fonte de energia renovável, apresentando vantagens ambientais, sanitárias, sociais e econômicas. Constitui-se, assim, uma solução ambientalmente segura para os problemas oriundos das grandes quantidades de dejetos gerados pela atividade agropecuária no meio rural.

SOLANO *et al.* (2010), afirmam que a produção de biogás é um processo natural que ocorre de forma espontânea em um ambiente anaeróbico como parte do ciclo da matéria orgânica. O biogás pode ser empregado como combustível em cozinha, calefação, refrigeração, iluminação e em grandes instalações podem ser utilizados para alimentar um motor para gerar eletricidade.

Corroborando essa afirmação, PINTO (1999), argumenta que o biogás pode ser utilizado nas aplicações termodinâmicas: geração de frio, calor e potência. Ele pode ser usado diretamente em equipamentos estacionários como fogões, lampiões, campânulas para aquecimento, conjuntos motobomba e conjuntos geradores, entre outros.

De acordo com JORGE (2004), pode-se produzir um metro cúbico (1,0 m³) de biogás com os seguintes ingredientes:

- 25 Kg de esterco fresco de vaca;
- 5 Kg de esterco seco de galinha;
- 12 Kg de esterco de porco;
- 25 Kg de plantas ou casca de cereais;
- 20 Kg de ligo orgânico doméstico ou agrícola.

Conforme BARNETT *et al.* (1978), a queima de 1m(1978), a queima de 1 m³ de biogás gera entre 5.200 e 5.900 kcal de energia térmica e, segundo o TECPAR (2002), o biogás altamente purificado pode alcançar 12.000 kcal por metro cúbico.

BARRERA (1993), compara o poder calorífico de 1 m³ de biogás ao dos seguintes produtos:

- 0,61 litro de gasolina;
- 0,58 litro de querosene;
- 0,55 litro de diesel;
- 0,45 litro de gás de cozinha;
- 1,53 quilo de lenha;
- 0,79 litro de álcool hidratado;
- 1,43 kW.

A tabela 2 mostra o consumo de biogás em algumas atividades (CETEC, 1982).

Quadro 2. Consumo de biogás em diferentes atividades.

| Utilização | Consumo |
|--------------------------------|---|
| Cozimento | 0,33 m ³ /dia/pessoa |
| Iluminação com lâmpião | 0,12 m ³ /hora/lâmpião |
| Chuveiro | 0,8 m ³ /banho |
| Incubador | 0,71 m ³ / m ³ de espaço interno/hora |
| Motor de combustão interna | 0,45 m ³ /HP/hora |
| Aquecedor de água a 100 °C | 0,08 m ³ /litro |
| Geração de eletricidade (1kWh) | 0,62 m ³ |

Fonte: CETEC (1982)

5. METODOLOGIA

Procedeu-se a uma intensa pesquisa bibliográfica com o intuito de se verificar o estado atual de utilização da tecnologia da biodigestão anaeróbica, tanto em nível nacional, como mundial.

A pesquisa se estendeu pelo período de 03 de agosto a 31 de outubro de 2010 e revelou a existência de muitos casos de sucesso na utilização de biodigestores em áreas urbanas e rurais de diversas regiões no mundo, sinalizando que esta é uma tecnologia que, quando bem aplicada, apresenta viabilidade técnica e econômica. Constitui-se, portanto, uma alternativa para a produção de energia e biofertilizante, bem como para a sanitização de pequenas, médias e grandes propriedades rurais, além de propiciar a mitigação de efeitos ambientais diversos.

Posteriormente, precedeu-se contato com os proprietários de quatro propriedades rurais e de uma agroindústria do município de Castro, PR, para verificar as condições de funcionamento de seus biodigestores: Granja Marujo; Chácara do Ulisses; Centro de Treinamento Pecuarista; CEEP Olegário Macedo e Frigorífico Irmãos Nuzda Ltda.

A primeira propriedade utiliza como resíduos para abastecer o biodigestor dejetos suínos; as duas seguintes, dejetos de vaca leiteira e a última, resíduos da fábrica de embutidos.

Pesquisa elaborada a partir de aulas de campo, com alunos do 1º ano do Ensino Médio, visitando as propriedades destacadas neste trabalho segundo as fotos apresentadas.

5.1. DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES OBSERVADAS

5.1.1. GRANJA MARUJO

A Granja Marujo localiza-se a 10 km da cidade de Castro e tem como atividades principais a suinocultura, produção de grãos, comercialização de fardos de feno e silagem pré-secada, a produção de champignon, bem como a prestação de serviços de classificação e secagem de feijão para terceiros.

A propriedade cota com área total de 750 ha. No verão, 300 ha são cultivados com milho, 300 ha de soja e os 150 ha restantes com feijão. No inverno, a propriedade cultiva 100 ha de trigo, 350 ha de azevém (para fazer silagem pré-secada e comercializar fardos) e 300 ha de aveia. Além da superfície destinada a produção agrícola, a propriedade conta com uma suinocultura com 850 matrizes.

A produção de efluentes na Granja Marujo é de aproximadamente de 35.000 litros por dia. Essa produção é gerada por cerca de 3000 animais: 850 matrizes e 2.000 a 2.200 animais em cria, recria e engordam.

Os dejetos obtidos da criação de suínos descem por gravidade das instalações de maternidade e recria para um tanque de armazenamento com agitador e, posteriormente, são canalizadas para o biodigestor principal (Figura 4) para a produção de biogás. Esse biodigestor é construído com uma canaleta lateral de alvenaria que mantém uma lamina d'água de 15 cm. Seu fundo é impermeabilizado com uma manta plástica de 3 mm e sobre esta há outra manta plástica que funciona como gasômetro. Dentro do biodigestor, na parte inferior, há um sistema de tubulações, com um cano principal e canos secundários, em forma de turbulência desta e evitar a formação de crostas. Essa injeção de biogás é feita uma vez por dia.

Para a redução de odores no biogás, há injeção de ar, através de três pequenos motores de aquário. Existe também uma válvula de segurança para evitar que uma possível sobrecarga do biodigestor venha a exercer elevada pressão na lona e ocasionar rompimento desta. Essa válvula de segurança consiste em uma mangueira flexível com uma extremidade ligada ao biodigestor e a outra imersa a profundidade de 1 cm em uma lâmina d'água.

Além do biodigestor principal, existe um biodigestor secundário, que reprocessa o efluente do primeiro e produz ainda uma quantidade considerável de biogás. O efluente deste último é praticamente desprovido de odores e é armazenado em uma lagoa coberta com lona plástica para evitar a entrada da água da chuva.

O biogás retido no gasômetro dos biodigestores é pressurizado até um coletor com capacidade para 4000 litros a uma pressão de 120libras. Desse coletor, é recalcado para as unidades onde será utilizado. O biogás é utilizado no aquecimento de água e movimenta uma turbina para geração de energia elétrica. A água

aquecida provê o aquecimento do piso na unidade de criação de leitões, ao circular sob os mesmos. As dezoito residências existentes na propriedade são supridas de biogás para o cozimento e aquecimento dos chuveiros.

O biogás é utilizado, ainda, na secagem de grãos e sementes, o que constitui uma das principais atividades econômicas da propriedade.

Assim, o biogás gerado através dos dejetos na suinocultura substitui integralmente o gás liquefeito de petróleo e possibilita a geração de mais da metade da energia elétrica consumida na propriedade. A energia elétrica produzida proporciona uma economia mensal de R\$5.000,00.

O biofertilizante é utilizado nas áreas de lavoura e forrageiras e proporciona uma grande economia na aquisição de fertilizantes, valores estes estimados em R\$200.000,00 por ano. Atualmente é a única forma de adubação utilizada nas lavouras e tem proporcionado elevadas produtividades. Parte do biofertilizante é destinado à produção de compostos para a cultura do cogumelo, comercializado em todo o país.

O biodigestor apresenta as seguintes dimensões: comprimento 50 m; largura 10 m; profundidade 3 m. Essas dimensões conferem a capacidade de conter 1500 m³ de biomassa e gerar 2500m³ de biogás por dia.



Figura 4. Vista do biodigestor principal da Granja Marujo (à frente), biodigestor secundário (ao fundo) e sala de maquinas (ao lado).

5.1.2. CENTRO DE TREINAMENTO DE PECUARISTAS

O Centro de Treinamento Pecuarista – CTP está localizado a 15 quilômetros da cidade de Castro e tem por objetivo a qualificação e requalificação de pequenos e médios produtores rurais de todo o estado do Paraná, através de cursos de curta duração.

A propriedade dispõe de uma área total de 150 ha, onde há produção agrícola e produção pecuária. Nas áreas de agricultura se cultiva 70 hectares com milho, exclusivamente para silagem, e o restante com soja. São destinados para a pecuária 150 hectares no inverno e 80 hectares no verão. Atualmente, na atividade pecuária, a propriedade possui apenas bovinocultura de leite, com total de 500 animais e 220 vacas em lactação, das quais 40 vacas contribuem para o abastecimento do biodigestor.

O biodigestor da propriedade (Figura 5) apresenta as seguintes dimensões: comprimento: 8 m; largura: 4 m e profundidade: 2,5 m. A capacidade do reservatório de biomassa é de 80 m³ e a produção de biogás gira em torno de 8 kg/semana m³.

Os dejetos utilizados para abastecer o biodigestor são coletados na sala de espera da unidade de bovinocultura leiteira e são conduzidos até o mesmo através de tubulação subterrânea, por gravidade.

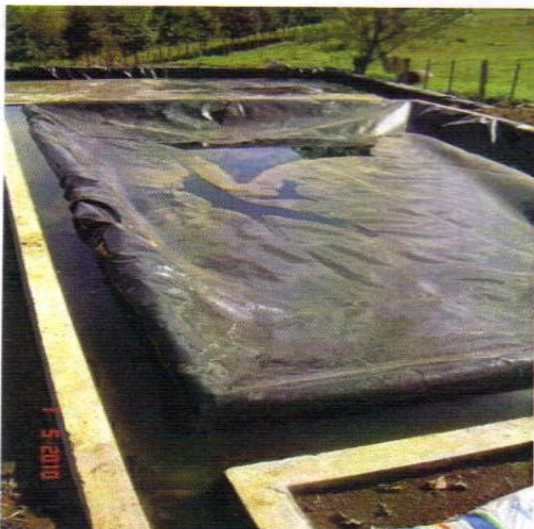


Figura 5. Biodigestor do Centro de Treinamento de Pecuaristas com reservatório de biofertilizante, ao fundo.

As informações prestadas pelo responsável pelo biodigestor atestam que o mesmo apresenta bom funcionamento, com alta produção de biogás na maior parte do ano, com decréscimo nos meses mais frios. Essa produção atende plenamente as necessidades de gás inflamável do Centro, abastecendo o refeitório e demais unidades da propriedade.

O biogás produzido passa por um sistema de filtragem, drenagem, para posterior suprimento de refeitório.

O biofertilizante é acondicionado em uma esterqueira impermeabilizada e utilizada periodicamente nas áreas de pastagem que atendem a pequena unidade de bovinocultura de leite.

5.1.3. CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL OLEGÁRIO MACEDO

O CEEP Olegário Macedo é uma escola agrotécnica estadual de nível médio que dispõe em sua fazenda-escola de uma área total de 513 hectares, nos quais existem 60 hectares cultivados com grãos (soja e milho no verão; trigo e forrageiras para silagem pré-secada, no inverno); 30 hectares com forrageiras para bovinos de leite; 8 hectares com forrageiras para bovinos de corte; 2 hectares para fruticultura; 0,5 hectare para horta e viveiro florestal e 5 hectare com forrageira para ovinos e caprinos. O estante da área é de reserva legal, preservação permanente e construções. Os plantéis apresentam atualmente os seguintes números de animais: bovinos leiteiros, 86; bovinos de corte, 15; suínos, 300; ovinos, 100; caprinos, 30.

O biodigestor faz aproveitamento exclusivamente dos dejetos de vacas holandesas em lactação, que conta atualmente com 40 animais manejados em sistema de semi-confinamento. Os dejetos são coletados em um *free-stall*, colocados em uma canaleta e, posteriormente, conduzidos por gravidade para o biodigestor, através de tubulação subterrânea. O biodigestor é do tipo contínuo, abastecido diariamente com 1760 litros de dejetos (880 kg de esterco e 880 litros de água). A figura 6 mostra as dimensões e a vista do biodigestor da instituição.

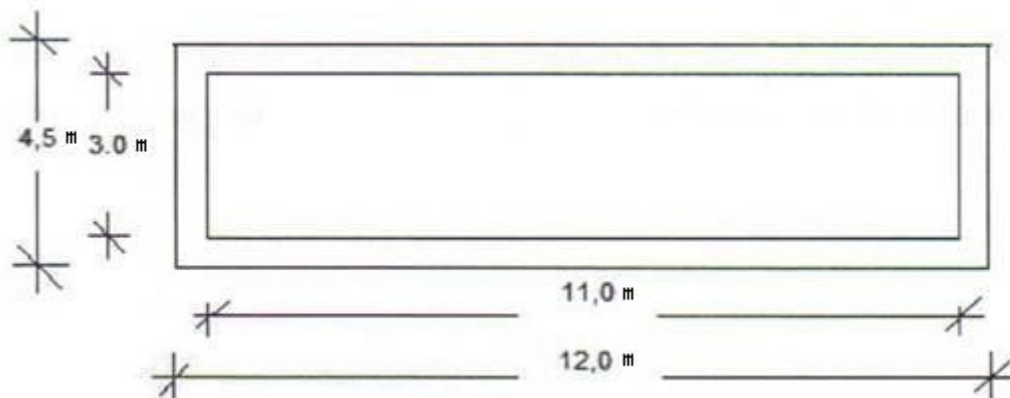


Figura 6. Planta baixa do biodigestor CEEPOM.

Com essas dimensões, e com profundidade de 2,5 m, o tanque digestor tem capacidade para armazenar aproximadamente 108 m³ de dejetos (108.000 litros). O tempo de retenção hidráulica é de 30 dias.

O biodigestor foi construído recentemente e apresenta produção de 40 m³ de biogás e 2 m³ de biofertilizante. Este é armazenado em uma esterqueira impermeabilizada e posteriormente utilizado para fertilizar áreas de agricultura e pastagens.

5.1.4. FRIGORÍFICO IRMÃOS NUZDA

O Frigorífico Irmãos Nuzda, localizado a 3 km do centro da cidade de Castro, trabalha com o abate de suínos e fabricação de embutidos diversos. A comercialização de seus produtos é realizada na própria unidade da agroindústria, em supermercados da cidade e em outros municípios do estado do Paraná.

Apresenta um biodigestor com 36 m de comprimento, 16 m de largura e 6 metros de profundidade, com capacidade de processar 3456 m³ de biomassa (Figura 7). Essa biomassa que abastece o biodigestor é constituída por fezes e sangue provenientes do abatedouro e alcançam o biodigestor por gravidade.

O tempo de retenção adotado é de 30 dias. Os efluentes do biodigestor são fornecidos gratuitamente para uma propriedade rural anexa ao frigorífico para ser utilizado na adubação das lavouras. O biogás produzido é pressurizado através de um compressor e utilizado integralmente, atendendo cerca de 50% da demanda da empresa. O biodigestor apresenta condições de funcionamento bastante satisfatórias, com elevada produção de biogás nas épocas mais quentes do ano e decréscimo nos meses mais frios, mas nunca cessando a produção.



Figura 7. Biodigestor do Frigorífico Irmãos Nuzda.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

A pesquisa bibliográfica realizada aponta a tecnologia da biodigestão anaeróbica como altamente promissora em nosso país, tendo em vista suas dimensões continentais e seu enorme rebanho. Porém, apesar dessas condições privilegiadas, no Brasil essa tecnologia é ainda incipiente. Mostra, ainda, que a mesma é largamente utilizada em alguns países como a China, Índia, Alemanha, Suécia, Costa Rica. Nesses países tem-se conseguido elevado rendimento na produção de biogás, mostrando que é possível, através de uma tecnologia relativamente simples, obter-se energia para o consumo doméstico, em indústrias, na agropecuária e no meio urbano.

Essa eficiência no aproveitamento energético confirmou-se também nas condições analisadas neste trabalho, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Quadro 3. Demonstrativo da produção de biogás e biofertilizante em cinco propriedades do município de Castro, PR. (BARRERA, 1993)

| Propriedade | Produção. diária biogás m ³ | Produção diária biofertilizante m ³ | Economia anual com GLP (R\$) | Economia anual com adubo mineral (R\$) | Contribuição do biogás no suprimento de gás (%) | Participação do biofertilizante na adubação total da propriedade(%) |
|--------------------------|--|--|------------------------------|--|---|---|
| Granja Marujo | 2500 | 50 | 6000,00 | 200.000,00 | 100 | 100 |
| CTP | 40 | | 500,00 | 9.600,00 | 100 | 50 |
| Chácara do São Francisco | 150 | 21 | 300,00 | 6.400,00 | 100 | 100 |
| Embutidos Nuzda | 170 | 20 | 5.000,00 | - | 50 | - |
| CEEPOM | 40 | 3,6 | 500,00 | 4.800,00 | 20 | 50 |

Atendendo aos objetivos específicos de levantar dados de produção de biogás e biofertilizante, pode-se verificar que todas as propriedades apresentam eficiência na formação e utilização desses produtos. Pode-se observar que em todas as propriedades (exceto agroindústria) o biofertilizante representa mais de 50% da adubação da propriedade, sendo que em duas delas, toda a adubação é realizada com esse insumo. Percebe-se também que somente em uma propriedade a demanda de gás não é suprida integralmente pelo biogás produzido, o que se deve ao fato de estar em fase inicial de produção.

A produção de biogás por unidade de esterco produzido pelas diferentes espécies animais corresponde aproximadamente aos valores de referência

observados na pesquisa bibliográfica, ou seja, 0,049 m³ de biogás para cada quilo de esterco de bovinos e 0,07 m³ de biogás para cada quilo de esterco de suínos.

A Granja Marujo, além da economia com fertilizante mineral e gás liquefeito de petróleo, também apresenta uma economia de R\$ 5.000,00 mensais com a energia elétrica produzida por intermédio dos biodigestores.

Considerando os elementos discriminados na Tabela 3, conclui-se que as propriedades observadas apresentam eficiência técnica e econômica com os seus biodigestores, propiciando uma demonstração clara que essa tecnologia é viável na região, apesar das condições climáticas não serem favoráveis no período de inverno. Porém, essa produção é altamente compensada nas épocas mais quentes do ano, que corresponde ao período de setembro a maio.

7. CONCLUSÃO

É flagrante a necessidade de substituição de fontes energéticas como lenha, petróleo e hidráulica por fontes menos caras, limpas e renováveis. As soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Sem dúvida que os biodigestores anaeróbicos são alternativas a serem consideradas.

Faz-se necessário a existência de políticas governamentais de incentivo à adoção de sistemas de tratamento anaeróbicos de dejetos no meio rural e da replicação dos mesmos no meio urbano, a fim de que não se desperdice uma fonte energética abundante em nosso país. Para que isso ocorra, é importante que se crie linhas de financiamento para atender aos interessados e propiciar capacitação aos mesmos, o que irá possibilitar condições para o domínio das técnicas de manejo do equipamento, bem como sua manutenção, para que se obtenha o máximo proveito possível dessa tecnologia. Essas ações de caráter técnico-orientativo, de forma coordenada, voltadas à capacitação e ajustamento de procedimentos irá garantir a consolidação dessa tecnologia no meio rural e, talvez, no meio urbano.

Os biodigestores apresentam boas condições de funcionamento em todo o país e em particular na região Centro-Sul do Paraná, apesar de sofrer queda na produção nos meses mais frios do ano. Sua disseminação como fonte energética levaria à redução do uso da madeira como fonte de combustível e conseqüentemente à redução do desmatamento, melhoria nas condições de manejo dos dejetos e provimento de uma valorosa fonte de energia e fertilizante.

Na atualidade, os biodigestores adquirem um nível tecnológico que os tornam viáveis, uma vez que foram corrigidos os erros de construção e manejo das primeiras unidades implantadas no Brasil. É uma tecnologia apropriada a pequenos, médios e grandes propriedades rurais, o que se pode verificar neste trabalho, apresentando viabilidade técnica, econômica e ambiental, além de proporcionar maior autonomia de energia e na adubação de lavouras e pastagens.

Apresenta como uma alternativa de aproveitamento racional dos dejetos gerados na propriedade rural, bem adaptada às condições climáticas da região Centro-Sul do Paraná, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais das atividades agropecuárias e para melhoria no padrão sanitário do meio rural.

Pelo fato de ser uma fonte energética renovável e menos poluente, seria interessante intensificar o uso de biodigestores nos Campos Gerais do Paraná, uma vez que em virtude da intensa atividade agropecuária da região, existir produção de uma elevada quantidade de dejetos com grande potencial para a utilização dessa tecnologia.

As propriedades rurais e agroindústrias estudadas apresentam biodigestores em excelentes condições de funcionamento, com elevada produção de biogás e biofertilizante, o que demonstra ser essa uma alternativa plenamente viável e ao

alcance do pequeno, médio e grande produtor rural. A produção de biogás e biofertilizante nessas propriedades é considerada bastante satisfatória, proporcionando uma economia significativa na aquisição de insumos para as atividades agropecuárias e agroindustriais.

A pesquisa apontou que no Brasil, após receber incentivos por parte do Governo Federal com vistas à implantação de biodigestores em muitas propriedades rurais na década de 80, essa tecnologia sofreu um descrédito por conta dos inúmeros insucessos ocorridos, em virtude de erros de construção e manejo.

Constatou-se que o conceito que permanece ainda na maioria das propriedades rurais do município de Castro, inclusive de profissionais da agropecuária, é que essa é uma tecnologia que não funciona. Porém, ao tomar-se conhecimento de maneira informal da existência de algumas propriedades que se utilizam dessa ferramenta tecnológica, procuraram-se informações mais precisas, através de órgãos de assistência e extensão rural (Emater-PR e Sociedade Cooperativa Castrolanda), a fim de se identificar quais seriam essas propriedades para posterior verificação do funcionamento de suas unidades de biodigestor.

Após levantamentos e pesquisas realizadas junto aos alunos chegou-se a esta conclusão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, Fabíola Oro. **Poluição hídrica por dejetos suínos: um estudo de caso na área rural do município de Quilombo, Santa Catarina.** 2006. 182p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARNETT, Andrew; PYLE, Leo; SUBRAMANIAN, S. K. **Biogas technology in the third world: a multidisciplinary review.** Ottawa: IDRC, 1978. 132p.

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

BRANDJES, P. J.; WIT, J.; van der MEER, H. G. **Livestock and the environment: finding a balance.** Wageningen: IAC, 1996. 53p.

CETEC. **Estado da arte da digestão anaeróbica.** Belo Horizonte: CETEC, 1982.

COELHO *et. al.* **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica.** Brasília: Dupligráfica, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3.ed. Passo Fundo: SBCS – Núcleo Regional Sul/Embrapa-CNPT, 1995. 223p.

CRUZ, A.F.; SOUZA, A.G.; RIBEIRO, F. L. Estimativa do volume de dejetos suínos na região de Rio Verde – Goiás. In: XLVI CONGRESSO DA SOBER, 17., 2006, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006.

EATON, Alexander Bennet. **The role of small-scale biodigesters in the energy, health and climate change baseline in Mexico.** 2009. 211p. Thesis (Environmental Systems) – Humboldt State University, 2009.

ENSMINGER, M. E.; OLDFIELD, J.E.; HEINEMANN, W.W. **Feeds & nutrition.** 2. Ed. California: The Ensminger Company, 1990. 1544p.

GASPAR, Rita M. B. Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR.** 2003. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

HENRIQUES, Rachel Martins. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica.** 2004. 204p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

HERRERO, Jaime Martí. **Biodigestores familiares: guia de diseño y manual de instalación.** La paz: GTZ-Energia. Bolivia, 2008.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Greenhouse gas inventory reporting instructions.** London, 2001.

ITAIPU BINACIONAL/FAO. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2. ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional/Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

JONES, D. L. Potential health risks associated with the persistence of *Escherichia coli* O157 in agricultural environments. **Soil Use and Management**, v.15, p.76-83, 1999.

JORGE, Leila Cristina. **Estudo de viabilidade de implantação de biodigestores anaeróbicos no município de Paty do Alferes – RJ, uma contribuição para minimizar a degradação ambiental na área rural.** 2004. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2004.

LYNCH, J. M. **Terrestrial biotechnology: current opinion in biotechnology.** V. 9, n. 3, p.247-251, jun. 1998.

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

MEDEIROS, Marcos Barros; LOPES, Juliano da Silva. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.8, n.3, Nov. 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010. **Resenha energética brasileira: exercício de 2009 (preliminar)**. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 06 set. 2010.

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

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Emissão de gases na suinocultura que provocam efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, v. 25, n.7, p.16-20, 2003.

PALHARES, Julio C.P. **Biodigestão anaeróbica de dejetos suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro**. 2008. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm>.

PICANÇO, A. P. **Influência da recirculação do percolado em sistemas de batelada de uma fase e híbrido na digestão anaeróbica da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos**. 2004. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2004.

PINTO, Cláudio Plaza. **Tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Planejamento em Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999.

PROSAB. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Florianópolis, 2003.

SALOMOM, Karina R.; FILHO, Geraldo L. T. **Biomassa**. 1. ed. Itajubá: CERPCH, 2007. 36p.

SILVA, F. M. Utilização do biogás como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Lavres. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.96-125.

SOLANO, O. R.; VARGAS, M. F.; WATSON, T. G. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados com su productividad. **Tecnología em Marcha**, Costa Rica, v.23, n.1, p.39-46, enero-marzo 2010.

SOUZA, Marcos Eduardo de. Fatores que influenciam a digestão anaeróbica. **DAE**, v.44, p.88-94, jun. 1984.

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná. **Manual de biosistemas integrados na suinocultura**. Curitiba: CITPAR, 2002. 140p.

TEIXEIRA, Eglé Novaes. **Adaptação de estruturas existentes (esterqueiras) em biodigestores**. 1985. 296p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos e Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 1985.

VERMA, Shefali. **Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes**. Columbia: Department of Earth & environmental engineering, Columbia University, 2002.

VISWANATH, P.; DEVI, S. S. NAND, K. Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. **Bioresource Technology**, v.48, p. 1-8, 1994.

WINROCK INTERNATIONAL BRASIL. **Manual de treinamento em biodigestão**. Instituto Winrock Brasil, 2008.