

JUAN CARLOS ALVARADO ALCÓCER
OLIENAIDE RIBEIRO DE OLIVEIRA PINTO
MARIA LUCIENE DA SILVA
DAYSE MARIA BENEVIDES DE QUEIROZ

BIODIGESTORES RURAIS

Uma Alternativa
à Sustentabilidade
Ambiental?



BIODIGESTORES RURAIS: UMA ALTERNATIVA À SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL?

© 2021 *Copyright by* Juan Carlos Alvarado Alcócer, Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto, Maria Luciene da Silva e Dayse Maria Benevides de Queiroz

IMPRESSO NO BRASIL / *PRINTED IN BRAZIL*

EFETUADO DEPÓSITO LEGAL NA BIBLIOTECA NACIONAL

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Conselho Editorial

DRA. AIALA VIEIRA AMORIM UNILAB	DR. JOSÉ GERARDO VASCONCELOS UFC
DR. ALUÍSIO MARQUES DA FONSECA UNILAB	DRA. JOSEFA JACKLINE RABELO UFC
DRA. ANA MARIA IORIO DIAS UFC	DR. JUAN CARLOS ALVARADO ALCÓCER UNILAB
DRA. ANA PAULA STHEL CAIADO UNILAB	DRA. LIA MACHADO FIUZA FIALHO UECE
DRA. ANTONIA IEDA DE SOUZA PRADO UNINASSAU	DRA. LÍDIA AZEVEDO DE MENEZES UVA
DR. ANTÔNIO ROBERTO XAVIER UNILAB	DRA. LÍVIA PAULIA DIAS RIBEIRO UNILAB
DR. CARLOS MENDES TAVARES UNILAB	DR. LUÍS MIGUEL DIAS CAETANO UNILAB
DR. CASEMIRO DE MEDEIROS CAMPOS UNIFOR	DR. LUIS TÁVORA FURTADO RIBEIRO UFC
DR. CHARLITON JOSÉ DOS SANTOS MACHADO UFPB	DRA. MÁRCIA BARBOSA DE SOUSA UNILAB
DR. EDUARDO FERREIRA CHAGAS UFC	DRA. MARIA DO ROSÁRIO DE FÁTIMA PORTELA CYSNE UNILAB
DR. ELCIMAR SIMÃO MARTINS UNILAB	DR. MICHEL LOPES GRANJEIRO UNILAB
DRA. ELISÂNGELA ANDRÉ DA SILVA COSTA UNILAB	DRA. MILENA MARCINTHA ALVES BRAZ FGF
DR. ENÉAS DE ARAÚJO ARRAS NETO UFC	DR. OSVALDO DOS SANTOS BARROS UFPA
DR. FRANCISCO ARI DE ANDRADE UFC	DRA. REGILANY PAULO COLARES UNILAB
DR. GERARDO JOSÉ PADILLA VÍQUEZ UCR	DRA. ROSALINA SEMEDO DE ANDRADE TAVARES UNILAB
DRA. HELENA DE LIMA MARINHO RODRIGUES ARAÚJO UFC	DRA. SIMONE MARIA SILVA DANTAS FACCED
DR. JAVIER BONATTI UCR	DRA. SINARA MOTA NEVES DE ALMEIDA UNILAB
DR. JOSÉ BERTO NETO UNILAB	DRA. VANESSA LÚCIA RODRIGUES NOGUEIRA UNILAB

PROJETO GRÁFICO E CAPA | *Carlos Alberto Alexandre Dantas*

REVISÃO DE TEXTO E NORMALIZAÇÃO | *Felipe Aragão de Freitas Carneiro*

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

BIBLIOTECÁRIA: *Regina Célia Paiva da Silva* – CRB 1051

A354b Alcócer, Juan Carlos Alvarado

Biodigestores rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental? / Juan Carlos Alvarado Alcócer, Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto, Maria Luciene da Silva, Dayse Maria Benevides de Queiroz. – Fortaleza: Imprece, 2021.

110 p. 14 cm x 21 cm.

Inclui: figuras, tabelas e fotos.

ISBN E-BOOK: 978-65-87212-28-9

1. Biodigestor – Propriedades Rurais. 2. Biogás. 3. Biomassa. 4. Biofertilizante. 5. Biodigestor – Viabilidade Técnica. 6. Biodigestor – Viabilidade Economica. 7. Pinto, Olienaide Ribeiro de Oliveira. 8. Silva, Maria Luciene da. 9. Queiroz, Dayse Maria Benevides de. I. Título.

CDD: 665.776

Juan Carlos Alvarado Alcócer
Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto
Maria Luciene da Silva
Dayse Maria Benevides de Queiroz

BIODIGESTORES RURAIS

Uma Alternativa
à Sustentabilidade
Ambiental?



Dedicatória

A Omar Jaén Martínez (*in memoriam*).
Grande homem e amigo que sempre falou das
vantagens de utilizar biodigestores.



Agradecimentos

Agradecemos aos diferentes órgãos de fomento: CAPES, CNPq e FUNCAP pelo financiamento parcial para a publicação desta obra.

Agradecemos à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) pelo apoio institucional aos autores da presente obra.

Agradecemos aos diferentes produtores rurais que colaboraram com tempo, as suas experiências e a disponibilidade das propriedades para a realização de experimentos e outras atividades relacionadas com a pesquisa. Em particular a Edilson Santiago do município de Barreira, e aos senhores Paulo Marcelo e João Ricardo da Fazenda Croatá em Antônio Diogo.

À prefeitura de Barreira pela concessão de tempo para funcionários ajudar a desenvolver este trabalho.

A Javier Jaén Delgado pelos conselhos e a sua ajuda para a publicação desta obra.

A Armando Alvarado Montero e a sua empresa REFRICENTER pela ajuda na publicação desta obra.

À Professora Doutora Maria Gorete Flores Salles pelo compartilhamento das ideias para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa com biodigestores.

À Empresa BGS Equipamentos pela facilitação de material visual e pela sua disposição de ajudar aos autores na pesquisa e na escrita desta obra.

Sumário

APRESENTAÇÃO	11
---------------------------	-----------

Os autores

PREFÁCIO	17
-----------------------	-----------

Antônio Roberto Xavier

CAPÍTULO I

ASPECTOS GERAIS DE UM BIODIGESTOR	21
--	-----------

CAPÍTULO II

TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA EM BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE	27
--	-----------

2.1 Conceito e importância de biodigestores	27
--	-----------

2.2 Biomassa necessária ao funcionamento	29
---	-----------

2.3 Processos de transformação da biomassa em energia	31
--	-----------

2.4 Biogás e a sua Purificação	37
---	-----------

2.5 Processos Biológicos	46
---------------------------------------	-----------

2.6 Biofertilizante	48
----------------------------------	-----------

2.7 Vantagens e desvantagens econômicas do uso de biodigestores	49
--	-----------

CAPÍTULO III

APLICABILIDADE DOS PRODUTOS ORIUNDOS DA BIODIGESTÃO	67
--	-----------

3.1 Características do biogás	67
--	-----------

3.2 Utilização prática do biogás	71
---	-----------

3.3 Utilização do biofertilizante	75
--	-----------

CAPÍTULO IV

PLANEJANDO A CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR..... 77

4.1 Dimensionamento do volume de biomassa disponível.....	77
4.2 Dimensionamento do biodigestor.....	77
4.3 Escolha do local para a construção.....	82
4.4 Origem do material a ser utilizado na construção.....	83

CAPÍTULO V

PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR..... 87

5.1 Biodigestor Canadense.....	88
5.2 Processo inicial de construção do biodigestor.....	90
5.3 Construindo a caixa de carga e descarga.....	94
5.4 Instalação da caixa de biodigestão.....	96
5.5 Estrutura de coleta e armazenamento do biofertilizante.....	99
5.6 Instalação de filtro para retenção de impurezas do biogás.....	100

CAPÍTULO VI

FUNCIONAMENTO E MANEJO DO BIODIGESTOR.....103

REFERÊNCIAS.....	105
-------------------------	------------

APRESENTAÇÃO



livro “**Biodigestores rurais: Uma alternativa à sustentabilidade ambiental?**”, escrito pelo professor Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer, pela Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto que atualmente é bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD) / CAPES, pela Me. Maria Luciene da Silva e pela graduanda em Engenharia de Energia Dayse Maria Benevides de Queiroz uma obra vinculada ao Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS), da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Trata-se de uma produção bibliográfica relacionada às temáticas da sustentabilidade e às diversas formas de apropriação e uso dos recursos naturais. As pesquisas são resultados de estudos financiados por meio de bolsas de estudos provenientes da CAPES, CNPq, FUNCAP e da própria instituição Unilab.

Acreditamos ser oportuna e propícia a publicação desta obra, sobretudo em razão da conjuntura atual onde atravessamos diversas crises interligadas e que se estendem pelo nosso planeta, como por exemplo: a crise ambiental, a crise econômica, a crise na saúde, a crise ética, bem como, a chamada crise na perspectiva do conhecimento científico de forma inter e transdisciplinarizada. Tais crises ou problemáticas são interligadas e ocorrem de forma local, regional, nacional e global, sobretudo em países de economias periféricas padecentes de um longo passado colonial de exploração.

Indubitavelmente, na atual conjuntura, os debates sobre desenvolvimento sustentável não podem estar desvinculados de práticas e propostas do uso e emprego de recursos naturais na perspectiva de uma sociedade ecologicamente equilibrada e com qualidade de vida desejada e desejável. Para tanto, percebe-se que por meio de aprendizado das experiências do passado e do presente faz-se necessária uma nova relação entre o ser humano e a natureza com respeito e preservação da biodiversidade com vistas a sustentabilidade indispensável ao prosseguimento biótico saudável no planeta. Destarte, este livro, em meio a tantas inspirações e aspirações, pretende abordar questões de nosso tempo trazendo à tona aspectos práticos e reflexivos sobre meio ambiente, ensino de ciências e emprego de tecnologias visando o desenvolvimento sustentável. São pesquisas empíricas na seara epistemológica indutiva, mas que refletem na esteira da episteme dedutiva.

O aumento da quantidade de resíduo agropecuário gerado em fazendas e pequenas propriedades têm sido motivo de preocupação para os seus proprietários, principalmente pela necessidade de fazer o descarte correto. Consequentemente surge a necessidade de se fazer um manejo adequado, considerando o menor investimento possível tanto na instalação de infraestruturas quanto no processo de operação e manutenção.

Algumas alternativas têm sido utilizadas, como o descarte aleatório sobre o solo, a comercialização ou até mesmo a doação. Mas estas alternativas não têm sido muito atrativas, pois é necessário aliar geração, utilização e economia para tornar o sistema produtivo. É importante instalar um equipamento que utilize a biomassa em seu

processo e ainda contribua para a economia e a conservação do meio ambiente.

O biodigestor é uma alternativa viável, já que é um equipamento projetado de acordo com a quantidade de resíduos gerados em uma propriedade. Os resíduos orgânicos oriundos das atividades agrícolas, poderão ser tratados através do processo da biodigestão, produzindo um adubo orgânico de alta qualidade e um gás denominado de biogás que pode ser utilizado para a produção de energia e calor, contribuindo assim com a geração de receitas, a redução dos danos ambientais e a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Neste livro será analisada a viabilidade técnica e econômica da instalação de um biodigestor numa propriedade rural de pequeno porte, como alternativa sustentável de tratamento e destino da biomassa residual local. Os objetivos específicos contemplam: mensurar os custos de implantação de um sistema biodigestor; acompanhar o processo de transformação da biomassa em energia; identificar os tipos de produtos oriundos da biodigestão, e; identificar a aplicabilidade do biogás e do biofertilizante na propriedade.

A região em que se analisa a instalação do biodigestor é o Maciço de Baturité nos municípios de Redenção e Barreira. As comunidades em que o biodigestor é instalado são Uruá e Antônio Diogo. Uma discussão sobre o semi-árido e o Maciço de Baturité se encontram nos apêndices para aqueles que gostem de se informar sobre esta região.

O presente livro se encontra dividido em cinco capítulos, sendo este o da Introdução. No capítulo de Aspectos Gerais de Um biodigestor apresentamos as generalidades do equipamento assim como as tentativas dos autores de

construir equipamentos tipo caseiros e de bancada. Também mostramos os equipamentos de tipo chinês, indiano e canadense. Já no capítulo sobre a transformação da biomassa em biogás e biofertilizante apresentaremos a química necessária para que o fenômeno da biodigestão aconteça.

No capítulo da Aplicabilidade dos Produtos Oriundos da biodigestão faremos a exposição das características do biogás e apresentaremos a sua composição. Também apresentaremos tabelas com dados de quantos animais são necessários para se obter uma determinada quantidade de biogás. Também discutiremos a utilização deste gás. Este capítulo é de sumo interesse para todo aquele que queira em um tempo curto poder saber quanto biogás e biofertilizante poderá ser produzido a partir das condições da propriedade rural.

O próximo capítulo trata do planejamento da construção de um biodigestor. Apresentam-se relações matemáticas para saber quanto biogás e biofertilizante será gerado a partir de condições determinadas. Também apresentamos um valor estimado de quanto custa construir um biodigestor.

Depois disto apresentamos um capítulo em que mostramos o processo da construção de um biodigestor. Mostramos uma grande quantidade de material fotográfico para ilustrar os aspectos construtivos do equipamento.

Finalmente gostaríamos de agradecer à CAPES e à FUNCAP pelo apoio aos projetos de pesquisa da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro – Brasileira (UNILAB) que permitiram que os autores desenvolvessem as atividades relacionadas à pesquisa sobre biodigestores. Devemos mencionar que os projetos foram

no Mestrado Acadêmico de Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis – MASTS assim como nos programas de iniciação científica. Queremos agradecer também à empresa BGS pela colaboração com os nossos projetos de pesquisa. Também queremos agradecer ao Sr. Paulo Marcelo pela sua entusiasta participação nos projetos. Ao Sr. Edilson Santiago por ter permitido as nossas pesquisas na sua propriedade.

Os autores.



PREFÁCIO

A obra “**Biodigestores rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental?**”, de Juan Carlos Alvarado Alcócer, Olienaiide Ribeiro de Oliveira Pinto, Maria Luciene da Silva e Dayse Maria Benevides de Queiroz, chega à circulação no âmbito das produções intelectuais da seara científica Meio Ambiente e Ciências Agrárias com o propósito de contribuir para a compreensão de como é possível beneficiar a sociedade a partir da produção e utilização de tecnologias sociais sem abdicar da vigilância e consciência à sustentabilidade.

Ressalto, antes de mais nada, algo pertinente de grande significado em todo o teor desta obra ora prefaciada: o caráter acadêmico-científico e didático-pedagógico. Com efeito, o leitor deste livro poderá facilmente perceber que as autoras e o autor discorrem cautelosa e concatenadamente todo o processo descritivo de construção e utilização de um Biodigestor. Neste sentido, a obra inicia-se com os aspectos conceituais, teóricos e epistemológicos gerais inerentes e peculiares ao equipamento Biodigestor. Em seguida os autores apresentam o biodigestor como um equipamento indispensável para a “minimização dos impactos ambientais causados pela destinação incorreta dos resíduos orgânicos através do reaproveitamento dos resíduos que seriam descartados sem agregação de valor e produção de biogás”.

No passo seguinte, os autores demonstram categoricamente o conteúdo necessário para o devido funcio-

namento de um biodigestor com as respectivas transformações da matéria orgânica em geração de biogás e de biofertilizantes que além de valor econômico no meio rural, possibilitam geração de energia renovável, reciclagem e incorporação de nutrientes aos solos.

Em contínuo processo didático-pedagógico a obra demonstra com habilidade e competência a aplicabilidade dos produtos advindos da biodigestão, delineando as características e o *modus operandi* peculiar e prático de utilização desses produtos.

Sequencialmente, a seção quatro da obra procura não só esclarecer, mas demonstrar empiricamente as etapas de construção, instalação e modelo de um equipamento Biodigestor com base na quantidade de biomassa residual gerada na propriedade rural na qual o equipamento será instalado. Nessa seção fica nítido também o dimensionamento do equipamento levando em consideração o volume geral de resíduos a serem tratados, tais como: resíduos de frutas oriundas do consumo humano, quantidade de matéria orgânica gerada na cozinha (restos de comida), quantidade de esterco oriundo da criação animal e pela produção de folhagens do processo de podas de plantas na propriedade.

Por fim, o livro, em suas últimas seções, faz uma espécie de arremate final não somente revisando e consolidando as etapas anteriores. Mas, abordando com riquezas de detalhes sobre vários tipos de Biodigestores suas estruturas, funcionamento, manejo e materiais apropriados para construção desse equipamento.

Sem mais delongas, lançamos o convite ao leitor desta obra para um deleite fecundo e reflexivo não somente sobre a teoria que engloba os equipamentos biodigesto-

res. Porém, e, sobretudo, sobre a metodologia de planejamento, instalação, estrutura, funcionamento e manejo de biodigestores e suas contribuições para a sustentabilidade ambiental.

Antônio Roberto Xavier

Doutor, professor e pesquisador



CAPÍTULO I

ASPECTOS GERAIS DE UM BIODIGESTOR

Esse capítulo tem por objetivo apresentar de forma prática e direta, informações referentes ao processo de construção de um biodigestor e sua importância em propriedades rurais.

O biodigestor é um equipamento que apresenta diversas aplicações, dentre elas a minimização dos impactos ambientais causados pela destinação incorreta dos resíduos orgânicos, reaproveitamento dos resíduos que seriam descartados sem agregação de valor e produção de biogás, que é um gás resultante da degradação da matéria orgânica através da digestão anaeróbia. Neste processo biológico há um crescimento de microrganismos que dependem de condições apropriadas de umidade, temperatura e acidez resultando na formação de biofertilizante e produtos gasosos como metano e dióxido de carbono (SECHINEL, 2011; ALCÓCER et al., 2015).

Pode-se ver então que o biodigestor nos permite dar um destino aos resíduos que iriam poluir o meio ambiente, produz biogás e biofertilizante, que podem ser utilizados para queima direta, produção de energia elétrica e como adubo orgânico nas plantações. Devido a essa diversificação de funções é que o biodigestor foi comparado a uma mistura de usina de saneamento básico, poço de petróleo e fábrica de fertilizantes (BARREIRA, 2011).

A forma dos biodigestores varia, mas esse equipamento deve possuir uma câmara fechada que é o local

onde ocorrem as reações químicas de degradação da biomassa. Esta câmara deve ser alimentada através de uma entrada e deve possuir uma saída para retirar o biogás e o biofertilizante. Na Figura 1- 1-A ilustra-se um biodigestor caseiro feito com um vasilhame de água mineral enquanto que na figura 1 – 1-B observa-se um biodigestor de bancada.

Figura 1 – 1. (A) Biodigestor Caseiro 20 litros e (B) Biodigestor de bancada.



Fonte: Autores (2018)

Os experimentos realizados em condições controladas no laboratório nos mostram que o biogás se forma abundantemente entre 18 e 30 dias de funcionamento sendo que se devem esperar uns 45 dias para a produção do biofertilizante (ALCÓCER et al., 2015). Já em fábricas ou em propriedades rurais o tempo para a produção do biogás pode apresentar variações diversas sendo que em alguns relatos foi necessário uns 20 a 25 dias para que pudesse haver uma observação de produção de biogás.

Os biodigestores dos tipos canadenses, tal e como se mostra na Figura 1-2, consistem de um saco resistente em

que ocorrem as reações para a obtenção do biogás e biofertilizante. Este tipo de biodigestor permite colocar material orgânico todos os dias, armazena o gás, que pode ser transferido para outro recipiente e apresenta uma saída pela qual sai o biofertilizante. O tamanho do biodigestor dependerá da quantidade de material orgânico que a propriedade rural disponha.

Figura 1 – 2. Biodigestor tipo canadense. Produto comercializado pela empresa BGS.

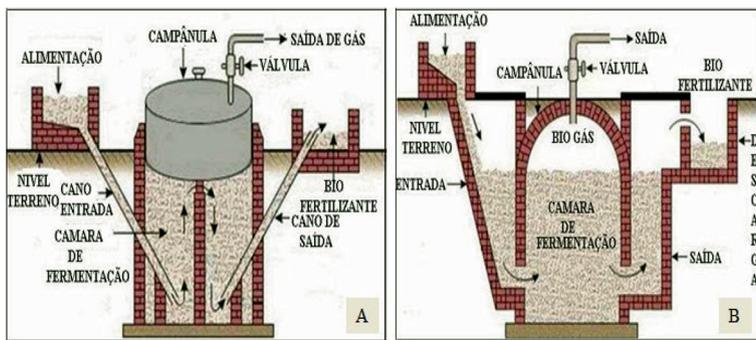


Fonte: BGS Equipamentos (2018).

Este tipo de biodigestor é comercializado na forma de kit com vários componentes e tamanhos, sendo de fácil instalação, mas o custo dele é um pouco alto para um pequeno proprietário rural sendo mais recomendado para produtores que possuam uma quantidade de animal de média a grande porte.

Outros tipos de biodigestores muito difundidos são do tipo chinês (Figura I-3-A) e o tipo indiano (Figura I-3-B). Nas Figuras verifica-se uma entrada para a alimentação do biodigestor com matéria orgânica e uma saída para o biofertilizante. A diferença entre o biodigestor canadense e os biodigestores indiano e chinês é porque a câmara de bio-digestão é colocada no subsolo para poder ocorrer as reações químicas. Dependendo do tamanho da propriedade rural e do número de animais este tipo de biodigestor tem-se mostrado apropriado para pequenas propriedades e para um número reduzido de animais. Para saber o tamanho da câmara deve-se saber a quantidade de material orgânico disponível e se deve considerar que o material deverá permanecer entre quarenta e sessenta dias para a completa transformação em biofertilizante.

Figura 1 – 3. (A) Biodigestor tipo indiano. (A) Biodigestor tipo chinês.



Fonte: DEGANUTTI et al.(2002).

Apesar da reconhecida importância dos biodigestores na transformação da biomassa em energia e calor, estudos indicam que poucas propriedades conseguem

incentivos para investir na implantação dessa tecnologia, sendo a biomassa descartada sem que seja realizado nenhum tipo tratamento (SILVA; FRANCISCO, 2010).

Adaptados a realidade local, os resultados do processo da biodigestão, têm sido significativos, pois contribuem para destinação adequada de resíduos, além de contribuírem para a geração de energia e calor, diminuindo custos em propriedades rurais (SILVA; FRANCISCO, 2010).

As principais vantagens observadas com a implantação de biodigestores em propriedades rurais estão relacionadas a seguir:

- Alternativa sustentável de tratamento de dejetos;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Não há consumo de energia elétrica;
- Demanda pequena área para sua instalação;
- Produção de biogás e biofertilizante;
- Melhoria das características físicas e químicas do solo;
- Conservação do meio ambiente

Neste livro se mostrará como construir um biodigestor para ser utilizado em pequena propriedade rural. Serão mostrados os materiais necessários e também será apresentada uma estimativa do custo de se fazer a construção.

Um fato muito importante que o pequeno produtor deve saber é que o retorno é bem rápido e dependendo do consumo de gás pode ocorrer em até um pouco mais de um ano. Isto é considerado muito bom quando comparado com outros investimentos em energias renováveis.



CAPÍTULO II

TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA EM BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE



biodigestor tem sido uma das alternativas viáveis aos produtores rurais, especialmente para aqueles que desenvolvem atividades relacionadas à criação animal, pois além de ser uma opção de tratamento e reaproveitamento dos dejetos, durante o processo de transformação da matéria orgânica há a geração do biogás e de biofertilizante, que possuem valor econômico e utilidades diversas no meio rural (CORREA et al., 2014).

Os produtos da biodigestão agregam valor à propriedade por serem resultantes de um processo razoavelmente barato e fácil de operar, além de ser uma opção de saneamento ambiental e aproveitar a massa residual que antes era descartada sem valor agregado, muitas vezes, causando impactos ambientais. O biogás e o biofertilizante ainda favorecem como vantagens a possibilidade de integração às mais variadas atividades desenvolvidas na propriedade, a partir da geração de energia renovável e a reciclagem e incorporação de nutrientes aos solos, promovendo melhor desenvolvimento das culturas (SANTOS; NARDI JÚNIOR, 2013).

2.1 Conceito e importância de biodigestores

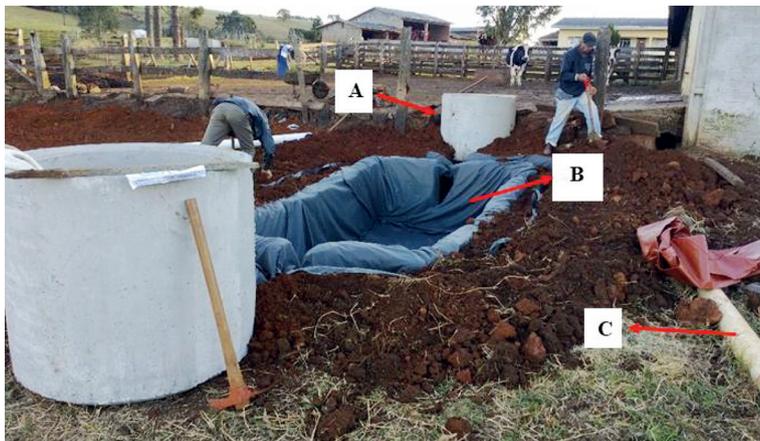
O biodigestor é um equipamento bastante utilizado em propriedades rurais, principalmente por ser uma al-

ternativa viável de destino da biomassa residual local e conseqüentemente por gerar energia através do processo de decomposição da matéria orgânica. Como resultado, obtêm-se resíduos no estado sólido, utilizado como adubo, no gasoso, chamado de biogás que pode ser utilizado em substituição ao gás de cozinha, e no estado líquido, chamado de biofertilizante que pode ser utilizado como fertilizante para diversas plantações (SECHINEL, 2011).

Se instalado e operado adequadamente, o biodigestor atende a necessidade de dar destino correto aos resíduos gerados na propriedade, especialmente os dejetos animais que demandam de tratamento para reduzir os impactos ambientais e atenderem as exigências ambientais (SANTOS; NARDI JÚNIOR, 2013).

As estruturas necessárias ao funcionamento do biodigestor são simples e de baixo custo, compondo-se basicamente de três construções: caixa de carga, tanque principal e caixa de descarga, tal e como podemos ver na Figura 1-1. O tanque principal abriga a caixa de biodigestão, ficando fechada para que os microrganismos realizem o processo de decomposição da matéria orgânica de forma anaeróbica. O tamanho da construção depende da quantidade de biomassa a ser tratada e da necessidade de combustível a ser utilizado, variando de uso doméstico a industrial (SECHINEL, 2011).

Figura 1-1. Instalação de um biodigestor canadense mostrando as partes da estrutura: (A) caixa de carga, (B) tanque principal e (c) caixa de descarga. Observe-se que o biodigestor foi colocado perto dos animais.



Fonte: BGS Equipamentos (2018).

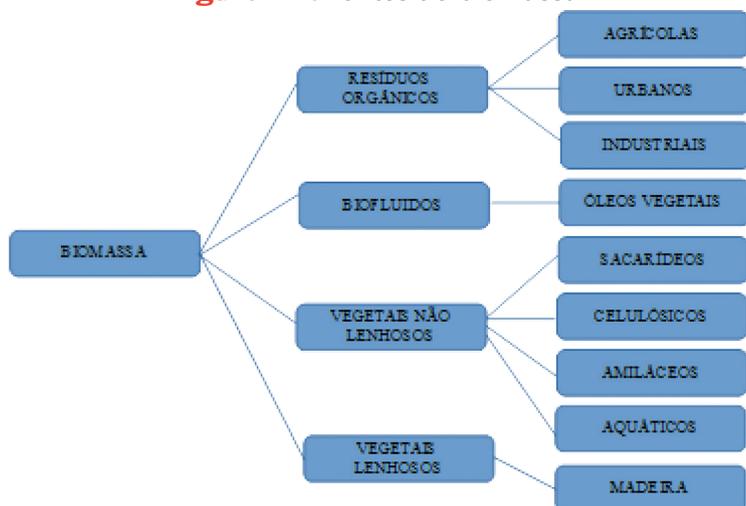
O uso de biodigestores no meio rural, além de realizar o tratamento dos dejetos animais, poderá tratar também os dejetos humanos, atendendo a necessidades sanitárias e contribuindo para a minimização de problemas ambientais e de saúde pública.

2.2 Biomassa necessária ao funcionamento

Todo material orgânico, utilizado como fonte para a produção de energia é chamado de biomassa. Encontradas em ambientes urbanos e rurais, a biomassa tem origem vegetal ou animal. As diferentes fontes de biomassa se apresentam na figura 1 – 2. A conversão é realizada pela ação de diferentes tipos de microrganismos, decompondo materiais de forma anaeróbica (COLATTO; LANGER, 2011).

A utilização de biomassa como fonte de energia não é novidade no Brasil, pois é matéria prima para biodigestores que possui mais de 5 décadas de existência. Normalmente, os biodigestores, são de simples instalação, requer investimentos acessíveis, geram empregos, além de serem alternativas sustentáveis de dar destino aos resíduos, respondendo satisfatoriamente ao aproveitamento e tratamento de resíduos, geração de energia e produção de biofertilizantes (FRIGO et al., 2015).

Figura 1-2. Fontes de biomassa



Fonte: Colatto e Langer(2011).

A biomassa pode ser definida como qualquer tipo de matéria orgânica que possa ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica. Isso pode variar de acordo com a sua origem, que pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líqui-

dos, como o lixo). Os resultados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2008).

A utilização da biomassa depende do tipo de energia que se quer obter com a sua transformação, sendo assim, pode ser considerada como uma forma indireta de energia solar. Essa energia é encarregada da fotossíntese, base dos processos biológicos que preservam a vida das plantas e produtora da energia química que se converterá em outras formas de energia ou em produtos energéticos como carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e óleos vegetais combustíveis, entre outros. A fotossíntese favorece, também, a liberação de oxigênio e a captura de dióxido de carbono (CO_2 , principal agente do efeito estufa). Por isso, contribui para a contenção do aquecimento global (ANEEL, 2008).

O problema é que, mesmo sendo os biodigestores uma tecnologia já difundida no País e comprovadamente um agregador de valor às propriedades rurais, ainda não possuem incentivos governamentais para a sua instalação. Dessa forma, a biomassa (resíduos de animais e restos vegetais) não é totalmente aproveitada, sendo simplesmente descartada sem nenhum tipo de tratamento ou agregação de valor.

2.3 Processos de transformação da biomassa em energia

A biomassa que é utilizada no processo da biodigestão nas propriedades rurais é oriunda principalmente da criação animal, mas há a possibilidade de utilização de espécies vegetais. O processo é realizado por microrganismos

mos, que decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio, normalmente no interior de um biodigestor, gerando como produtos o biofertilizante e o biogás. O biogás é composto basicamente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e o biofertilizante possui macronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (ANEEL, 2008).

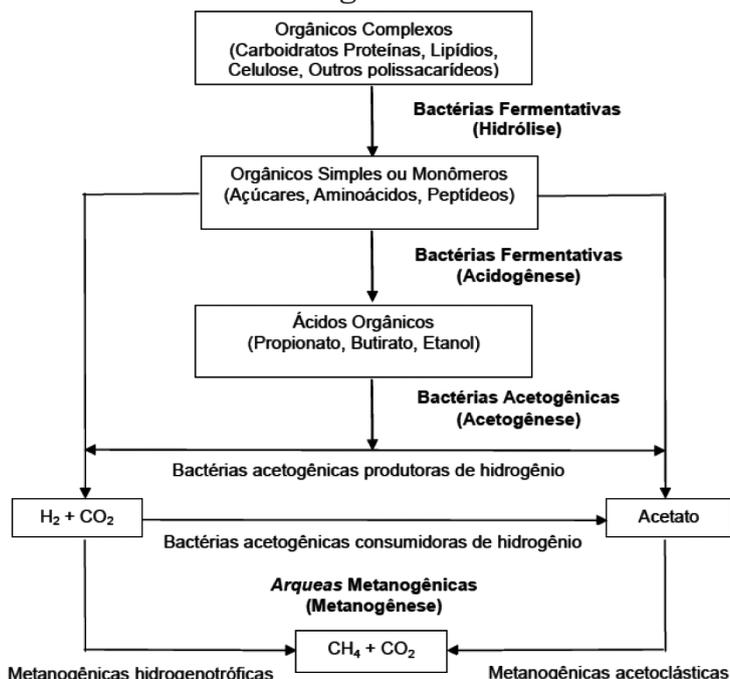
Caracterizando-se como uma alternativa de produzir energia renovável, os biodigestores, em todo seu processo de transformação da biomassa, além de produzirem o biogás e o biofertilizante, são considerados ainda fonte gerador de riqueza, pois a matéria-prima que seria descartada é transformada em produtos que são utilizados em substituição aos que seriam adquiridos em comércios (ALCÓCER et al., 2014).

Os produtos da biodigestão possuem diversas funções, pois além da produção de biogás pelo seu alto poder energético, os resíduos da biodigestão apresentam alta qualidade para o uso como fertilizante agrícola e promove o aumento do teor de nitrogênio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono, diminuição da relação C/N da matéria orgânica contribuindo para melhorar as condições do material para fins agrícolas, maiores favorecimento de imobilização do biofertilizante pelos microrganismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição, o que aumenta a sua eficiência e solubilização parcial de alguns nutrientes, evita a retirada de lenha nas matas, diminui custo de transporte e poluição por hidrocarbonetos vindos do petróleo (ARRUDA et al., 2002).

Ao realizar a biodigestão anaeróbica, as bactérias realizam o processo em quatro etapas, sendo elas: A Hidrólise, a Acidogênese, a Acetogênese e a Metanogênese. Na figura 1-3. Verifica-se o esquema da digestão anaeróbia.

As bactérias fermentativas hidrolisam os complexos orgânicos através da liberação de enzimas extracelulares e os produtos originados são absorvidos pelos mesmos grupos de bactérias resultando na formação de ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono. Os produtos provenientes das bactérias fermentativas são utilizados pelas bactérias acetogênicas, que irão produzir hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Por sua vez, a ação das bactérias acetogênicas serve de alimento para as bactérias metanogênicas, que, ao se alimentarem destes substratos, produzem o biogás (CALDEREIRO, 2015).

Figura 1-3. Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica.

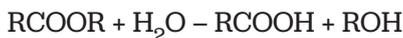


Fonte: Fonte: Caldereiro (2015).

A digestão anaeróbia pode ser afetada por diferentes fatores, os quais estão relacionados com o substrato, as características do biodigestor, bem como as condições de operação. Se um determinado fator provoca desequilíbrio no processo, este se deve principalmente a uma maior sensibilidade das bactérias metanogênicas, que deixam de produzir o metano, ocasionando o aumento na concentração dos ácidos orgânicos voláteis e de outros produtos intermediários, inibindo ainda mais a produção do biogás (SOARES et al., 2017).

Importante destacar que critérios como fermentação, temperatura, umidade, acidez e ausência de oxigênio devem ser obedecidos para que os microrganismos se desenvolvam e realizem o processo de transformação da biomassa. Portanto, deve-se manusear adequadamente o equipamento, assegurando a manutenção de condições favoráveis no interior do biodigestor (ROYA et al., 2011).

Na fase da Hidrólise, as bactérias liberam enzimas extracelulares, que transformam as moléculas maiores (polissacarídeos) em compostos orgânicos simples (monômeros). Durante a fase Metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano (RIZZONI et al., 2012).



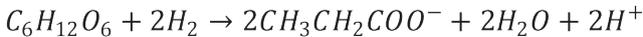
Ester + água – ácido carboxílico + Álcool

Durante a fase da Acidogênese, as bactérias que produzem os ácidos transformam as substâncias resultantes da hidrólise. As moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos são convertidas em moléculas de ácidos or-

gânicos, etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, dentre outros compostos. Para a realização do processo de fermentação, é necessário dispor de condições adequadas, especialmente de hidrogênio, pois este poderá afetar negativamente a eficiência do processo (RIZZONI et al., 2012).



Glicose Acetato



Glicose Propionato



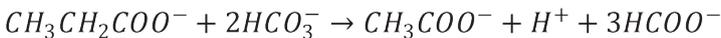
Glicose Butirato

A fase Acetogênese caracteriza-se por transformar o material resultante da acidogênese em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico. Essa fase exige que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias, mantendo o equilíbrio interno do biodigestor (RIZZONI et al., 2012).



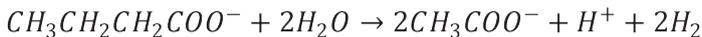
Propionato

Acetato



Propionato

Acetato

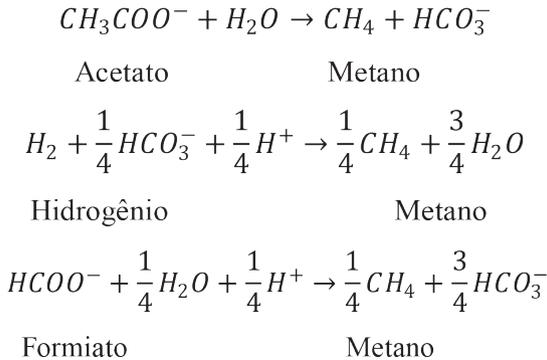


Butirato

Acetato

Durante a fase Metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma

em metano (biogás). Durante as reações químicas ocorre a formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno das bactérias metanogênicas, isolando-a de um contato direto com a mistura, sendo aconselhável uma agitação no biodigestor (RIZZONI et al., 2012). Abaixo, as reações que caracterizam esta fase:



Na primeira reação, ocorre a geração de metano e gás carbônico derivados do ácido acético. Na segunda o Hidrogênio e o gás carbônico dão origem ao metano e a água.

Até a Fase Metanogênica e conseqüentemente o início da produção do biogás, o tempo de transição destes processos, geralmente é de 15 dias. O tempo que o biodigestor pode levar produzindo biogás varia de 18 a 40 dias, sendo que o biofertilizante só poderá ser retirado no final do processo, ou seja, após 40 a 55 dias.

A implantação da tecnologia da biodigestão é uma das alternativas sustentáveis de controle da poluição gerada por atividades agrícolas relacionadas a criação de animais, especialmente os suínos que carregam o preconceito de ser uma produção que gera mal cheiro, incomo-

da os seres humanos e degrada o meio ambiente. Quando operados adequadamente, os biodigestores agregam valor às propriedades rurais por serem alternativas de saneamento rural, gerar calor e estimular a reciclagem de nutrientes através da utilização do biofertilizante (PEREIRA, 2011).

A biodigestão é um processo anaeróbico de fermentação de matéria orgânica cujo resultado é o biogás, composto principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). As vantagens para a atividade de suinocultura estão relacionadas à redução dos odores oriundos da acumulação dos dejetos em esterqueiras a céu aberto, do menor impacto ambiental em função da poluição provocada por este resíduo e a produção de biogás e biofertilizante (NORONHA; GIMENES, 2009).

2.4 Biogás e a sua Purificação

O biogás gerado pela digestão anaeróbia de matéria orgânica, após suas quatro etapas Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, é composto de metano (CH_4 - 50 - 70%), dióxido de carbono (CO_2 - 25 - 45%) e pequenas quantidades de outros gases variando de acordo com a matéria orgânica utilizada. Dentre esses gases em pequenas quantidades, o ácido sulfídrico (H_2S - 0,005 - 2%) é o mais prejudicial por ser muito tóxico e corrosivo.

A combustão do ácido sulfídrico (H_2S) junto ao biogás resulta na produção de dióxido de enxofre (SO_2) pode causar severos problemas ambientais, devido à sua solubilidade em água, o SO_2 reage com gotículas do ar formando o ácido sulfuroso e precipitando-se sob a forma de chuva ácida causa diminuição do pH da água e nos solos e inter-

fere na solubilidade de alguns compostos indispensáveis ao desenvolvimento vegetal.

Portanto, a dessulfurização deste gás é um pré-requisito para seu uso como fonte de energia, pois a filtração do dióxido de carbono (CO_2) e principalmente do H_2S se faz essencial para o aumento do poder calorífico e da não agressão às partes metálicas de motores e equipamentos. Além disso, para a utilização energética, o CO_2 presente no biogás é considerado como inerte, atuando como um diluente no biogás (HINTON; STONE, 2014) e a remoção extra, mesmo que parcial, do dióxido de carbono aumenta, significativamente, seu poder calorífico.

Diversas alternativas vêm sendo analisadas e utilizadas com intuito de diminuir a concentração de enxofre ainda no próprio processo anaeróbio, dentro do biodigestor, e também após produção do biogás.

A eliminação durante o processo de digestão anaeróbia ocorre pela adição de biocidas específicos que reduzem a atividade dos microrganismos pelo aumento do pH, fazendo com que os sulfetos permaneçam na fase líquida do processo, promovendo uma maior concentração da forma dissociada e deslocando o equilíbrio líquido-vapor à fase líquida (DEVAI; DELAUNE, 2002). Porém, devido aos altos custos envolvidos para a aquisição dos compostos químicos, essas abordagens não têm sido efetivamente aplicadas em escala industrial (McKINSEY, 2003).

A purificação realizada após a produção do biogás utiliza diferentes processos e rotas para tal finalidade, como processos físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos e químicos geralmente são utilizados para controlar odores e problemas de corrosão causados pela presença de gases contendo enxofre.

Processos físico-químicos

2.4.1 Adsorção em sólido

O princípio de funcionamento destes processos consiste na concentração do adsorbato no caso o H_2S na superfície de um sólido adsorvente, por meio de forças existentes entre os dois. A área superficial específica do adsorvente é responsável pela eficiência do processo, pois as impurezas se concentram nela enquanto o gás purificado passa pelo leito. Fatores como pressão e temperatura do gás são importantes no processo devido sua influencia na concentração das impurezas na superfície adsorvente.

Uma limitação do processo de adsorção física é a saturação do adsorvente, sendo necessário realizar sua troca ou regeneração, em alguns casos a regeneração do adsorvente é economicamente viável, logo, dissolve-se os compostos adsorvidos com uma temperatura elevada, despressurização ou fazendo com que outro gás passe pelo leito afim de diminuir a pressão do gás adsorvido.

▪ **CARVÃO ATIVADO:**

Os carvões ativados são empregados para remoção de pequenas quantidades de gás sulfídrico, para melhorar a eficiência é comum impregnar o leito com soluções alcalinas ou óxidos, como hidróxido de sódio, carbonato de sódio, hidróxido de potássio (KOH), iodeto de potássio e óxidos metálicos. A regeneração do carvão mineral é realizada com o aumento da temperatura do leito.

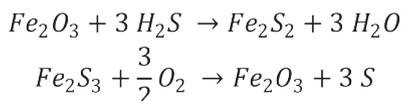
Processo físico-químico seco

É realizado através da passagem do biogás em um filtro, ocorrendo uma reação química entre o composto

que se deseja remover com o meio filtrante. Muito utilizado em sistemas de pequena escala ou como filtros de polimento.

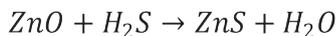
▪ **ÓXIDO DE FERRO:**

Esse processo ocorre pela formação de sulfeto de ferro insolúvel, geralmente são impregnados pequenos pedaços de madeira com o óxido de ferro, Fe_2O_3 ou Fe_3O_4 , e colocam-se esses pedaços na coluna de dessulfuração, onde entram em contato com o sulfeto de hidrogênio. As equações a seguir demonstram a sequência de reação envolvendo o Fe_2O_3 (óxido de ferro III) e o H_2S .



▪ **ÓXIDO DE ZINCO:**

O processo é semelhante ao do óxido de ferro, mas nessa são necessárias altas temperaturas, algo em torno de 200 a 400°C. O contato entre o fluxo gasoso e o sólido acontece em um leito fluidizado, onde o H_2S reage com o óxido resultando em um composto insolúvel, como apresentado na equação a seguir.



2.4.2 Absorção física

Nesse processo ocorre a transferência de componentes do fluxo gasoso para um líquido absorvente devido à diferença de solubilidade e concentração entre as duas

fases, logo, na absorção física não ocorre reações químicas, apenas a dissolução de compostos em um absorvente não volátil. Esse método serve apenas para transferir o sulfeto de hidrogênio do fluxo gasoso para a fase líquida, conseqüentemente a água deve ser tratada após o procedimento.

A maioria dos poluentes comumente encontrados em fluxos gasosos tem solubilidade limitada em água, o sulfeto de hidrogênio é em torno de três vezes mais solúvel em água do que o dióxido de carbono, conseqüentemente o dióxido de carbono exige uma quantidade maior deste absorvente para lavagem do gás para que se atinja uma boa eficiência de remoção. É possível otimizar o processo ao aumentar a pressão do sistema (5 a 10 bar), devido a pressão do sistema ser diretamente proporcional à pressão

Dentre os equipamentos utilizados para realizar a transferência de componentes gasosos para o meio líquido, por meio de absorção física, destacam-se as torres de recheio, torres de (ou bandejas), torres spray, lavadores de Venturi (CORBITT, 1990) e torres e tanques com agitação.

Processos químicos

2.4.3 Lavadores químicos

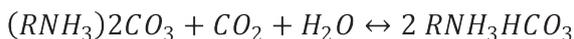
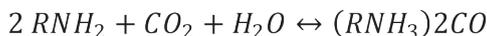
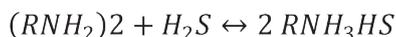
Na absorção química o gás absorvido e o solvente líquido sofrem reações químicas, estes processos aumentam a transferência de massa da fase gasosa para a líquida, conseqüentemente aumenta a eficiência de remoção do sulfeto de hidrogênio.

Os principais solventes utilizados em processos de dessulfuração de biogás em lavadores químicos são soluções de aminas, amônias, soluções alcalinas e soluções oxidantes, fatores como avariação do pH influenciam na solubilidade aparente do produto a ser transferido.

▪ **SOLUÇÃO ALCALONAMINA:**

Como as alcanolaminas são básicas e o dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio possuem caráter ácido, a remoção destes componentes do biogás ocorre por reações ácido-base.

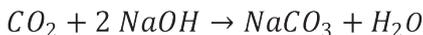
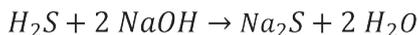
O dióxido de carbono reage diretamente com a amina, competindo com sulfeto de hidrogênio. Ao reagirem, a amina e o H_2S formam sulfeto e hidro sulfeto de amina. Reações semelhantes ocorrem entre o sulfeto de hidrogênio e as aminas secundárias e terciárias, como mostram as reações seguintes.



▪ **SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH):**

Esse processo ocorre devido às reações ácido-base reversíveis entre a solução alcalina e o H_2S . Assim como no caso de soluções de alcanolaminas, dióxido de carbono presente no biogás compete com o sulfeto de hidrogênio para reagir com o hidróxido de sódio, elevando o

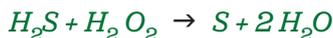
consumo de reagente. As equações a seguir mostram a remoção de CO_2 e H_2S .



▪ **PERIDÓXIDO DE HIDROGÊNIO (H_2O_2):**

Esta reação elimina o H_2S por meio de reações irreversíveis, conseqüentemente elimina os odores relativos, gerando enxofre coloidal, água e oxigênio, sem a produção de outros sólidos. Das grandes vantagens desse método é o seu o baixo custo de operação, se operado corretamente, o pequeno volume de reagente demandado e a geração de produto não corrosivo.

O peridóxido de hidrogênio reage cm o sulfeto de hidrogênio produzindo enxofre coloidal, conforme apresentado na equação:

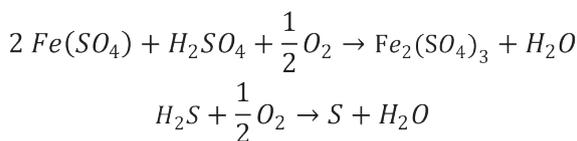


▪ **SOLUÇÕES DE SULFATO FÉRRICO:**

O sulfeto de hidrogênio é oxidado ao enxofre coloidal e o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ é reduzido a $\text{Fe}(\text{SO}_4)$. Como apresentado na equação:

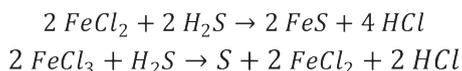


O enxofre coloidal é separado da fase líquida por filtração ou em decantadores, os produtos $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ e H_2SO_4 podem ser oxidados por uma bactéria ferrooxidante (*Thiobacillus ferroxidans*) em uma etapa posterior, regenerando o reagente $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, conforme reações a seguir (HORIKAWA, 2001).



2.4.4 Inibição Química

Para realizar a inibição do sulfeto de hidrogênio ainda no processo de digestão anaeróbia, utiliza-se soluções aquosas de sais de ferro, que causam a precipitação do sulfeto de ferro II (FeS) ou enxofre coloidal (S). Ao adicionar sais de ferro (FeCl₂ e FeCl₃) ao substrato que será tratado, promove-se a precipitação do enxofre dentro do digester. Nas seguintes reações apresenta-se as reações envolvendo o cloreto ferroso (FeCl₂), cloreto férrico (FeCl₃), e o sulfeto de hidrogênio (H₂S).



É uma técnica com simplicidade operacional e utilizada para no controle de odores, mas que em condições ácidas tem sua eficiência comprometida. Em desvantagem o processo causa o aumento na carga de sólidos, produção de um composto corrosivo em decorrência da formação de HCl e o alto custo para aquisição, estocagem e dosagem dos reagentes.

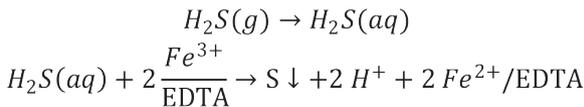
2.4.5 Oxidação catalítica (metal quelato)

Os metais quelatos são ligantes capazes de doar pares de elétrons para um cátion metálico, ao se unirem a um cátion metálico, formam uma ligação metal-ligante

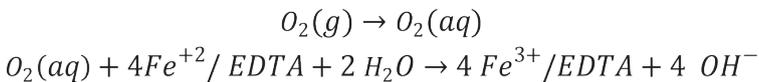
(M-L) e quando os ligantes doam um par de elétrons, estes são denominados monodentados. Os ligantes capazes doar dois ou mais pares de elétrons são ditos polidentados ou quelatos.

Um mesmo ligante pode doar diferentes quantidades de pares de elétrons. Dentre estes tipos de ligantes, destaca-se o ácido etilenodiaminotetracético (H_4EDTA), o qual é um ligante hexadentado que pode atuar como pentadentado ou tetradentado em suas formas aniônicas, a saber: $H_2EDTA-2$, $HEDTA-3$ e $EDTA-4$ (HORIKAWA, 2001).

Para realizar essa técnica o gás sulfídrico deve ser solubilizado na fase líquida, em seguida ele reage com a solução de $Fe/EDTA$ (Ferro/Ácido etilenodiaminotetracético) e o enxofre é convertido para a forma insolúvel. O elemento ferro, inicialmente com carga +3, é levado a uma carga igual a +2, ou seja, é reduzido e se torna inativo (LAERCIO, 2009). Como está representado nas equações a seguir.



O composto $Fe+2/EDTA$ é regenerado e o elemento ferro é convertido em forma férrica pela oxidação da solução com oxigênio (LAERCIO, 2009) de acordo com as reações a seguir.



Assim, o quelato de ferro ($Fe/EDTA$) pode ser considerado um pseudocatalisador na reação do H_2S com o oxigênio. O enxofre produzido é facilmente recolhido e pode ser comercializado (LAERCIO, 2009).

2.5 Processos Biológicos

Em todos os processos biológicos o sulfeto de hidrogênio deve ser transferido da fase gasosa para um meio líquido ou biofilme, nos quais se encontram os microrganismos responsáveis pela degradação do H_2S . Essa técnica ocorre por meio de oxidações bioquímicas envolvendo compostos orgânicos e inorgânicos resultando em biomassa microbiana, CO_2 , H_2O , SO , H_2SO_4 , sais e outros elementos, para que essa degradação ocorra da melhor forma algumas condições devem ser seguidas, como:

- Contaminantes apresentarem potencial de biodegradabilidade.
- Haver concentrações adequadas de microrganismos no biorreator.
- Suprimento adequado de oxigênio e nutrientes para os microrganismos.
- Umidade, temperatura, pH e pressão adequadas.
- Gestão contínua do processo.

A rota biológica para dessulfurização apresenta vantagens sobre a física e a químicas devido à baixa demanda de insumos (nutrientes e oxigênio) e à possibilidade de produção consequentemente, de recuperação de enxofre coloidal e/ou sulfato.

2.5.1 Biofiltro

Constituído de um único reator onde a absorção e a biodegradação ocorrem no mesmo lugar com biomassa e fase aquosa. O biogás é forçado através de um meio

suporte constituído de material natural, podendo ser carvão, turfa, solo, cavaco de madeira, composto ou material sintético, onde os microrganismos ficam em forma de um biofilme e os compostos voláteis biodegradáveis são absorvidos pelo meio suporte e pelo biofilme, sendo biologicamente oxidados. Nesse processo é possível realizar a degradação de compostos menos solúveis em água e seu meio suporte devem possuir as seguintes características:

- Forte capacidade de retenção líquida.
- Manutenção de elevada permeabilidade ao longo do tempo.
- Poder tampão para as situações de produtos ácidos.
- pH neutro.
- Grande superfície específica.
- Composição química variada.

2.5.2 Biopercolador

Assim como biofiltro possui apenas um reator, com biomassa imobilizada e fase aquosa móvel. O biogás é forçado através de uma coluna não submergida que é preenchida com material de enchimento coberto por um biofilme ativo, no topo do material de enchimento, ocorre aspersão de uma fase líquida que é continuamente circulada.

A principal diferença entre o biopercolador e o biofiltro é que neste último, além do material de recheio ser orgânico, não há circulação contínua de uma fase líquida, apesar de umidade entre 40 a 60%. Esta condição é atingida por meio da aspersão periódica e controlada de água no sistema

2.6 Biofertilizante

O biofertilizante é um dos produtos resultantes do processo de fermentação da matéria orgânica, realizado através de biodigestores que tem como função principal o atendimento as necessidades relacionadas ao saneamento rural. O biofertilizante é um tipo de adubo bastante utilizado na agricultura, servindo como nutriente para as culturas (VIEIRA et al., 2016). O adubo orgânico obtido da biodigestão se apresenta de duas formas: (a) líquido e (b) sólido pastoso. Ambos são excelentes biofertilizantes.

O biofertilizante é resultado da ação realizada por micro-organismos. Para a sua produção é utilizado, na sua maioria esterco fresco, mas também há a possibilidade de utilização de espécies vegetais.

Com poder de fertilização, o uso do biofertilizante favorece o desempenho das plantas, tornando-as mais vigorosas e produtivas, além de funcionar como defensivo para algumas espécies predadoras, podendo ser utilizado em substituição aos produtos químicos que tem alto poder de contaminação (WESTRUP et al., 2015).

A garantia da qualidade do biofertilizante é dada especialmente pelo reduzido teor de gás carbônico que aumenta a quantidade de nitrogênio presente. Também aumentam a solubilidade de outros nutrientes do fertilizante sendo assim absorvidos mais fácil e integralmente pelo solo. Isto faz com que o fertilizante produzido seja muito eficiente (ROYA et al., 2011).

O produto líquido é de fácil aplicação e o material sólido apresenta-se sem cheiro e pode ser colocado diretamente nas plantas. O biofertilizante além de funcionar como adubo orgânico e em alguns casos como defensivo

natural para diversas culturas e pastagens, favorece ainda a melhoria da qualidade dos solos, alterando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (NASCIMENTO, 2010).

A utilização do biofertilizante favorece o desempenho das plantas, tornando-as mais vigorosas e produtivas, além de funcionar como defensivo para algumas espécies predadoras, podendo ser utilizado em substituição aos produtos químicos que tem alto poder de contaminação (WESTRUP et al., 2015).

2.7 Vantagens e desvantagens econômicas do uso de biodigestores

Diante às alterações ambientais existentes no planeta a busca por inovações que auxiliem a redução da poluição ambiental é foco de estudos aprofundados nas últimas décadas, tendo em vista o aumento da qualidade de vida, melhorias ambientais e sempre atendendo as exigências da legislação quanto ao manejo de estercos de animais. Para a produção de suínos existem regulamentos específicos com exigências e critérios de manipulação dos dejetos desses animais, portanto é necessário o crescimento de processos para tratamento desses resíduos, que reduzam custos e utilize de tecnologia ambientalmente adequada (RITTER et al., 2013).

Prado et al. (2012) explicam que dentre as desvantagens existe custo inicial alto, para grandes propriedades que precisam acima de um biodigestor, e também carência de incentivo de política pública em relação às pesquisas quanto para aquisição.

Bezerra et al. (2013) em estudo realizado em propriedades rurais que utilizam biodigestores enfatizam que

os custos para instalação da tecnologia foram irrisórios, pois grande parte dos recursos físicos foram reutilizados ou doados. Como visto, por mais que a atividade de suinocultura esteja atrelada a altos níveis de poluição é possível reduzir os efeitos danosos ambientais com tecnologia acessível e sustentável permitindo a continuidade da atividade rural. Além disso, a produção de biogás reduz custos diários com outras fontes de combustível renovável.

Para famílias rurais a apropriação de tecnologia sustentável e de baixo custo trouxe a oportunidade de fomentar suas propriedades rurais. Os biodigestores são tecnologias eficazes para o meio ambiente bem como o nível econômico. No quadro 1.1, Prado et al. (2012) esclarecem os prós e contras econômicos da utilização da tecnologia do biodigestor.

Quadro 1.1 – Benefícios e desvantagens econômicas do uso do biodigestor

BENEFÍCIOS	DESVANTAGENS
Fonte de energia renovável	Pode haver produção de odores indesejáveis
Utilização de biofertilizante como adubo	A demanda de material orgânico pode não ser atingida para fins lucrativos, sendo assim adequado para uso doméstico
Obtendo adubo orgânico pode ocorrer incentivo a agricultura familiar	Custo de investimento inicial é elevado
O gás metano resultante pode ser utilizado para obtenção de energia e calor	Não tem apoio do governo e assistências técnicas

Fonte: Prado et al. (2012).

Silva (2016) realizou estudo de custos de implantação de biodigestor no município de Barreira, Maciço de Baturité, Ceará. O equipamento possui estrutura de 2 me-

tros de profundidade e aproximadamente 3,50 metros de circunferência, no total a tecnologia resultou no valor de R\$ 2.903,50 de materiais e serviços, apresentando-se razoavelmente baixo comparado aos benefícios proporcionados às famílias rurais.

Estudos sobre a produção de energia elétrica a partir do biogás gerado por dejetos de animais como por exemplo os suínos, são mencionados em diversas pesquisas, e a introdução da análise econômica ainda é pouco explorada. Com a perspectiva de comercialização de créditos de carbono, houve, a partir de 2005, um interesse e aumento na adesão de biodigestores pelos produtores de suínos. Assim ocorreu um considerável incremento na disponibilidade de biogás e ao início da alternativa da geração de energia elétrica que pode ser utilizada no sistema de produção ou ser vendida para as concessionárias (MARTINS; OLIVEIRA, 2011). No quadro 1.2, Silva (2016) ilustra as vantagens de utilizar o biogás.

O uso do biogás gerado pelos dejetos de suínos na substituição de fontes de energia num assentamento rural foi estudado por Esperancini et al. (2007). Os autores avaliaram o uso domiciliar, o biogás foi aproveitado na cocção, aquecimento de água e iluminação. A economia anual foi de R\$ 3.698,00 e a recuperação do investimento ocorreu em dois anos e meio. Na produção, a energia foi utilizada em diversos equipamentos.

O potencial de geração de energia elétrica de sistema de tratamento de esgoto foi avaliado por Costa (2006) que comparou uma microturbina e um conjunto motor-gerador para fornecer 30 KW. Para o gerador, o investimento inicial foi de R\$ 822,67 por kW instalado, e o custo da geração foi de R\$ 0,034 kWh⁻¹.

Quadro 1.2 - Vantagens de utilização do biogás oriundo da digestão anaeróbica em biodigestor.

VANTAGENS
Não há necessidade de expansão de rede, pois está próximo aos centros consumidores
Menor dependência de condições climáticas
Conta com vantagens tributárias
Mais “limpo” que o gás natural
Operação carbono neutro
Independência da descoberta e disponibilidade de reservas naturais para ser produzido
Eliminação de impacto ambiental
Pode utilizar diversas matérias orgânicas para ser produzido

Fonte: Silva (2016).

Martins e Oliveira (2011) demonstraram a viabilidade econômica da geração de energia elétrica com o uso do biogás gerado a partir da digestão anaeróbia de dejetos de suínos. Os autores relatam que é mais vantajoso economicamente o uso desta energia na propriedade rural, substituindo ou reduzindo a aquisição da energia elétrica distribuída pela concessionária. No entanto, é necessário que a propriedade rural tenha equipamentos, instalações que necessitem de uma quantidade de energia que justifique os investimentos na geração com o uso do biogás. Um fator limitante na viabilidade técnica do sistema de geração de eletricidade é o número de animais necessário para produzir os resíduos que são transformados em biogás.

Diante disso, existem diversas equações na literatura que podem ser utilizadas para dimensionar a capacidade

de do biodigestor para a produção de biogás, quantidade de toneladas métricas de biogás, quantidade de metano produzida, toneladas métricas de CO_2 reduzidas por ano, volume total de CH_4 gerado por ano e cálculo do volume total de energia elétrica gerada por ano.

O cálculo do dimensionamento da capacidade do biodigestor para a produção de biogás pode-se utilizar a equação (1) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{VBm}^3 = \frac{\text{VDT} \times \text{QTA}_{\text{un}} \times \text{TRH}}{1000} \quad (1)$$

Em que:

VBm^3 = Volume do biodigestor em m^3

VDT= Volume de dejetos total

QTA_{un} = Quantidade total de animais

TRH= Tempo de retenção hidráulica

Para determinar a quantidade de toneladas métricas de biogás/ano () resultante da decomposição anaeróbica de esterco de animais, leva-se em consideração o volume de esterco que cada unidade animal gera por dia, o volume de biogás que esse dejetos gera por dia e a massa específica do biogás ($1,16\text{kg}/\text{m}^3$), conforme ilustrado na equação (2) (BARRERA, 1993).

$$\text{Ton. biogás}_{\text{ano}} = \frac{\text{QTA}_{\text{un}} \text{ T}_{\text{dias}} \text{ BGM}_{\text{dias}} \text{ M. esp. Biogás}}{1000} \quad (2)$$

Em que:

QTA_{un} = quantidade total de animais

T_{dias} = tempo em dias

BGM_{dia} = biogás gerado por matriz por dia

$\text{M. esp.}_{\text{biogás}}$ = massa específica do biogás

Com a finalidade de calcular a quantidade de metano produzida por ano em toneladas, pode-se utilizar o total de biogás produzido por ano. Dessa forma, a equação (3) corresponde ao cálculo do valor referente à percentagem de metano existente no biogás (60%) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{Tonelada CH}_4_{\text{ano}} = \text{Tonelada biogás}_{\text{ano}} \times 60\% \quad (3)$$

Para estimar a quantidade de óxido nitroso produzido por ano, em toneladas, deve-se utilizar o total de biogás produzido por ano equação (2) e o valor correspondente à percentagem de óxido nitroso existente no biogás (14%) para isso pode utilizar a equação (4) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{Tonelada óxido nitroso} = \text{Tonelada biogás}_{\text{ano}} \times 14\% \quad (4)$$

A determinação do cálculo de toneladas métricas de dióxido de carbono (CO_2) reduzidas por ano em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pode ser verificado pela equação (5) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\frac{\text{Tonelada métrica CO}_2}{\text{ano}} = \frac{\text{Tonelada x metano}_{\text{ano}} + \text{Tonelada óxido nitroso}_{\text{ano}}}{\text{ano}} \quad (5)$$

No cálculo do volume total de CH_4 gerado por ano ($V_{\text{total}} \text{CH}_4 \text{ m}^3 / \text{ano}$) pode se estimar pela equação (6) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$V_{\text{total}} \text{CH}_4 \text{ m}^3 / \text{ano} = \text{QTA}_{\text{un}} \times \text{BGM}_{\text{dia}} \times T_{\text{dia}} \times P \times \text{CH}_4 \quad (6)$$

Em que:

QTA_{un} = quantidade total de animais

BGM_{dia} = quantidade de esterco dia

T_{dias} = tempo em dias

$P.CH_4$ = percentagem de CH_4

Para calcular o volume total de energia gerada por ano (E. total. KW_{ano}), considera-se o total de produção de CH_4 e o dado de geração de KW por m^3 queimado multiplicado pela eficiência do sistema (80%), assim, utiliza-se a equação (7) (BARRERA, 1993).

$$E. \text{ total. } KW_{ano} = V. \text{ total. } CH_4 m^3 / \text{ ano } \times KW / m^3 CH_4 \text{ queimado } \times EF \quad (7)$$

Em que:

$E. \text{ total } CH_4 m^3 / \text{ ano}$ = volume total de CH_4 gerado por ano

$KW / m^3 CH_4 \text{ queimado}$ = KW gerado por metro cúbico de CH_4 queimado

EF = eficiência

O Brasil tem se tornado um potencial gerador de projetos, dentro de dois segmentos previstos no Protocolo de Quioto, o Setor de Sequestro de Carbono, com projetos de florestamento e reflorestamento e o Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, sendo este a busca de alternativas de tecnologia menos poluidoras, como, por exemplo, a queima do gás metano (CH_4), gerando dióxido de carbono (CO_2). O que ocorre nesse processo é que o CH_4 tem potencial poluidor referente ao GWP (Global Warming Potencial) 21, enquanto que o CO_2 tem potencial poluidor GWP 1, assim a queima de gás CH_4 reduz seu potencial de poluição em 20 vezes (OLIVEIRA; DOMINGUES, 2011).

Ainda segundo Oliveira e Domingues (2011), para atender aos critérios de adicionalidade, nos quais se refere aos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo deverão disponibilizar benefícios em longo prazo, reais e mensuráveis com as finalidades de diminuir a mudança do clima e redução do efeito estufa e promover uma diminuição de emissão que seja adicional, ou seja, uma redução de emissões que não seria obtida no caso da inexistência do projeto. Traça-se de uma linha de base cujo é definido um cenário, demonstrando o que aconteceria se a atividade do projeto não ocorresse. Deste da linha de base, pode-se definir a adicionalidade, que é basicamente o detalhamento das atividades do projeto.

O mercado mundial de troca de créditos de carbono com base em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo saltou de US\$ 330 milhões em 2004 para US\$ 4 bilhões em 2005. Em termos práticos, o mercado de transações de Créditos de Carbono começou a alavancar a partir desses anos, segundo o gerente de mudanças climáticas do banco ABN Amro Real. Dessa forma, criou-se o mercado de carbono e a principal razão para sua criação decorre das diferenças de custos de redução das emissões de Gases do Efeito Estufa em projetos de mitigação. Qualquer segmento produtivo que almeje reduzir as emissões de Gases do Efeito Estufa em longo prazo terá que se dispor a executar grandes alterações nas plantas de produção para que as metas de reduções sejam alcançadas. Isso ocasiona um custo maior por tonelada reduzida no seu projeto do que aquele pago pela tonelada reduzida nos projetos de mitigação, nos países em desenvolvimento (CARVALHO; NALASCO, 2006).

Conforme Oliveira e Domingues (2011) os projetos de extração e aproveitamento de biogás em plantas de tratamento de resíduos sejam de origem agropecuária, esgoto, lixo urbanos, dentre outros, aumentam a eficiência global dos processos, amenizam o impacto ambiental do biogás na atmosfera e diminuem o consumo de eletricidade da instalação. Além disso, por se enquadrarem no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, o aproveitamento do biogás gera receitas oriundas dos créditos de carbono que podem ser obtidos, sendo muitas vezes cruciais na viabilidade econômica do projeto.

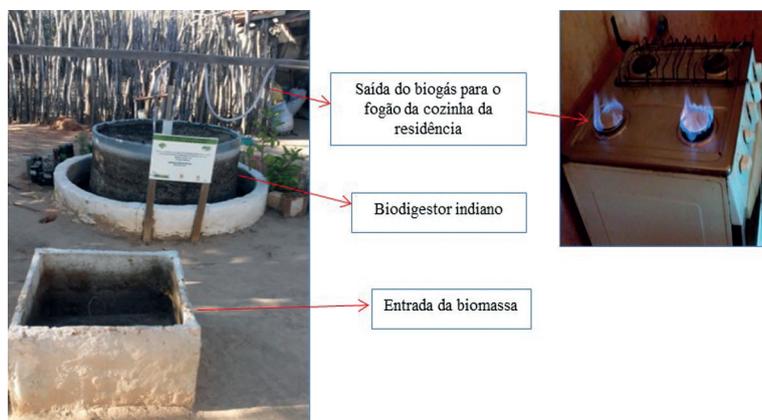
Em estudo conduzido por Giovanini et al. (2013) na análise da quantidade produzida de CO_2 pela bovinocultura no estado do Rio Grande do Sul, ressaltam que a adoção de biodigestores promove a mitigação anual de 46.902ton equiv. CO_2 ano⁻¹, permitindo a geração de R\$ 713.147,00 em créditos de carbono e a emissão de 1.018.138,956m³ de biogás por ano, com os quais poderiam ser produzidos 4.698MW de energia elétrica. Ressaltam ainda, que mesmo considerando um cenário em que o produtor recolha apenas o esterco que fica nas suas instalações, 23.451 toneladas equivalentes de CO_2 deixariam de ser emitidas e permitem a geração de cerca de R\$ 356.567,00 em créditos de carbono e a obtenção de 3.982.146m³ de biogás por ano, o que possibilita produzir 2.349MW de energia elétrica.

Ressaltam ainda, que a produção de energia elétrica no Brasil expressa 0,45kg de CO_2 por MW de energia elétrica gerada. Dessa forma, a produção dessa energia com o uso da tecnologia de biodigestor promoveria a redução de 2.114ton equiv. de CO_2 e a obtenção de R\$ 32.142,00 créditos de carbono adicionais, resultaria em

R\$ 35.716,00, se considerar a utilização de apenas 50% do esterco produzido.

Um exemplo de biodigestor indiano construído na localidade de Lagoa do Serrote no município de Ocara, maciço de Baturité, Ceará, que está dando certo e promove vários benefícios para as pessoas que utilizam essa tecnologia sustentável (Figura 1.4). Nessa localidade têm-se conhecimento de três biodigestores indianos instalados no Assentamento Denir. Os sete assentamentos existentes no município se reuniram com o propósito de escolher uma tecnologia de convivência com o Semiárido na perspectiva agroecológica e teve como resultado a seleção do biodigestor.

Figura 1.4 – Biodigestor indiano na Lagoa do Serrote, município de Ocara, Maciço de Baturité, Ceará.



Fonte: Autores (2018).

O processo de instalação foi realizado através da Cooperativa de Trabalho Prestadora de Serviços e Assessoria Técnica – COPASAT e a equipe de Assistência Técnica

e Extensão Rural – ATER as quais orientaram e acompanharam todo o processo, efetivado com mão de obra voluntária da comunidade local.

Na Figura 1.5, ilustra-se o primeiro biodigestor indiano construído no assentamento e depois destes foram construídos mais dois. O biodigestor possui porte pequeno e foi construído com material de baixo custo facilmente disponível no comércio local. Esse equipamento tem capacidade total de aproximadamente 40 kg de biomassa, sendo composto por câmara de biodigestão, caixa de carga e caixa de descarga. O seu abastecimento com a biomassa é executado de dois em dois dias com 15 kg de esterco fresco de bovino e adição de água na mesma quantidade, para facilitar a degradação anaeróbia da biomassa.

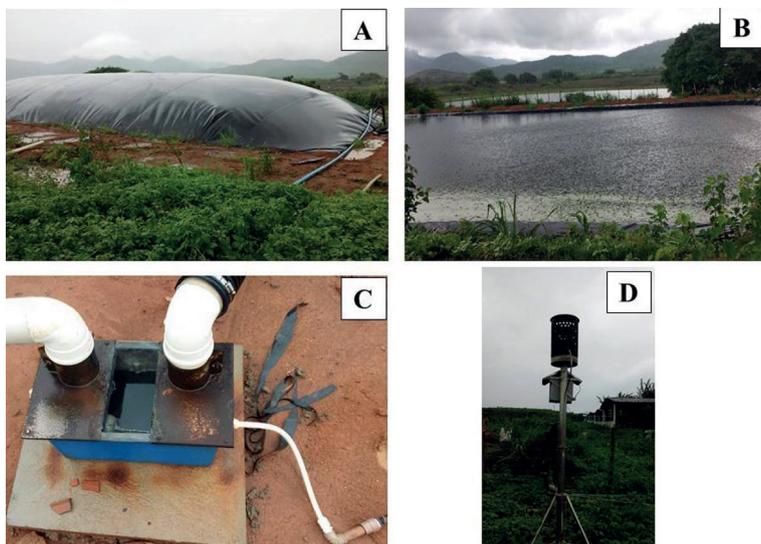
O biogás é produzido diariamente sendo suficiente para suprir a carência de gás da cozinha GPL de aproximadamente duas famílias, sendo que, cada uma é composta de cinco membros. Outro produto originado da digestão anaeróbia é o biofertilizante.

A família que se beneficiou com a construção desse biodigestor relata que o biogás e o biofertilizante produzidos são utilizados constantemente.

Conforme os agricultores a utilização dessa tecnologia estão sendo bastante útil principalmente por não necessitarem comprar gás de cozinha GPL (gás liquefeito de petróleo) e usarem o biogás no cozimento dos alimentos favorecendo a economia doméstica da família contemplada com o equipamento. Já o biofertilizante é utilizado na horta para a produção de várias hortaliças (cebolinha, coentro, pimenta, alface, couve, etc) e algumas fruteiras (banana, mamoeiro, coqueiro, limoeiro, etc), portanto abstém-se de gastos financeiros com adubo para as plantas.

Outro exemplo é um biodigestor no município de Redenção, distrito de Antônio Diogo, é do tipo canadense e está instalado em uma fazenda de suínos e possui a finalidade para destinar corretamente os dejetos dos animais e solucionar impactos ambientais (Figura 1.5).

Figura 1.5 – Biodigestor canadense localizado em Redenção, Maciço de Baturité, Ceará: A) Biodigestor canadense (200 m³), B) Lagoa de estabilização para armazenar o biofertilizante, C) Filtro de água e D) Saída do biogás.



Fonte: Autores, (2018).

Esse equipamento possui capacidade de 200 m³ (A), duas lagoas de estabilização para armazenar o biofertilizante (B), um filtro de água para a filtração do sulfeto de hidrogênio e um queimador para saída do biogás (D).

Antes da instalação do biodigestor os dejetos dos animais foram utilizados para a adubação da pastagem para alimentação dos animais. Percebeu-se que os dejetos

estavam causando a contaminação do solo e mananciais de água da fazenda, foi então que se tomou a decisão de instalar um biodigestor para solucionar esse problema.

A fazenda possui uma criação de suíno de porte médio e os animais são mantidos em confinamento e tem-se uma produção de 5.000 suínos por mês em regime de engorda. Os sistemas de criação de suínos confinados originam grandes quantidades de dejetos, que necessitam de uma destinação adequada. Segundo Genova et al. (2015) dentre as alternativas possíveis, aquela de maior receptividade aos agricultores têm sido a utilização como fertilizante. Enquanto persistir o desequilíbrio entre a composição química dos dejetos e a quantidade de nutrientes requerida pelas plantas, recomenda-se um alerta quanto à sustentabilidade dos sistemas agrícolas adubados com tais resíduos, porque resultarão em acúmulos de nutrientes no solo, que, em excesso, serão nocivos ao ambiente.

Por isso, que a solução mais adequada é a utilização do biodigestor que após os dejetos de suínos passarem por um processo de digestão anaeróbia dentro biodigestor resultará em biogás e biofertilizante. O biogás pode substituir o gás GPL usado na cocção dos alimentos, aquecimento de caldeiras e também ser transformado em energia elétrica e o bifertilizante pode ser usado como adubo orgânico, contribuindo para reduzir os custos de produção da fazenda.

O proprietário da fazenda relata que investiu R\$ 200.000,00 para a instalação do biodigestor canadense. A estimativa de energia elétrica que pode ser gerada e a economia que pode ser gerada usando o biogás ficam em torno de R\$ 15.000,00 por mês e por ano seria R\$ 180.000,00.

O biodigestor da fazenda produz biogás diariamente. Além disso, a parte líquida do biofertilizante armazenado nas lagoas de estabilização é usado para adubação das pastagens por meio de fertiirrigação via pivô central. Essa pastagem serve para alimentação dos animais da fazenda.

Em ambos os casos é evidente a relevância da instalação dos biodigestores para o meio ambiente, seja através da redução do lançamento de dejetos animais diretamente no solo, bem como pela reciclagem da matéria orgânica ou ainda pela substituição do uso de combustível oriundo de fonte não renovável por outro de fonte renovável, no caso o biogás.

Alguns autores tais como o Fukuda (2013) relatam a dificuldade de compreender que dentre tantos benefícios oriundos da tecnologia haja pouco incentivo público para aumentar a quantidade de biodigestores no país, principalmente no campo, onde a energia se torna mais elevada pelo espalhamento de distribuição e onde meios de saneamento são mais precários. No entanto quando analisado o custo e o tempo do retorno do investimento percebe-se que com o preço do gás GLP um biodigestor indiano ou chinês permite recuperar o investimento em aproximadamente um ano, mas como observado *in situ* não há uma melhoria significativa no padrão de vida dos pequenos produtores rurais que utilizam esta tecnologia.

Considerando que um botijão de gás GLP custa entre oitenta e noventa reais (valores do ano de 2018) uma família que utilize dois botijões por mês estaria poupando com a instalação de um biodigestor R\$160,00 por mês e se somamos a isto uma pequena produção de artigos alimentícios poderíamos ver que esta família teria um lucro mensal de aproximadamente R\$ 400,00 o que daria uns

quatro mil e oitocentos reais por ano de ingressos adicionais. Porém, verificando o valor da bolsa família paga pelo governo federal pode-se observar que uma família com vários membros pode receber até dois mil e quinhentos reais por ano. Será que a maioria das famílias iria arriscar investir em biodigestor ou apenas receber a bolsa família. É um questionamento para o qual ainda não temos uma resposta definitiva.

Para outros autores tais como Turdera e Yura (2006) a visão social deve ser primordial na abordagem de viabilidade de biodigestores antes que absolutamente econômica. Para estes autores conceder desenvolvimento social e econômico as localidades rurais, por vezes carentes de meios que facilitem o conforto, traria impactos positivos gerais na sociedade.

Um exemplo dessa visão social é o Projeto Biodigestores – Proteção do Clima e Combate à Pobreza no Nordeste desenvolvido pela Cáritas Brasileira. A diretoria da Cáritas Diocesana de Caruaru, é a responsável pela execução do projeto junto com parceiros locais. De acordo com Ângelo Zanré, a tecnologia do biodigestor deve ser integrada a outras tecnologias sociais que estão sendo utilizadas para convivência com o Semiárido. “A beleza da experiência revela que deve ser um sistema integrado, um ciclo que se complementa. Essa é uma visita de intercâmbio, de troca de experiência, de aprendizado”, destacou Zanré (CÁRITAS BRASILEIRA, 2015). Infelizmente em 2018 Cáritas deixou de realizar investimentos em biodigestores (Comunicação particular – Eisle, 2018).

Em diversas reuniões do setor elétrico em Fortaleza os bancos afirmam ter o dinheiro para realizar essa visão social da qual falam Turdera e Yura (2006), só que

quando consultados pelo dinheiro investido pode-se ver que apenas uma fração do disponível está sendo utilizado para ajudar às famílias rurais. Silva (2016) relata que para instalação de um biodigestor modelo indiano em uma propriedade de um hectare o Banco do Nordeste investiu R\$ 2.903,50 para ser pago em 12 meses pelo o proprietário, depois de um ano ao quitar o investimento, já se tem o retorno financeiro do investimento no equipamento.

Do ponto de vista social é totalmente válido que as famílias rurais no semiárido possam dispor desta tecnologia do biodigestor já que ajuda financeiramente incrementando a renda familiar e ainda ajudando ao meio ambiente. Mas o biodigestor por si só não ajuda à mobilidade social das famílias. Outra possibilidade para se obter dinheiro desta tecnologia seria a venda de créditos de carbono.

Pode-se afirmar que Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados expedido para uma pessoa ou empresa que reduziu a sua emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por definição, 1 tonelada de CO₂ corresponde a um crédito de carbono. Já uma tonelada de CH₄ corresponde a 21 créditos de carbono (OLIVEIRA; DOMINGUES 2011). Os poluidores compram os créditos daqueles que ajudam a melhorar o meio ambiente. Isto é feito a través das bolsas de mercadorias e valores no mundo todo e se utiliza o mercado futuro do crédito de carbono. Em 2018 o mercado futuro dos créditos de carbono indicava que um crédito de carbono equivalia a 13 euros.

Se quisermos saber quanto um biodigestor produz em créditos de carbono precisamos saber a massa específica do metano para podermos calcular quantas toneladas deste gás o biodigestor produz por ano. O CH₄ tem uma massa específica de 0,656 kg/m³. Um biodigestor chinês

ou indiano como o de barreira ou os instalados pela Cáritas Brasileira ou no assentamento em Ocara produzem de 1 a 2 m³ por dia de metano. Isto significa que este tipo de biodigestor produz de 0,23 a 0,46 toneladas de CH₄ por ano. O valor em créditos de carbono seria equivalente a um total de 3 a 6 euros por ano. Ou seja, um biodigestor pequeno para uma propriedade rural com poucos animais não seria capaz de produzir suficiente dinheiro com créditos de carbono.

Já um biodigestor maior tal e como o que se observa na Figura 2 que tem uma produção de 200 m³ por dia é responsável pela produção de 47,232 toneladas de metano por ano. Em créditos de carbono isto corresponde a 987 ou equivalente a cinquenta e quatro mil reais em um ano (R\$ 54.000,00/ano). Observe-se que infelizmente a tecnologia não favorece aos pequenos produtores rurais. A pergunta que se deveria fazer então é qual é o número mínimo de animais para que o biodigestor possa ser significativo neste mercado de créditos de carbono. Para Giovanini et al (2013) a utilização da tecnologia de biodigestores se mostra viável apenas em 63% das propriedades que têm gado leiteiro, as quais possuem mais de 20 animais por propriedade. Segundo esses autores, lamentavelmente, nas propriedades com menos de 20 animais, a receita auferida não compensa os custos incorridos, e isso extingue o montante de CO₂ mitigado. Ressalta-se que um estudo similar é necessário para a suinocultura.

Pode-se observar então que de acordo com Fukuda (2013) e Torneria e Yuda (2006) os biodigestores em pequenas propriedades rurais realmente deveriam ser um alvo para o governo incentivar a agricultura familiar. Estes biodigestores farão que as famílias possam incrementar a

sua renda familiar afastando-as da pobreza extrema. Já os biodigestores maiores permitem a geração de energia elétrica e também diminuem consideravelmente os danos ao meio ambiente pela atividade da suinocultura, inclusive podendo se beneficiar da venda de créditos de carbono.

O Maciço de Baturité é fortemente caracterizado por sua estrutura de agricultura familiar; e o processo energético a partir de resíduos sólidos orgânicos como biodigestor surge como tecnologia viável ao pequeno, médio e grande produtor rural, pois atende a sua demanda energética e agrega valores e benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Através de dados levantados, identificou-se ainda que a região do Maciço de Baturité demonstra potencial para a instalação de vários biodigestores em seus municípios para solucionar possíveis problemas ambientais provocados pelos dejetos de animais principalmente os suínos. No entanto, percebe-se que muitos agricultores da região desconhecem essa tecnologia sustentável, impossibilitando assim, os mesmos a favorecerem-se dos produtos gerados com o seu uso.

Portanto, a busca pelo equilíbrio entre o crescimento econômico e a manutenção dos recursos naturais tem nos últimos anos fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável, e para tal tem-se procurado estabelecer mecanismos capazes de subsidiar as ações da sociedade que conduzam na direção do desenvolvimento sustentável (KEMERICH et al., 2014). Nesse sentido, a tecnologia do biodigestor contribui com a sustentabilidade ambiental, pois, destina adequadamente os dejetos gerados pelos os suínos, além, de promover incremento na renda familiar das pessoas que a utilizam.

CAPÍTULO III

APLICABILIDADE DOS PRODUTOS ORIUNDOS DA BIODIGESTÃO

3.1 Características do biogás

Assim como o biofertilizante, o biogás é um produto originado do processo de fermentação realizado por microrganismos. Normalmente é produzido em biodigestores, pela ação de bactérias com limites de temperatura, teor de umidade e acidez e tem poder calorífico suficiente para ser usado como fonte de calor, principalmente para a produção de energia elétrica ou para abastecer o fogão, substituindo o gás de cozinha ou consumo de lenha no meio rural (SILVA; FRANCISCO, 2010; PEREIRA, 2011).

O biogás é um produto em estado gasoso com características que podem ser comprovadas em Royae et al. (2011) onde ele afirma que “sua forma gasosa é constituída principalmente por uma mistura de hidrocarbonetos (compostos químicos formados por Carbono e Hidrogênio) como o Dióxido de Carbono (CO_2) e o gás Metano (CH_4)”. A proporção teórica dos componentes do biogás se apresenta na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Componentes do biogás

Componente	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	55-75
Gás carbônico (CO ₂)	25-45
Nitrogênio (N ₃)	<3
Hidrogênio(H ₂)	<2
Oxigênio	0 - 0,1
Gás sulfídrico (H ₂ S)	<1

Fonte: Royae et al. (2011).

Experimentalmente Alcócer et al. (2014) observaram que a proporção dos gases no 18 dia foi 37,5% de CO₂ e 62,5% de CH₄. Estes valores são para uma experiência de batelada em que o material é colocado só uma vez. Isto significa que depois decimo oitavo dia é que obtemos o gás metano. O operador do biodigestor deve esperar que as bactérias efetuem a fermentação.

A quantidade e o tipo de biomassa utilizada na alimentação do biodigestor determinam o volume de produção do biogás. Assim, a quantidade de animais existentes na granja ou plantel, determina a produção de esterco e conseqüentemente de biogás. Da mesma forma acontece com os resíduos vegetais que são dispostos para a realização do processo de decomposição.

Na Tabela 3.2 é apresentado a quantidade média de produção de esterco gerada por espécie animal.

Tabela 3.2 – Produção de esterco por espécie animal.

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (em kg por dia)
Bovinos	10,00
Suínos	2,25
Aviários	0,18
Equinos	10,00

Fonte: Santos e Nardir Junior (2013).

Em relação a geração diária de biogás, além das espécies animais, o tipo de alimentação que está sendo fornecida é um fator que também influencia na estimativa de produção. A Tabela 3.3 relaciona a média de produção de biogás a partir de dejetos de diversas espécies animais.

Tabela 3.3 – Produção de biogás a partir de dejetos animais

Material	Rendimento (m³) de biogás por kg de material orgânico
Esterco fresco bovino	0,04
Esterco seco de galinha	0,43
Esterco seco de suíno	0,35

Fonte: Santos e Nardir Junior (2013).

Levando em consideração que um bovino produz 10 kg de esterco por dia, todos confinados, seriam necessários 3 animais para gerar um m³ de biogás. Em relação aos suínos, seriam necessários 2 animais para gerar a mesma quantidade de biogás. Para a realização do cálculo utiliza-se o valor referente a quantidade de dejetos produzidos diariamente por animal e multiplica pela quantidade de m³ de biogás gerado por kg de esterco. Em seguida utiliza-se a regra de três simples, como no exemplo a seguir (OLIVER et al., 2008).

Exemplo com suínos:

2,25 (esterco dia/por suíno) X 0,35 (m³ de biogás/kg de esterco) = 0,7875 m³ de biogás/dia

1 suíno _____ 0,7875 m³ de biogás por dia

X suíno _____ 1m³

X = 1 / 0,7875 X = 1,3 suínos (ou seja, 02 animais).

A produção de biogás em um biodigestor é variável em função do tamanho de cada propriedade, devido ao dimensionamento do biodigestor e também em função da quantidade de animais e do sistema de criação de cada propriedade. De forma prática, pode-se considerar que a produção de biogás oscila entre 0,5 – 0,7 m³ biogás dia⁻¹ por m³ de biomassa por volume do biodigestor. Na prática, se considerar um biodigestor com 100 m³ de volume, este teria potencial para gerar entre 50 – 70 m³ biogás dia⁻¹. Porém, a produção de biogás tem um fator decisivo que é o tipo de esterco que será usado para a produção deste. Seja qual for o material orgânico pode ser utilizado na biodigestão, no entanto os que apresentam maior rendimento são os de aves e suíno, conforme verificado na Tabela 3.3, sendo os mais usados são os dejetos de suínos (COLATTO; LANGER, 2011).

O suíno gera aproximadamente 2,25 kg de resíduos por dia (SGANZELA, 1983), para contextualizar observa-se um exemplo a seguir: uma propriedade suinícola de 104 matrizes comporta aproximadamente 1.115 animais por mês, portanto, 2.508,75 Kg de dejetos por mês. Utilizando a equação (1) e a Tabela 3.4, calcula-se a quantidade por mês de metano em m³ (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013):

$$\text{CH}_4 = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times \text{Et} \times \text{conc. CH}_4 \times \text{VE}^{-1} \quad (1)$$

Em que:

Et = Esterco total [Kg esterco t (dia. Unidade geradora)⁻¹].

Pb = Produção de biogás

Conc. CH₄ = Concentração de metano no biogás [%]

VE⁻¹ =Volume específico do metano [Kg.CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹], sendo este igual a 0,670 Kg.CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹.

Tabela 3.4 – Valores de conversão energética por alguns efluentes.

Origem do material	Kg de esterco (dia. unidade geradora) ⁻¹	Kg de biogás Kg de esterco ⁻¹	Concentração de CH ₄
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Equinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouros (kg)	1	0,1	55%
Vinhoto (kg)	1	0,018	60%

Fonte: Santos e Nardi Junior (2013).

3.2 Utilização prática do biogás

O biogás produzido pelo processo da biodigestão é uma importante fonte de energia e calor, sendo bastante utilizado principalmente para a produção de energia elétrica ou para abastecer o fogão, substituindo o gás de cozinha ou consumo de lenha no meio rural.

A substituição da lenha pelo biogás, além de eliminar a emissão de fumaça, contribui para o combate ao desmatamento e conseqüentemente para a minimização do efeito estufa. Outro fator associado está relacionado a

eliminação do uso do gás GLP (gás liquefeito de petróleo), diminuindo custos de aquisição e transporte.

De acordo com a literatura, um metro cúbico de biogás possui equivalência energética a 0,80 kg de carvão vegetal, 1,5 kg de lenha, 0,55 L de óleo diesel 0,45 kg de GLP e 1,43 kWh em energia elétrica, onde 1,0 m³ de biogás equivalem aproximadamente 4,5 kWh (BARREIRA, 2011; COSTA, 2006).

Para a produção de 1 m³ de biogás é preciso colocar no biodigestor uma certa quantidade de material orgânico. Na tabela 3.4 pode-se observar aproximadamente quanto material é necessário para a obtenção de um metro cúbico de gás. O produto que for para a câmara de fermentação precisa ter um percentual de água de 90 a 95% em relação ao peso do mesmo. Para o esterco bovino, que possui em média 85% de umidade, é necessário acrescentar 100% de água em relação ao seu volume, atingindo a proporção 1:1. Isto significa que se colocamos 25 kg de esterco fresco de vaca é necessário acrescentar 25 litros de água na temperatura correta, entre 15 e 35 graus célsius. Alterações do pH no interior do biodigestor podem afetar drasticamente as bactérias envolvidas no processo; idealmente este parâmetro deve estar entre 7 e 8. A redução do pH abaixo dos limites ideais pode cessar a biodigestão

Tabela 3.4 – Capacidade de gerar 1 m³ de biogás.

Material	Quantidade (kg)
Esterco de suíno	12
Esterco fresco de vaca	25
Esterco seco de galinha	5
Resíduos Vegetais	25
Lixo	20

Fonte: Barreira(1993).

No esterco de suíno, é necessário acrescentar 130% de água, já que o mesmo apresenta apenas 19% de umidade. Os resíduos que precisam de mais água são: o esterco dos ovinos e dos caprinos, que exigem 320% de água, sendo que a sua umidade é extremamente baixa.

O biogás pode-se utilizar para realizar uma queima direta. Neste caso estamos trocando o biogás pelo equivalente em gás GLP. Na figura 3.1 pode-se observar um fogão especialmente construído para o biogás, mas o produtor rural não precisa adquirir este produto já que sempre é possível adaptar o fogão existente na propriedade.

Figura 3.1 – Fogão utilizando biogás.



Fonte: Autores (2018).

Para ver um exemplo vamos supor que numa propriedade seja esperada a produção média de 10 m³ de biogás por dia. Isto equivale a 10 botijões de GLP de 13 kg por mês. Uma produção desta magnitude pode-se obter.

3.3 Utilização do biofertilizante

O biofertilizante é um dos produtos derivados da técnica de fermentação. A ação é efetuada por microrganismos e gera adubo líquido de excelente qualidade para as plantas. Para a sua produção é utilizado, na sua maioria esterco fresco, mas também há a possibilidade de utilização de espécies vegetais.

Com poder de fertilização, o uso do biofertilizante favorece o desempenho das plantas, tornando-as mais vigorosas e produtivas, além de funcionar como defensivo para algumas pragas e doenças, podendo ser utilizado em substituição aos produtos químicos que tem alto poder de contaminação (WESTRUP et al., 2015).

A garantia da qualidade do biofertilizante é dada especialmente pelo reduzido teor de gás carbônico que aumenta a quantidade de nitrogênio presente. Também aumentam a solubilidade de outros nutrientes do fertilizante sendo assim absorvidos mais fácil e integralmente pelo solo. Isto faz com que o fertilizante produzido seja muito eficiente (ROYA et al., 2011).

O produto líquido é de fácil aplicação e o material sólido apresenta-se sem cheiro e pode ser colocado diretamente nas plantas. O biofertilizante além de funcionar como adubo orgânico e em alguns casos como defensivo natural para diversas culturas e pastagens, favorece ainda a melhoria da qualidade dos solos, alterando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (NASCIMENTO, 2010).

Assim como o biofertilizante, o biogás é um produto oriundo do processo de fermentação realizado por microrganismos. Normalmente é produzido em biodiges-

tores, fermentados pela ação de bactérias com limites de temperatura, teor de umidade e acidez e tem poder calórico suficiente para ser usado como fonte de calor, principalmente para a produção de energia elétrica ou para abastecer o fogão, substituindo o gás de cozinha GLP ou consumo de lenha no meio rural (SILVA; FRANCISCO, 2010; PEREIRA, 2011; VIEIRA et al., 2016).



CAPÍTULO IV

PLANEJANDO A CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

4.1 Dimensionamento do volume de biomassa disponível

Para dimensionar o volume de biomassa gerada na propriedade faz-se necessário fazer um controle rigoroso de sua produção, através do processo de pesagem. Normalmente, as residências dispõem de animais domésticos responsáveis pelo consumo dos restos de comida, portanto essa matéria orgânica não pode ser quantificada como material a ser tratado.

Os materiais necessários a serem tratados devem ser aqueles que estão sendo produzidos e descartados sem aproveitamento econômico, que tem potencial poluidor do meio ambiente ou geram incômodos a população das propriedades vizinhas.

Portanto, os materiais que mais se enquadram nessa categoria são os dejetos animais, principalmente resultantes da atividade produtiva da criação de suíno.

4.2 Dimensionamento do biodigestor

A instalação do biodigestor deve ser baseada na quantidade de biomassa residual gerada na propriedade que precisa ser tratada, mas também deve-se levar em consideração a possibilidade de aumento desses

materiais, evitando futuros investimentos para atender a demanda de tratamento. Com essa informação e considerando os variados modelos disponíveis no mercado, o produtor rural poderá dimensionar o tamanho do biodigestor a ser construído para atender as suas necessidades (FONSECA et. al., 2009).

O dimensionamento deve ser realizado levando em consideração o volume total de resíduos necessários a serem tratados, a exemplo: resíduos de frutas oriundas do consumo humano ou de atividades de processamento, da quantidade de matéria orgânica gerada na cozinha (restos de comida), quantidade de esterco oriundo da criação animal e pela produção de folhagens resultante do processo de podas nas plantas existentes na propriedade rural.

Na primeira etapa deve-se realizar a análise da quantidade de dejetos que é estimado pela a produção total de efluentes, ou seja, a soma dos dejetos, que são: a água de lavagem das baias e os desperdícios dos bebedouros. Para realizar esse procedimento pode-se utilizar uma tabela como a apresentada na tabela 4.1

Tabela 4.1 – Estimativa dos resíduos

Item	Esterco + Urina (kg/dia)	Resíduos líquidos (L/dia)

O volume total de resíduos produzido na propriedade rural é a somatório do esterco + urina (kg/dia) da Tabela 3.1, com o volume gasto com a limpeza e desperdícios nos bebedouros.

A segunda etapa é a quantificação do biogás que será gerado com os resíduos produzidos na propriedade

rural. Há vários modelos que podem se utilizar mas entre eles um dos mais utilizados para estimativas da produção de biogás é o de Chen (1983), representado pela Equação 4.1. Nesta equação B é a produção de metano a partir do resíduo em m^3 de metano (CH_4). K é a constante cinética do processo. B_0 é o valor máximo da produção de metano. No modelo de Chen este autor indica $B_0=0,474$ para suínos alimentados com milho. O parâmetro θ é o tempo de residência (dias). Para se calcular θ devemos efetuar a operação onde V é o volume do biodigestor e P é a vazão do efluente em (m^3/dia). Temos que μ_m é o crescimento específico máximo de microrganismos (dia^{-1})

$$B = B_0 \left(1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \right) \quad (4.1)$$

Para se realizar o cálculo de μ_m pode-se utilizar a equação 4.2 encontrada com dados experimentais por Hashimoto *et al.* (1981). T é a temperatura dos resíduos colocados no biodigestor.

$$\mu_m = 0,0137T - 0,129 \quad (4.2)$$

Quanto à constante K Chen nos diz que ela depende da quantidade de sólidos voláteis presentes na entrada do biodigestor e que ela é um parâmetro que nos indica a performance do equipamento e que o seu valor pode ser afetado pelos fatores inibidores presentes nos dejetos. Para se determinar o seu valor pode-se utilizar a equação 4.3.

$$K = C_0 + C_1 \exp(-C_2 S_V) \quad 4.3$$

Onde C_0 , C_1 e C_2 são constantes enquanto que S_V são os sólidos voláteis calculados de acordo com a tabela 3.1.

Para se calcular as constantes devem-se realizar experimentos e a literatura apresenta diferentes conjuntos de valores. Para Aires et al (2014) os valores são

$$C_0 = 0,6$$

$$C_1 = 0,0006$$

$$C_2 = 0,1185$$

Com estes valores o grupo de Aires determinou que para um biodigestor canadense adaptado para suínos o valor de gás produzido era de 0,338 Nm³ de metano/kg de Sólido Volátil. Temos que Nm³: volume nas condições normais de temperatura e pressão (0°C e 1 atm).

Uma forma prática de encontrar a produção do metano é utilizar a equação 4.4 sugerida por Nishimura (2009).

$$\text{Produção de biogás} \left(\frac{m^3 \text{ biogás}}{m^3 \text{ da câmara de digestão} \cdot \text{dia}} \right) = \frac{\mu_m}{0,65} \quad (4.4)$$

A partir de um balanço de massa para o carbono (C) no processo, chega-se à relação da quantidade de biofertilizante produzido no biodigestor. Temos em geral que a quantidade de biofertilizante produzido está dado pela equação 4.5.

$$M = C(dqo_{ent} - dqo_{sai}) - A \left(\frac{B \times SV}{[CH_4]} \right) \quad (4.5)$$

Na equação 3.5 dqo_{ent} e dqo_{sai} são as demandas químicas de oxigênio na entrada e na saída do biodigestor [mg de O₂/(L de efluente)]; B é a produção de metano a partir do resíduo em m³ de metano (CH₄); SV em kg de SV/(m³ de efluente); [CH₄] é a fração volumétrica (ou

molar) de CH₄ no biogás produzido [m³ de CH₄/(m³ de biogás)]. C e A são constantes a serem determinadas de acordo com o biodigestor utilizado. Aires et al (2014) determinaram para um biodigestor canadense que C=0,375 e A=537,5.

Todas estas relações matemáticas se encontram na literatura mas para um produtor rural talvez o mais importante sejam as tabelas apresentadas no capítulo anterior em que foi apresentada uma estimativa da produção do biogás para diferentes tipos de resíduos. Vamos mostrar a continuação um cálculo simples para dimensionar um biodigestor. Um bom conselho para um produtor rural que deseje fazer a instalação deste equipamento seria consultar alguém com experiência no ramo e não tentar fazê-lo sozinho.

Nosso exemplo será de uma pequena propriedade rural. Nessa propriedade há 5 suínos por exemplo e sendo assim estima-se que se produzam 15,25 kg de esterco + urina por dia. Precisa-se de mais 15 litros de água ou seja temos um total de aproximadamente 30 kg de material orgânico para colocar no biodigestor. Isto pode produzir um total máximo de 1 m³ de biogás por dia.

Deve-se pensar em que no final de 45 dias obtaremos 30 kg de adubo orgânico aproximadamente. Por este motivo nos nossos cálculos devemos pensar que durante 45 dias iremos ter um total máximo de 1350 kg no biodigestor. Ou seja, que o biodigestor neste caso deve ter uma capacidade máxima de 2,3 m³. Podemos então determinar que o tamanho total do biodigestor deve ser de uns 3000 litros.

Nas seguintes seções mostraremos como construir um biodigestor deste porte.

4.3 Escolha do local para a construção

Para a construção do biodigestor, inicialmente se define o local da instalação. O local deve ser de preferência próximo à residência, com o objetivo de facilitar o acompanhamento e manutenção do equipamento, além de tornar possível e viável a captação do biogás que poderá ser utilizado como gás de cozinha. Outro fator importante está relacionado à alimentação do biodigestor, pois demanda que seja realizado diariamente e a biomassa a ser utilizada deve-se ficar próximo a residência.

Outro fator a ser considerado está relacionado às características do terreno, já que este deve ter uma ligeira declividade que favoreça a construção das estruturas do biodigestor e assegure o seu perfeito funcionamento. Destaca-se que, a caixa de carga deve ficar acima do biodigestor, facilitando o trabalho de alimentação e a caixa de descarga deve ficar logo abaixo, uma vez que esta tem a função de receber os resíduos oriundos da biodigestão, retendo o material sólido (adubo orgânico) que serve de passagem para o líquido (biofertilizante).

Figura 4.1 – Estruturas de funcionamento do biodigestor indiano.



Fonte: Autores (2018).

Com o local definido, é dado início a escavação do buraco que abriga o tanque principal e as caixas de carga e descarga. As canaletas para instalação das tubulações ficam por último para serem escavadas.

4.4 Origem do material a ser utilizado na construção

O material utilizado na construção do biodigestor pode ser encontrado, principalmente, em depósitos e comércios locais, sendo que, em alguns casos, a propriedade rural pode dispôr de parte desses materiais ou serem encontrados em propriedades vizinhas.

No Quadro 4.1 apresenta-se uma lista dos materiais utilizados na construção do biodigestor e o seu valor em

reais com um orçamento para o ano de 2016 na localidade do município de Barreira, na região do maciço de Baturité. No apêndice B se encontra uma descrição da região do maciço do Baturité. Um biodigestor do porte mencionado neste capítulo possui um custo de aproximadamente R\$3.000,00 com a mão de obra já inclusa.

Quadro 4.1 – Materiais utilizados na construção do biodigestor.

Itens	Unid.	Quant.	Valor Unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Ferro 6,3 mm	metro	12	2,50	30,00
Arame 12 galvanizado	Kg	5	9,00	45,00
Brita 01	Lata	6	2,00	12,00
Caixa de fibra 3.000 litros	Unidade	1	1300,00	1300,00
Zinco 0,40 m	kg	8	10,00	80,00
Tela de nylon 1,5 x 0,80	Metro	1	9,00	9,00
Tijolo 08 furo	Unidade	70	0,30	21,00
Cano PVC esgoto 100 mm	Metro	2	7,00	14,00
Cano PVC esgoto 150 mm	Metro	3	15,00	45,00
Cano PVC rígido 50 mm	Metro	3	6,00	18,00
Cano de ferro 40 mm	Metro	3	11,00	33,00
Parafuso francês 6" (15cm) 3/8"	Unidade	1	3,00	3,00
Parafuso francês 4" (10cm) 5/16"	Unidade	2	1,50	3,00
Barrote de madeira 7 x 7	Metro	7	10,00	70,00
Cano PVC rígido 60 mm	Metro	1,5	10,00	15,00
Flange 60 x 60 mm	Unidades	1	25,00	25,00
Tábua 0,15 x 0,04 m	Metro	2	11,00	22,00
Parafuso francês 3" (7cm) 3/8"	Unidade	4	2,00	8,00
Cano PVC esgoto 75 mm	Metro	1	4,50	4,50
Cap PVC esgoto 75 mm	Unidade	2	2,00	4,00
T PVC rígido 20 mm	Unidade	1	1,00	1,00
Cano PVC rígido 20 mm	Metro	25	1,00	25,00

Joelho PVC rígido 20 mm	Unidade	7	0,50	3,50
Adaptador com Flange 20 mm	Unidade	2	10,00	20,00
Adaptador longo com Flange Livre	Unidade	1	10,00	10,00
Mangueira plástica 25 mm	Metro	5	2,00	10,00
Registro de esfera 20 mm	Unidade	2	7,00	14,00
Abraçadeiras rosca sem fim 1/2"	Unidade	3	1,50	4,50
Garrafão acrílico de água mineral	Unidade	1	30,00	30,00
União 20 mm	Unidade	1	7,00	7,00
Cola PVC pequena	Unidade	1	2,00	2,00
Cimento	Saco	9	25,00	225,00
Areia	m ³	1	70,00	70,00
Mão de obra especializada	dias\homem	3	120,00	360,00
Mão de obra não especializada	dias\homem	6	60,00	360,00
Cap PVC esgoto 75 mm	Unidade	2	2,00	4,00
Total:				2.903,50

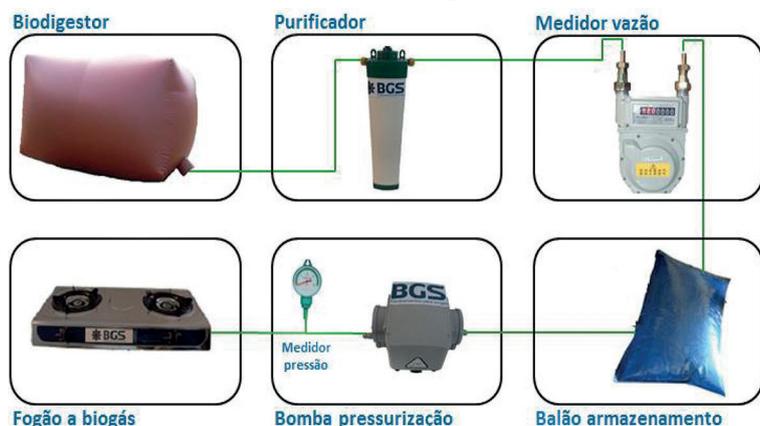


CAPÍTULO V

PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

Neste capítulo apresentaremos a construção de um biodigestor. Mostraremos biodigestores instalados em diferentes lugares do Maciço de Baturité. No caso em que se opte por um equipamento como o tipo canadense deveríamos falar instalação em lugar de construção. Na Figura 5.1 apresenta-se um kit biodigestor de 10 m³ da empresa BGS Equipamentos para Biogás. Este tipo de equipamento é melhor para propriedades com um maior número de animais. O custo do equipamento é maior daquele que foi apresentado na Quadro 4.1 mencionado no capítulo IV.

Figura 5.1 – Kit Biodigestor 10 m³.



Fonte: BGS Equipamentos (2018).

INSTALAÇÃO DO BIODIGESTOR

5.1 Biodigestor Canadense

Para se fazer a instalação deste tipo de biodigestores é necessário determinar a quantidade de material orgânico que se produz na propriedade rural e solicitar o biodigestor de tamanho apropriado. Às vezes é necessário a instalação de mais de um biodigestor para atender às demandas da propriedade.

É necessário um espaço apropriado para o equipamento. No caso de um biodigestor de 10 m³ será necessário fazer uma escavação aproximada de 3m x 2m x 1m para que o equipamento possa ser instalado apropriadamente. Isto pode-se observar na Figura 5.2 onde também se pode observar que é importante também decidir o local em que o equipamento irá operar.

Figura 5.2 – Escavação prévia para colocar um equipamento tipo canadense.

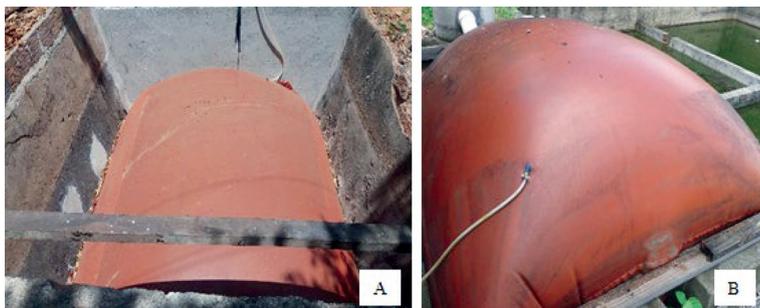


Fonte: BGS Equipamentos (2018).

Na Figura 5.2 podem-se observar a entrada de material orgânico e a saída do biofertilizante. O material deve-se colocar diariamente e esperar o tempo apropriado para que haja a geração dos produtos do equipamento. O produtor deve ter paciência e aguardar que os processos ocorram. Quando o proprietário rural se decide por esta opção as empresas fornecedoras enviam junto do material um guia para instalação.

Quando é feito da forma apropriada o saco em que ocorrerá a biodigestão vai enchendo de material e de bio-gás até ficar ocupando o volume máximo disponível tal e como pode-se ver na figura 5.3. Quando o biodigestor atinge o estágio mostrado na Figura 5.3-b o gás pode ser armazenado em algum dispositivo apropriado para isto ou utilizado para as necessidades da propriedade.

Figura 5.3 – (a) Biodigestor canadense ainda em processo de fermentação. (b) Biodigestor canadense em que o processo atingiu o máximo.



Fonte: Autores.

OUTROS TIPOS DE BIODIGESTORES

Apresentaremos nesta seção a instalação de um biodigestor que consideramos o mais adequado para uma

pequena propriedade rural. O projeto para instalação do biodigestor foi desenvolvido no Maciço de Baturité no município de Barreira na comunidade de Uruá. Os leitores interessados em uma descrição destes locais pode-se dirigir aos apêndices.

5.2 Processo inicial de construção do biodigestor

O buraco principal, local onde foi instalado a câmara de biodigestão, foi escavado com 2 m de profundidade e cerca de 3,50 m de circunferência. As canaletas foram escavadas em declive desde a parte baixa do buraco principal, partindo-se de uma profundidade de 1,80 m (0,20 m a partir do fundo do buraco) até a superfície. O comprimento da canaleta para o sistema de carga foi 2 m para a caixa de carga e de 3 m para a caixa de descarga.

As placas, mostradas na figura 5.4, foram confeccionadas utilizando-se um chão liso com materiais o mais uniforme possível para evitar que as pedras prejudiquem a sua qualidade. As formas utilizadas foram as mesmas utilizadas para a confecção das placas da cisterna.

Figura 5.4 – Confeccção das placas utilizadas na construção do biodigestor.



Fonte: Autores (2018).

As placas confeccionadas tinham medidas diferentes, pois a parede do tanque tem 50 cm x 52 cm (medida reta por dentro), enquanto as da caixa de entrada têm 20 cm x 20,5 cm. Para fazer os furos de passagem das tubulações de entrada e saída utilizou-se um pedaço de cano, tendo o cuidado de deixá-los amplos o suficiente para permitir a instalação.

Para o tanque do biodigestor, o buraco foi feito com o fundo bem nivelado, permitindo a construção do piso. No centro do buraco foi fixado um cano guia, tal e como se mostra na figura 5.5. O cano é de ferro e possui 40 mm com 3,5 m de comprimento. Um outro cano de PVC (de água) de 50 mm com 3 m, foi instalado por fora com o objetivo de prevenir a ferrugem. Para garantir a sustentação, ele foi chumbado numa base de cimento e o cano de ferro foi preenchido até o topo com cimento.

Figura 5.5 – Fundo do buraco nivelado e instalação do cano guia.



Fonte: Autores (2018).

Com o cimento ainda fresco, na ponta superior, foi colocado um parafuso francês 6" x 3/8" no centro do cano, pela cabeça, deixando-se a rosca para fora, para permitir a instalação de um barrote de 7 x 7 cm que servirá de travese de segurança.

Na construção da parede do tanque, tal e como se mostra na figura 5.6, as placas foram assentadas sobre um círculo já demarcado, com o cuidado de alinhá-las em forma de circunferência. A placa com furo para o cano de 100 mm, foi instalada em frente à canaleta de carga, e o furo deverá ficar para baixo. No lado oposto, para a instalação da tubulação de descarga, foi colocada a placa com furo para o cano de 150 mm. A Figura 5.6 nos permite identificar a disposição das placas, onde o cano de entrada encontra-se a 10 cm de altura do fundo e o de saída, na placa oposta, a 30 cm de altura.

Figura 5.6 – Detalhe dos furos nas placas para os canos de entrada e saída de material.



Fonte: Autores (2018).

A parede foi construída com a fixação de 12 placas em cada fileira, sendo que a partir da segunda fileira foram instaladas de forma alternada, da mesma forma que se assentam tijolos, totalizando 4 fileiras e 48 placas. Na finalização, a última fileira ficou com 20 cm acima do terreno, formando uma pequena parede. Esta técnica tem por objetivo evitar que a água da chuva escorra para dentro do biodigestor, prejudicando a geração de biogás.

Com as placas fixadas, para garantir sustentação das paredes e aumentar a vida útil do biodigestor, foi utilizado arame galvanizado número 12, para “amarrar” as placas.

No fundo do buraco foi construído 4 batentes, tal e como se mostra na Figura 5.7, isso fará com que o biodigestor funcione perfeitamente e evite que a caixa de fibra encoste no fundo e feche as entradas e saídas de esterco da câmara de biodigestão.

Figura 5.7 – Batentes construídos no fundo do buraco do biodigestor.



Fonte: Autores (2018).

Em seguida as paredes foram rebocadas por dentro e por fora, sendo que as paredes internas foram feitas sem estreitar demais para permitir que a caixa de fibra suba e desça livremente. O reboco externo evita o contato direto do arame com a terra. Ao final, com o objetivo de estabilizar a parede, parte da terra da escavação do buraco foi colocado no vão de fora entre a parede do buraco e a do tanque.

5.3 Construindo a caixa de carga e descarga

Para a construção da caixa de carga, mostrada na figura 5.8, foram utilizadas 11 placas pequenas, ficando numa altura de 0,50 m. A caixa ficou no nível no terreno, não sendo necessário fazer escavação para sua construção, apenas para a tubulação.

Utilizou-se do formato cilíndrico e circunferência com raio de 0,80 m por ser a mais utilizada no mercado

e por apresentar, de acordo com pesquisa realizada pelo Projeto Dom Helder, o mais adequado por permite misturar o esterco fresco com água e melhorar a homogeneização do material. A caixa é feita com cimento e armação de ferro, deixando um furo no fundo da caixa para a tubulação que levará o esterco para o biodigestor.

Figura 5.8 – Caixa de carga do biodigestor.



Fonte: Autores (2018).

Para o sistema de descarga, mostrado na Figura 5.9, a caixa foi construída em um buraco para que ficasse abaixo do nível do terreno e da caixa de carga. Ele foi construído com tijolos e no formato retangular com comprimento de 1,00 m, largura de 0,50 m e profundidade de 0,60 m. No seu interior foi colocado brita para a que o material sólido seja retido e o líquido seja encaminhado para a caixa de armazenamento do biofertilizante.

Figura 5.9 – Caixa de descarga do biodigestor.



Fonte: Autores (2018).

A caixa de coleta e armazenamento do biofertilizante foi instalada logo abaixo da caixa de descarga do biodigestor, sendo o líquido utilizado como adubo orgânico e defensivo natural com eficiência para algumas pragas e fungos.

5.4 Instalação da caixa de biodigestão

Com o buraco já escavado e nas dimensões para uma caixa de fibra de 3.000 litros, começaram as atividades de preparação da caixa de biodigestão, mostrado na Figura 5.10.

Inicialmente foi feito um ponto central no seu fundo e com o auxílio de uma furadeira, foi realizado um furo de 60 mm. Em seguida foi colocado um flange e instalado um cano guia de PVC que faz com que a caixa de fibra, (câmara de biodigestão) suba e desça livremente.

Um outro furo de 20 mm foi feito e instalado um flange para a tubulação de gás. Ambos os flanges foram

vedados pela parte interna da caixa, com o objetivo de assegurar maior vida útil do equipamento. O Cano guia instalado por dentro da caixa possui 60 mm e 1,50 m de comprimento entre o flange e a base de madeira que lhe dá sustentação.

Figura 5.10 – Flanges instalados no fundo da caixa de biodigestão.



Fonte: Autores (2018).

A base do cano guia é de madeira com dimensões de 0,14 m x 0,04 m e com 2 m de comprimento, sendo que no centro da madeira foi realizado um furo para fixar o referido cano. Para a fixação da tábua na caixa de fibra, utilizou-se de parafusos franceses 3" x 3/8" com porca e arruela.

Figura 5.11 – Instalação da base do cano guia



Fonte: Autores (2018).

Para que o biogás mantenha uma pressão constante, foi instalado sobre a caixa de fibra, um lastro de zinco de 4,8 m e 30 cm de largura, mostrado na Figura 5.12. Após a instalação da cinta, o local foi preenchido com areia, para aumentar o peso, promover a pressão do biogás e fazer com que o gás seja conduzido até o fogão sem que haja problemas ou perda do produto.

Figura 5.12 – Lastro de zinco instalado na caixa de biodigestão



Fonte: Autores (2018).

Após a instalação da câmara de combustão, foi dado início a construção da tubulação de gás com canos de 20 mm e com 30 cm de comprimento, fazendo com que a tubulação ficasse numa altura superior ao lastro. Na tubulação de gás foi instalado um registro.

5.5 Estrutura de coleta e armazenamento do biofertilizante

Visando evitar o desperdício e facilitar a sua aplicação nas culturas, o agricultor familiar desenvolveu uma técnica para coletar e armazenar o biofertilizante. A estrutura, mostrada na Figura 5.13, é composta basicamente de um cano de 75 mm e 9 metros de comprimento, uma caixa plástica de água de 310 litros, uma bomba de 1 cv e canos de 25 mm.

Figura 5.13 – Caixa de coleta e armazenamento do biofertilizante.



Fonte: Autores (2018).

O cano de 75 mm faz a coleta do material oriundo da caixa de descarga do biodigestor e deposita na caixa de plástico. Em seguida o líquido é bombeado em canos de 25 mm, de acordo com a necessidade, para as plantações de frutíferas e capim, que ficam a aproximadamente 5 metros.

A técnica desenvolvida, além de armazenar adequadamente o biofertilizante, facilita e uniformiza a sua aplicação, pois é utilizado aspersores para irrigar as plantações, dispensando o contato direto do agricultor com o material produzido.

5.6 Instalação de filtro para retenção de impurezas do biogás

Para a filtragem das impurezas contidas no biogás e eliminar o mau cheiro produzido, o agricultor familiar, baseada em experiências desenvolvidas a partir das visitas técnicas a unidades de biodigestores em funcionamento, instalou o filtro com a utilização de um garrafão de água mineral de 20 litros. Após instalação de um registro, um cano é mergulhado na água, forçando o biogás a passar pela água disposta no garrafão, gerando borbulhas. É ao borbulhar que as impurezas são dissolvidas e o mau cheiro é retido, por isso há necessidade que a água seja trocada em uma determinada quantidade de dias.

Para a instalação do filtro foram utilizados ainda dois adaptadores com flange, um longo para instalação do cano de entrada que vem do biodigestor e um curto que é de saída para o fogão. Um dos flanges passam pela boca do garrafão, portanto, foi necessário adaptá-lo para esse fim. A fixação foi feita com o auxílio da ponta de um cano

soldável, que tem a boca alargada para dar apoio dentro do garrafão. Outro detalhe é que o garrafão foi colocado com a boca para baixo, sendo vedado com um tampão de borracha, pois a água foi colocada até o nível da parte rosqueada do adaptador longo.

Dada a necessidade de manutenção, e visando facilitar a sua realização, foi instalado uma união logo após o registro de gaveta. Na sequência, um cano curto foi instalado para permitir a conexão de uma tubulação flexível.

Para a instalação da tubulação que conduz o gás até o local de consumo, foi escavado uma canoleta, pois a tubulação foi enterrada visando aumentar sua vida útil e evitar possíveis acidentes. No local de consumo, a mangueira foi conectada a uma boca de fogão industrial e instalado um segundo registro para reter ou liberar a chama.



CAPÍTULO VI

FUNCIONAMENTO E MANEJO DO BIODIGESTOR



biodigestor é um equipamento hermeticamente fechado, com características ambientais adequadas ao desenvolvimento de micro-organismos responsáveis pela transformação da biomassa residual local em produtos de significativa importância em propriedades rurais e de potencial valor econômico.

Uma alternativa de tratamento dos resíduos orgânicos, especialmente os de origem animal, o

biodigestor, se instalados e operados adequadamente, poderá minimizar problemas ambientais causados pela destinação incorreta desses resíduos.

Após sua instalação, o biodigestor deve ser alimentado imediatamente até o limite desejado ou em caso de pouca disponibilidade de biomassa este deve ser alimentado diariamente até atingir esse nível. Iniciado o processo de transformação da matéria orgânica, este pode ser alimentado diariamente com material sempre fresco e com a adição de água na mesma proporção para deixá-la mais pastosa e com maior poder de digestibilidade.

Passados 20 dias, o biodigestor começará a dar sinais de produção de gás, mas este pode apresentar odor desagradável, indicando que o produto não está pronto para ser utilizado como combustível. Após esse período, em aproximadamente 10 dias, novos testes deverão ser

realizados no sentido de averiguar a qualidade do gás e se atende a necessidade. Em relação a produção do metano, Arruda et al. (2002) relatam que a produção do metano, inicia o processamento depois de 20 dias, vai aumentando até chegar ao máximo na terceira semana quando começa a decrescer lentamente durante o período de fermentação que é cerca de 90 dias.

A produção do biofertilizante ocorre em um período de 45 a 60 dias e o resultado deve ser um adubo de qualidade satisfatória ao desenvolvimento das culturas e que pode ser aplicado diretamente em várias plantas cultivada existentes na propriedade rural.

REFERÊNCIAS

AIRES, A.; da SILVA, F.M.; de CASTRO, V. M. U; WENZEL, B. M. Avaliação do Desempenho de um Biodigestor Canadense modificado no tratamento de dejetos de Suínos. *EN-GEVISTA*, V. 16, n. 4, p.329-338, 2014.

ANEEL. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008. 236 p.

ALCÓCER, J. C. A.; DUARTE, J. B. F.; M. J. CAJAZEIRAS; M. L. M. DE OLIVEIRA; R. G. DUARTE; ROCHA, Y. M. G.; PONTES, B. C. M.; J. DUARTE; I. HOLANDA; QUEIROZ, D. M. B. ; RAMOS, K. M. ; J. O. DIOGO ; G. N. Dantas . Produzindo Biogás a partir de Resíduos de Frutas para Gerar Energia Elétrica. *Revista SODEBRAS*, v. 9, p. 113-116, 2014.

BARREIRA, P. Biodigestores. 3ª edição. Ícone Editora, São Paulo, 2011.

BARRERA, P. *Biodigestores*. São Paulo, SP: Cone,1993.

BEZERRA, I. L. S. REVORÊDO, R. A. BEZERRIL, R. T. SILVA. FILHO, P. C. *Produção de gás combustível: construção de um biodigestor caseiro*.In: IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN-Tecnologia e Inovação para o Semiárido. Natal-RN. 2013. Disponível em: <<https://slidex.tips/download/producao-de-gas-combustivel-construcao-de-um-biodigestor-caseiro-fuel-gas-producti>>. Acesso em abril de 2018.

CÁRITAS BRASILEIRA. NE2: *Cáritas Suíça visita Projeto Biodigestores, que transforma esterco em gás de cozinha-28 de abril de 2015*. Disponível em:<<http://caritas.org.br/ne2-caritas-suica-visita-projeto-biodigestores-que-transforma-esterco-do-gado-em-gas-de-cozinha/28954>>, acesso 11 maio de 2018.

CALDEREIRO, G. M. *Caracterização da digestão de resíduos agroindustriais em biodigestor de fluxo contínuo operado em escala real*. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em tecnologias ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1277>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

CARVALHO, T.; NOLASCO, M. A.; Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos, *Revista Acadêmica*, Curitiba, v.4, n.3, p. 23-32, 2006.

BGS. BGS equipamentos para gás. Biodigestor canadense. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/conteudo/detalhes/?id=68&m=36&m=39>>, acesso em: 06 jul. 2018.

CORBITT, R. A. *Standard Handbook of Environmental Engineering*, 1st edition, New York, McGraw HiU, Inc. 1990

CHEN, Y. R. Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. *Agricultural Wastes*, v.8, 65-81. 1983.

CORREA, L. G. M.; SANTOS, D. E. G.; PASINI, A. H. *Biodigestores como alternativa para a redução de impactos ambientais e geração de energia elétrica de uma propriedade rural em Vera Cruz do Oeste – PR*. Anais do 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional – 2014. ISSN: 1980-7406

COLATTO, L.; LANGER, M. *Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia*. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

COSTA, D. F. *Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto*. [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Engenharia/USP; 2006. 176p.

DEVAI, I.; DELAUNE, R.D. Effectiveness of selected chemicals for controlling emission of malodorous sulfur gases in sewage sludge. *Environmental Technology*, n.3, p.319-329, 2002.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. C.; PIMENTEL, A. E. B.; SIMON, E. J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

FRARE, L.; GIMENES, M.; PEREIRA, N. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. *Eng.SanitAmbient*, v.14, n.2, p.167-172, 2009.

FUKUDA, J. C. *Projeto de instalação de um biodigestor de baixo custo na sede de uma unidade de conservação: saneamento, aproveitamento energético e demonstração de alternativa sanitária para a região*. [Monografia]. Lavras-MG: Departamento de Pós-Graduação Latu Sensu em Formas Alternativas de Energia. UFLA; 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4548>>. Acesso em abril de 2018.

GENOVA, J. L.; PUCCI, L. E.; SARUBBI, J. Estratégias para diminuir o impacto ambiental da suinocultura. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 12, n. 1, p. 3891-3902, 2015.

GIOVANINI, A.; FREITAS, C. A.; CORONEL, D. A. Análise da quantidade produzida de CO₂ pela bovinocultura no Estado do Rio Grande do Sul, *Revista Ciência Rural*, v.43, n.10, 2013.

HASHIMOTO, A. G.; CHEN, Y. R.; VAREL, V. H. Theoretical aspects of anaerobic fermentation: State-of-art. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASAE), 86. 1981.

HINTON, N.; STONE, R. *Laminar burning velocity measurements of methane and carbon dioxide mixtures (biogas) over wide ranging temperatures and pressures*. Fuel, Volume 116, 15 January 2014, Pages 743-750, ISSN 0016-2361

HORIKAWA, M. S.; ROSSI, F.; GIMENES, M. L.; COSTA, C. M. M.; DA SILVA, M. G. C. Chemical absorption of H₂S for biogas purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.21 n.3. Jul/Sep, p. 415 – 422. 2004.

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/re-moa/article/viewFile/14411/pdf>>. Acesso em abril de 2018.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, 2011.

NASCIMENTO, R. C. O Uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do Alto Paranaíba (MG). *B.goiano.geogr.* Goiânia, v. 30, n. 2, p. 55-66, jul./dez. 2010.

OLIVEIRA, W. R.; DOMINGUES, E. G. Energia Elétrica e Créditos de Carbono: uma Proposta de Aproveitamento Energético do biogás Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso, *Revista Unopar Científica Exatas Tecnologia*, Londrina, v. 10, n. 1, p. 61-67, 2011.

McKINSEY Z. S. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow-manure compost. Dissertação de mestrado. Faculty of the Graduate School of Cornell University, 2003.

NEVERS, N. Air pollution control engineering, 1ªed. New York: McGraw-Hill, 1985.

NISHIMURA, R. *Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implemen-*

tação de sistema computacional. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande-MS, 2009.

PEREIRA, G. *Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais*. Revista de Administração e Ciências Contábeis do IDEAU. Alto Uruguai. Vol.6 – n.12 – janeiro– Junho, 2011.

PRADO, P. de L. A.; MOURA, J. M. de; FERNANDES, A. T.; CAMPOS, P. C. P. *Viabilidade econômica de um biodigestor no IFMT Campus Cuiabá Bela Vista*. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. P.19-22 novembro 2012; Goiânia-GO. 2012. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-001.pdf>>. Acesso em abril de 2018.

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. *Biogás – uma energia limpa*. Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149.

RITTER, C. M.; SANTOS, F. R.; CURTI, S. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. *Revista Topós*. V.7, n.1, p. 32-40, 2013.

SANTOS, E. L. B.; NARDI JUNIOR. G. *Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal*. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v.4, n.2, agosto, 2013. ISSN 2176 – 4808

SILVA, M. L. *Aplicabilidade de uma tecnologia sustentável no Município de Barreirado Maciço de Baturité*. [Dissertação]. Redenção: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis/UNILAB; 2016. 76 p.

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. *Pesquisas Agrárias e Ambientais, Nativa*, Sinop, v.5, esp., p.522-528, 2017.

SECHINEL, A.; MENDONÇA, B.; PEGORARO, C.; FERNANDES, E.; LIMA, G.; GOMES, L.; SILVA, P.; SALGADO, R.; COMMITRE, R.; OLIVEIRA, V. S. *Construção de um biodigestor caseiro para obtenção de biogás e adubo*. IX Simpósio de Base Experimental das Ciências Naturais da Universidade Federal do ABC – 12 e 13 de agosto de 2011

TURDERA, M. V.; YURA, D. *Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados*. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6, 2006, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MS-C0000000022006000100062&script=sci_arttext>. Acesso em abril de 2018.

VIEIRA, M. T.; MIRANDA, D. H.; BASQUEROTTO, C. H. C. C. *Utilização do subproduto proveniente da produção de biogás como fertilizante*. *Revista Conexão Eletrônica* – Três Lagoas, MS – Volume 13 – Número 1 – Ano 2016.

WESTRUP, G.; DUARTE, G. W.; ALBERTON, J.; NIEHUES, R. C.; ROCHA, D. A.; VANDRESEN, S. *Estudo da viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de dejetos de suínos de uma propriedade rural em Forquilha/SC*. *Rev. Ciênc. Cidadania* – v.1, n.1, 2015.