

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS
SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO AO AR**

CAMILA ROMANTINI MACHADO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP
Outubro 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS
SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO AO AR**

CAMILA ROMANTINI MACHADO

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP
Outubro 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M149b Machado, Camila Romantini, 1983-
Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar / Camila Romantini Machado. - Botucatu : [s.n.], 2011
vi, 51 f. : gráfs., tabs., ils., fots. color.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Jorge de Lucas Júnior
Inclui bibliografia
1. Biogás. 2. Bovinos leiteiros. 3. Biodigestores. I. Lucas Júnior, Jorge de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

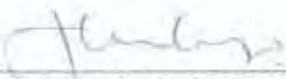
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "BIODIGESTÃO ANAERÔBIA DE DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS
SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO AO AR"

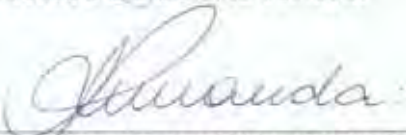
ALUNA: CAMILA ROMANTINI MACHADO

ORIENTADORA: PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR



PROFA. DRA. ADELIA PEREIRA MIRANDA



PROFA. DRA. MAURA SEIKO T. ESPERANCINI

Data da Realização: 27 de outubro de 2011.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
1 RESUMO.....	7
2 SUMMARY.....	9
3 INTRODUÇÃO.....	10
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4.1 Dejetos e a produção de leite.....	12
4.2 Manejo de dejetos.....	14
4.3 Biodigestão Anaeróbia.....	16
4.4 Biodigestores.....	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1 Descrição do local.....	26
5.2 Obtenção dos dejetos.....	27
5.3 Caracterização dos biodigestores.....	28
5.4 Abastecimento dos biodigestores.....	30
5.5 Perda de massa.....	32
5.6 Análises laboratoriais.....	33
5.6.1 Análise dos teores de sólidos totais (ST).....	33
5.6.2 Análise dos teores de sólidos voláteis (SV).....	33
5.6.3 Potencial hidrogeniônico (pH).....	34
5.6.4 Avaliação da produção de biogás.....	34
5.6.5 Análise da composição do biogás produzido.....	35
5.6.6 Cálculo dos potenciais de produção de biogás.....	36
5.6.7 Teste de queima.....	36
5.7 Delineamento experimental.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1 Redução de massa da leira.....	38

6.2 Redução dos sólidos totais e voláteis.....	39
6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	40
6.4 Produção de biogás.....	41
6.5 Potenciais de produção de biogás.....	43
7 CONCLUSÃO.....	46
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais. Fonte: OLIVEIRA (2001).....	20
Tabela 2 Composição do biogás Adaptado de CETESB(2006).....	21
Tabela 3 Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.....	21
Tabela 4 Quantidade de dejetos e água utilizados para o abastecimento de cada biodigestor.....	32
Tabela 5 Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) dos dejetos de vacas holandesas expostos ao ar.....	39
Tabela 6 Valores médios de pH dos substratos contendo dejetos de vacas holandesas utilizados em biodigestores bateladas após o tempo de exposição.....	40
Tabela 7 Produção média diária de biogás, em m ³ , e estatística obtidos em biodigestores bateladas operados com dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição.....	42
Tabela 8 Teores médios de metano (CH ₄), em porcentagem, e estatísticas observados a partir de substratos de biodigestores bateladas contendo dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição.....	43
Tabela 9 Potenciais médios de produção de biogás, em m ³ , por kg de sólidos totais (ST) adicionados, de sólidos voláteis (SV) adicionados, de estrume e de substrato e estatísticas obtidos a partir de substratos de biodigestores bateladas contendo dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição.....	44

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Chernicharo,1997 adaptado de Lettinga et al.,1996).....	17
Figura 2 Leira de dejetos de vacas leiteiras.....	28
Figura 3 Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm. (Fonte: ORTOLANI <i>et al.</i> , 1986).....	29
Figura 4 Biodigestores bateladas do Departamento de Engenharia Rural da FCAV- Unesp/ Jaboticabal.....	30
Figura 5 Obtenção do substrato (afluente) do biodigestor.....	31
Figura 6 Abastecimento do biodigestor batelada.....	32
Figura 7 Redução de massa, em % de leira de dejetos de vacas holandesas, medida no período de 18 dias.....	38
Figura 8 Produções de biogás obtidas em biodigestores bateladas operados com dejetos de vacas holandesas expostos ao ar.....	41

1 RESUMO

Objetivou-se de avaliar a biodigestão anaeróbia e produção de biogás de dejetos de vacas leiteiras submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar. Primeiramente foram coletados 300 kg de dejetos produzidos em 24 horas, que foram conduzidos ao pátio de armazenamento. A cada três dias, durante 18 dias, fazia-se o abastecimento dos biodigestores. Os biodigestores foram abastecidos com os dejetos provenientes da leira nos tempos de exposição zero (0d), três (3d), seis (6d), nove (9d), 12 (12d), 15 (15d) dias e 18 (18d) dias de exposição. A redução de massa foi avaliada em relação à matéria seca e à matéria natural do dejetos. A redução de massa da leira foi de 73 % em 18 dias. Os teores de ST dos tratamentos variaram de 17,8 % a 27,3 % e os teores de SV de 79,93 % a 73,8 %. O valor de pH variou de 7,38 a 9,24. Os picos de produção de biogás com elevado teor de CH₄ foram mais adiantados quando os substratos foram obtidos nos maiores tempos de exposição, tornando evidente que uma fermentação prévia dos dejetos antes do abastecimento de biodigestores é conveniente para o adiantamento da produção de biogás. Em relação aos teores de metano, embora não se tenha observado diferença entre os tratamentos, houve diferença entre as semanas de leitura ($P<0,05$), em que nas quatro primeiras semanas os teores de metano foram menores do que os teores apresentados na quinta e na sexta semana. Houve diferença ($P<0,05$) entre os tratamentos para os potenciais de produção de biogás em relação aos ST adicionados, do

estrume e dos substratos, sendo as melhores médias as dos tratamentos oriundos da leira após seis, nove e 12 dias de exposição.

Palavras-chaves: Biogás, bovinos leiteiros, biodigestores.

EVALUATION OF THE ANAEROBIC BIODIGESTION AND BIOGAS OF WASTE OF DAIRY CATTLE SUBJECTED TO DIFFERENT TIMES OF EXPOSURE TO AIR.

Botucatu, 2011.47p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CAMILA ROMANTINI MACHADO

Adviser: JORGE DE LUCAS JÚNIOR

2 SUMMARY

This study aimed to evaluate the anaerobic biodigestion and production of biogas from manure of dairy cows subjected to different times of exposure to air. First was collected 300 kg of waste produced within 24 hours, which were driven to the storage yard, and every three days, during 18 days, was made the supply of the biodigesters. The biodigesters were supplied with slurry from the pile in the exposure zero (0d), three (3d), six (6d), nine (9d), 12 (12d), 15 (15d) and day 18 (18d) days of the exposure. The reduction in mass was evaluated in terms of dry matter and matter's natural manure. The reduction in mass was 73% in 18 days. The levels of TS ranged from 17,8% to 27,3% and the levels of VS 79,93% to 73,8%. The pH ranged from 7,38 to 9,24. The peak production of biogas was earlier when the substrates were in the larger day, making clear that a prior fermentation of manure digesters before the supply is convenient for the advancement of biogas production. In relation to content of methane, but would not give significant difference between treatments was no significant difference between the days of reading ($P < 0.05$), in which the first four readings of methane levels were lower than the levels presented in the fifth and sixth reading. Statistically significant ($P < 0.05$) among treatments for the potential of ST added, manure and the substrate, and the best means of treatment from the following pile six, nine and 12 days of exposure.

Key-word: Biogas, dairy cattle, biodigestor

3 INTRODUÇÃO

A modernização e crescimento das atividades agropecuárias visando atender a demanda de alimentos tornam acentuados os impactos ambientais advindos destas atividades. Visando aumentar a produtividade, as atividades relacionadas à produção de leite vem passando por grandes transformações, as quais afetam de modo significativo o setor produtivo. Entre essas alterações, além da adoção de técnicas que melhoram as condições de nutrição e melhoramento genético dos animais, observa-se que os produtores vêm adotando sistemas intensivos de produção, caracterizados pelo confinamento de um grande número de animais em áreas cada vez menores, resultando em consideráveis aumentos no volume de dejetos.

O manejo inadequado desses dejetos pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, pela maior emissão de gases com alto potencial de causar efeito estufa e pelo acúmulo nos solos, devido ao alto teor de matéria orgânica e agentes patogênicos do dejetos. No estado de São Paulo a produção é afetada por sérias limitações de recursos hídricos de boa qualidade e são nessas condições que o tratamento dos dejetos se torna de grande importância para a permanência da atividade nessas áreas.

A opção pela alternativa mais econômica de manejo de dejetos nem sempre leva em consideração os fatores ambientais envolvidos. O destino final dos dejetos, na maior parte dos casos, é a aplicação direta no campo, não seguindo qualquer critério técnico para esta operação, que além de contaminar águas superficiais, proporciona a infiltração de águas residuárias no lençol freático, o desenvolvimento de moscas e gases malcheirosos, que provocam desconforto, tanto animal quanto humano, além de contribuírem para o efeito estufa.

Além de todos os problemas ambientais, vale ressaltar que o uso de energia no meio rural é crescente, pois o investimento em tecnologia fica cada vez mais acessível aos produtores e assim a substituição de fontes de energia convencionais por fontes alternativas de energia renovável pode suprir esse aumento no uso de energia no campo, diminuindo os custos de produção.

Entre as possibilidades viáveis para o tratamento de dejetos a biodigestão anaeróbia representa uma alternativa, pois permite redução do potencial poluidor, geração de energia e reciclagem do efluente para fertilização de culturas comerciais.

Em razão do manejo de dejetos adotados na maioria das granjas leiteiras, que consiste na raspagem do piso e acúmulo dos dejetos ao redor das instalações, objetivou-se avaliar os parâmetros da biodigestão anaeróbia a partir de dejetos de bovinos submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Dejetos e a produção de leite

Os animais domésticos destinados à produção são divididos em dois grupos: ruminantes e não ruminantes. Os ruminantes, grupo em que são enquadradas as vacas leiteiras, são caracterizados por desenvolverem uma fermentação pré- gástrica dos alimentos fibrosos na presença de microorganismos, produzindo ácidos graxos voláteis (AVG) e biomassa bacteriana, aproveitáveis como energia e proteína (CABRAL et al., 2004).

Os resíduos finais da digestão são as fezes e urina, que contém quantidades consideráveis de nutrientes, além de restos de alimentos, cama dos animais, solo, água de lavagem ou da chuva, pêlos, e outros, que constituem os dejetos da produção. Esses resíduos precisam ser manejados e tratados corretamente para que os riscos de poluição e contaminação sejam minimizados ou até evitados.

O aumento da demanda por produtos de origem animal tem provocado uma exploração intensiva de animais que são agrupados em grande número, produzindo grande volume de dejetos em pequenas áreas, gerando problemas tanto para o seu tratamento e disposição, quanto de poluição ambiental (VIEIRA, 1991).

O setor leiteiro do Brasil está atravessando um momento de grandes transformações. Estas mudanças estão afetando de modo significativo o setor produtivo, resultando na saída da atividade de um grande número de produtores. Por outro lado, o volume ordenhado no país tem aumentado, indicando que os produtores estão buscando através do aumento de escala da produção obter os lucros que garantam sua permanência na atividade (POHLMANN,2000). Além da sua importância nutritiva, o leite desempenha um relevante papel social em países em desenvolvimento como o Brasil, principalmente na geração de empregos, pois é produzido principalmente em pequenas propriedades rurais, em que a mão-de-obra familiar é empregada (CARVALHO et al., 2003).

O bovino usado para a produção de leite pode ser analisado como uma máquina que processa o alimento convertendo apenas parte deste no produto leite, o restante é eliminado na forma de resíduo do sistema produtivo (HARDOIM,1999). Segundo Van Horn et al., (1994), o bovino leiteiro, devido á sua natureza fisiológica, elimina cerca de 33% da energia ingerida dos alimentos. _Esses dejetos possuem altos teores de nutrientes, que se manejados adequadamente podem ser usados como fertilizantes, estimulando uma maior produção vegetal. Porém, um manejo errado desses dejetos pode causar impactos nocivos ao meio.

O poder poluente dos dejetos gerados em uma propriedade é determinado pelo tipo de dejetos, volume e o grau de diluição, pois diferentes consistências exigem técnicas específicas de manejo, tratamento e distribuição. As perdas e os desperdícios de água através de bebedouros e água utilizada na higienização das edificações e animais aumentam o volume de efluentes produzidos, agravando o problema da poluição e elevando os custos de armazenamento, tratamento, transporte e distribuição dos dejetos (PERDOMO, 2000).

Em sistemas de confinamento de bovinos leiteiros, um volume considerável de dejetos animais é gerado diariamente. O manejo inadequado desses dejetos, os quais são ricos em matéria-orgânica e agentes patogênicos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, devido ao carreamento desse material pela ação das chuvas (DORAN & LINN, 1979)._Á medida que o animal fica confinado, mesmo que em um

curto espaço de tempo, para ordenha, por exemplo, os dejetos produzidos ficam concentrados e necessitam ser tratados para evitar contaminação e poluição (HARDOIM, 1999).

Independente da origem, todo resíduo poderá ter seu descarte minimizado, mediante uma análise abrangente de suas características, potenciais de uso e consequências desse uso, pois se corretamente manejados e utilizados, se reverterem em fornecedores de nutrientes para produção de alimentos, melhoradores das condições físicas, químicas e biológicas do solo e apresentam excelente potencial para reciclagem energética (PREZZOTO, 1992; GENEROSO, 2001).

4.2 Manejo de Dejetos

Diversas propriedades rurais no Brasil manejam os resíduos de forma errônea fazendo com que este perca grande parte de suas características fertilizantes e energéticas. Assim sendo, o ideal seria que todas as unidades de produção tivessem estruturas adequadas para coletar, transportar, armazenar, tratar e, somente depois, utilizar os dejetos resultantes (MERKEL, 1981). São poucos os produtores que se dedicam à pecuária leiteira ou de corte que utilizam o esterco de bovinos como fertilizante. Na maior parte dos estabelecimentos, o esterco produzido fica acumulado ao redor dos estábulos ou é lançado diretamente nos mananciais d'água, provocando a sua contaminação com coliformes fecais e a redução do nível de oxigênio da água, comprometendo seriamente o equilíbrio ecológico (BARCELLOS, 1991).

Van Horn et al., (1994) colocaram que os dejetos são componentes orgânicos naturais do meio e quando tratados, podem contribuir para a melhoria da produção vegetal e por consequência animal. Já Bueno (1986), observou que geralmente os resíduos são secos nos currais, o que provoca perdas de nutrientes importantes por volatilização, arraste pelas águas de limpeza ou chuva; o que faz esses resíduos perderem suas características fertilizantes.

Dessa forma, o melhor sistema de tratamento do resíduo pecuário deve ser projetado para minimizar o impacto ao meio ambiente e maximizar a recuperação dos recursos energéticos e fertilizantes que estes contêm, com o objetivo de aproveitá-los no aumento da produtividade (HARDOIM, 1999).

Entre manejos tradicionais no tratamento de águas residuárias e dejetos, encontram-se as lagoas de estabilização ou o despejo direto “in natura” no solo ou nos corpos d’água que não produziram, na prática, o controle da poluição ambiental. O insucesso da utilização destes métodos deve-se ao volume dos resíduos gerados que tem aumentado em função das características atuais de criação dos animais serem realizadas em grandes confinamentos e pequenas áreas (SILVA, 2009).

O tratamento anaeróbio de resíduos pode ser considerado como um dos principais métodos de proteção ambiental e preservação de recursos, podendo os resíduos tornarem-se importantes fontes de nutrientes, condicionadores do solo e, também, fonte de energia. (Callaghan et al., 1999; Lettinga & Van Lier, 1999 citados por STEIL et al., 2002).

A biodigestão anaeróbia é um dos processos utilizados para tratamento de resíduos de origem orgânica. Pode ser usada para tratamento de resíduos, tanto na forma sólida quanto na líquida, e produz como resultado o biogás e o biofertilizante. É uma maneira eficiente de tratar consideráveis quantidades de resíduos, reduzindo o seu poder poluente e os riscos sanitários advindos dos mesmos (HILLS, 1980).

Com a utilização da biodigestão anaeróbia dos resíduos rurais, pode-se levar em consideração que, geralmente, não há interesse em se atingir um nível de tratamento que leve ao esgotamento do resíduo, pois é de grande importância a reciclagem do efluente na adubação de plantas. Dessa forma, atualmente os enfoques principais na utilização do processo no meio rural são a produção de biogás e o aproveitamento do biofertilizante (LUCAS JR, et al., 1992). Ou seja, não se tem buscado o tratamento para atender a disposição final do resíduo em corpos d’água, que dependendo da classificação do rio apresentam critérios bastante rigorosos para serem realizados pelos produtores rurais.

Os resíduos orgânicos originados nos diferentes sistemas de produção agropecuários são denominados biomassa (GENEROSO, 2001). Segundo Lora (1997), a biomassa é representada por toda matéria vegetal criada pela fotossíntese e seus derivados, os resíduos florestais e agrícolas, os resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos domésticos e municipais. A biomassa pode ser utilizada como fonte de energia, pois produz o biogás, que pode substituir combustíveis derivados do petróleo, proporcionando economia ou até mesmo auto-suficiência em energia em uma propriedade (Rosillo-Calle, 2000 citado por MAGALHÃES et al., 2001).

4.3 Biodigestão Anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é um dos processos utilizados para tratamento de resíduos de origem orgânica. Consiste em um processo natural de fermentação, onde as bactérias produzem metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) a partir da decomposição da matéria orgânica. Pode ser usada para tratamento de resíduos, tanto na forma sólida quanto na líquida, e produz como resultado o biogás e o biofertilizante. É uma maneira eficiente de tratar consideráveis quantidades de resíduos, reduzindo o seu poder poluente e os riscos sanitários advindos dos mesmos (HILLS, 1980).

Segundo Chernicharo (1997), a digestão anaeróbia envolve processos metabólicos complexos, que dependem da atividade de três grupos de microorganismos: bactérias fermentativas (acidogênicas), bactérias sintróficas (acetogênicas) e microorganismos metanogênicos. As bactérias fermentativas acidogênicas convertem, por hidrólise e fermentação, compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em compostos mais simples, como ácidos orgânicos, hidrogênio e dióxido de carbono. Os microorganismos sintróficos acetogênicos convertem compostos orgânicos intermediários, como propionato e butirato, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, as arqueas metanogênicas convertem acetato e hidrogênio em metano e dióxido de carbono.

O processo de biodigestão anaeróbia é constituído pelas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, porém pode ser subdividido em rotas metabólicas, com a participação de vários grupos microbianos, como ilustrado na Figura 1.

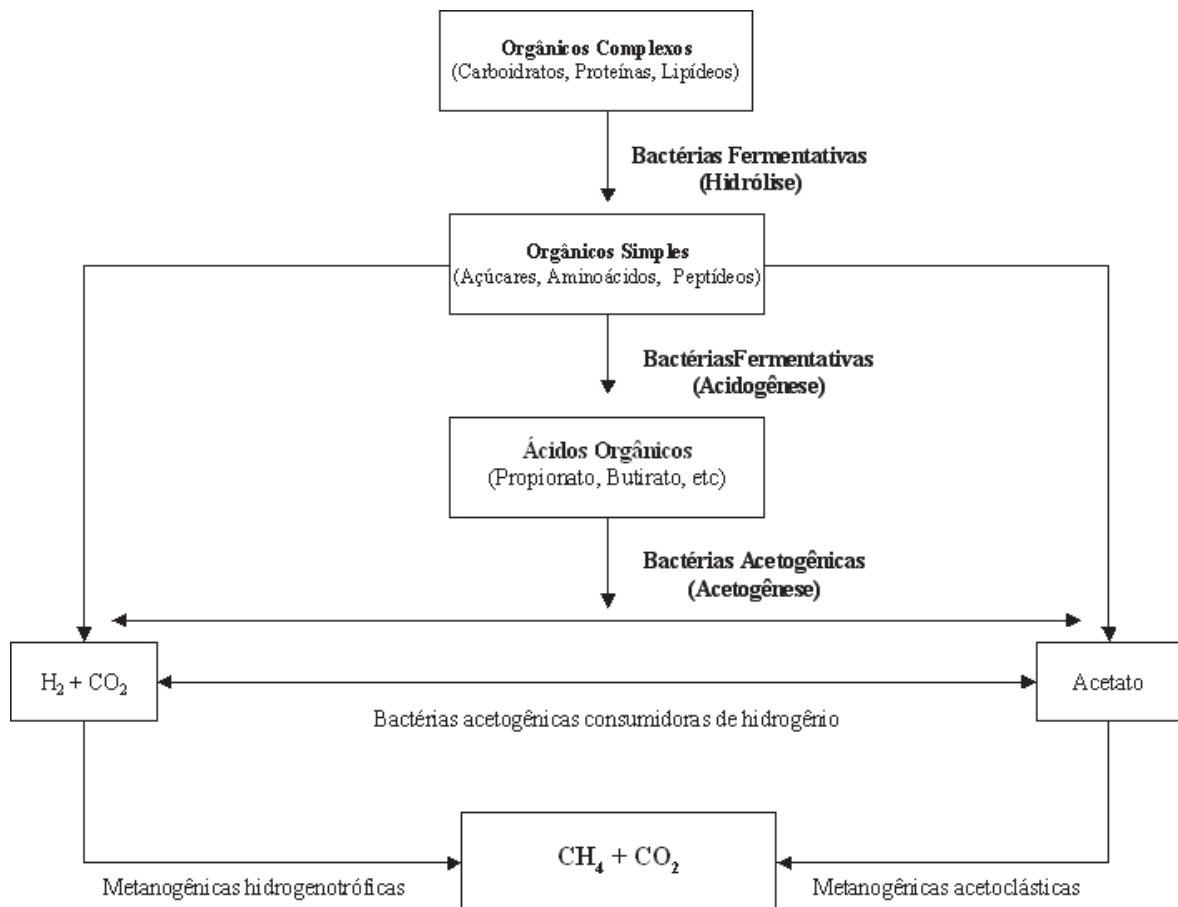


Figura1. Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Chernicharo,1997 adaptado de Lettinga et al.,1996).

A primeira fase do processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (matéria orgânica particulada), que não são assimilados pelas bactérias, em materiais dissolvidos mais simples, ou seja, moléculas menores que conseguem atravessar a parede celular das bactérias fermentativas. Essa conversão ocorre através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas, ocorre de forma lenta, e vários fatores podem afetar o grau e a taxa de hidrólise do substrato, tais como: temperatura de operação do reator, tempo de residência do substrato no reator, composição do substrato, tamanho das partículas, pH do meio, entre outros. A composição relativa e ativa das bactérias hidrolíticas que atuam no processo de digestão dependem do tipo de substrato presente no sistema. (Lettinga et al.,1996 citado por CHERNICHARO, 1997).

Os produtos solúveis resultantes da hidrólise são metabolizados por microorganismos acidogênicos, através da fermentação de açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, fase conhecida por acidogênese, e produzem compostos mais simples como:

- ácidos orgânicos: acético, propiônico e butírico;
- alcoóis: etanol;
- cetonas: acetona;
- dióxido de carbono;
- hidrogênio;
- novas células bacterianas.

Como os ácidos orgânicos são o principal produto desses microorganismos, estes são usualmente chamados de bactérias fermentativas acidogênicas, são os primeiros microorganismos a atuar após a hidrólise e são os que mais se beneficiam energeticamente, desta forma, essa etapa só será limitante do processo se o material a ser degradado não for facilmente hidrolisado. Os produtos metabólicos gerados pela acidogênese servem de substratos para as bactérias acetogênicas e para as arqueas metanogênicas.

Na fase seguinte, denominada acetogênese, as bactérias sintróficas acetogênicas oxidam compostos orgânicos intermediários como propionato e butirato, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono, que são substratos para os microorganismos metanogênicos.

A metanogênese consiste na fase final do processo de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono e é realizada pelos microorganismos metanogênicos, classificados dentro do domínio *Archea*. Esses microorganismos são divididos em dois grupos:

- Arqueas metanogênicas acetoclásticas: utilizam acetato como fonte de carbono e energia para a produção de gás carbônico e metano, são responsáveis por cerca de 60-70% de toda produção de metano;

- Arqueas metanogênicas hidrogenotróficas: utilizam gás carbônico como fonte de carbono e hidrogênio como fonte de energia para produção de metano (CHERNICHARO, 1997).

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia depende de condições ambientais específicas (nutrientes, temperatura, tempo de retenção hidráulica) para que as diferentes populações de microorganismos possam crescer e se multiplicar (Singh e Singh, 1996; Hammad et al., 1999; Yadvika et al., 2004 citados por FUKAYAMA, 2008).

A biodigestão anaeróbia pode ocorrer em três faixas de temperatura: psicrófila (até 25⁰C), mesófila (de 25 a 40⁰C) e termófila (acima de 40⁰ C) (BOUALLAGUI et al., 2004).

Ahn & Forster (2002) e Bouallagui et al. (2004) citaram que o sucesso da biodigestão anaeróbia depende da manutenção da temperatura de operação do biodigestor, pois as metanogênicas são sensíveis a choques de temperatura. Chae et al. (2008) encontraram redução de 7,2% na produção de biogás, e afirmaram que as metanogênicas podem se adaptar às mudanças na temperatura, desde que não haja maiores mudanças na operação. Quando promoveram choque de temperatura de 35 para 30⁰C, a recuperação da produção de biogás ocorreu em apenas 40 horas. Portanto, segundo El-Mashad et.al.(2006), é interessante avaliar diversas formas de aumentar a produção de biogás na escolha de um sistema, assim como as características dos substratos, simplicidade do projeto, operação e custos.

O processo de biodigestão anaeróbia gera como subprodutos biogás e o biofertilizante, que são variáveis em suas constituições de acordo principalmente com a origem do substrato, mecanismo de manejo do processo.

A biodigestão anaeróbia representa uma atividade economicamente interessante para os produtores, tendo em vista a produção de biogás, que é uma fonte de energia renovável que pode ser aproveitada na própria atividade agropecuária em substituição a outras fontes energéticas, diminuindo os custos da produção. Considerando o aumento dos custos das fontes convencionais de energia, essa pode ser uma excelente técnica alternativa objetivando a produção energética (Santos 2001, citado por MIRANDA, 2005).

O biogás não é tóxico para o ser humano e animais. É composto principalmente pelo metano, que é um gás incolor, inodoro, altamente combustível, queimando com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com poluição mínima. O metano representa 60 a 80% da composição total da mistura de gases (BEDUSCHI, et al., 1985). Os demais gases constituintes são o dióxido de carbono, pequenas quantidades de amônia, gás sulfídrico e outros compostos reduzidos (MAGALHÃES, 1986; ASAE, 1994).

O potencial de produção de biogás dos dejetos varia conforme as diferentes espécies animais (Tabela 1) dependendo do material orgânico do substrato, tipo de tratamento, da temperatura, entre outros.

Tabela 1. Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais

Animal	Kg	m³	m³	m³
(Peso Vivo)	esterco/animal/dia	biogás/kg esterco	biogás/kg SV*	biogás/animal/dia
Bovino (500 kg)	10 – 15	0,038	0,094 – 0,31	0,36
Suíno (90 kg)	2,3 – 2,8	0,079	0,37 – 0,50	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12 – 0,18	0,050	0,31 – 0,62	0,014

Fonte: OLIVEIRA (2001) * SV = sólidos voláteis

O biogás constitui-se numa mistura variada de gases, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Composição do biogás

Gás	% em volume
Metano (CH ₄)	50-70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25-50
Hidrogênio (H ₂)	0-1
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0-3
Oxigênio (O ₂)	0-2
Amoníaco (NH ₃)	0-1
Nitrogênio (N ₂)	0-7

Adaptado de CETESB(2006)

A utilização do biogás como recurso energético se deve principalmente ao metano, que quando puro e em condições normais de pressão e temperatura (CNTP, 0⁰C e 1 atm) tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kwh/m³. O biogás com teor de metano entre 50-80% terá um PCI entre 4,95- 7,92 kwh/m³ (CETESB, 2006). A Tabela 3 relaciona a equivalência energética do biogás, de acordo com alguns autores:

Tabela 3. Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia

Energético	Ferraz & Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,61	0,61	0,60
Querosene (L)	0,58	0,58	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,55	0,55	0,62
GLP (kg)	0,45	0,45	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,8	-
Carvão min (kg)	-	0,73	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,54	3,5	1,64
Eletricidade (kwh)	1,43	1,43	-	6,54

Fonte: Adaptado de Ferraz & Mariel (1980), Sganzerla (1983), Nogueira (1986), Santos (2000).

Santos (2000) afirma que a utilização do biogás como combustível terá como resultado as seguintes formas de energia: elétrica, térmica ou mecânica, independente de sua forma de utilização.

Segundo Souza (2006), o biogás pode ser usado em motores de combustão interna, que são máquinas que transformam a energia calorífica do combustível em energia mecânica prontamente utilizável. São chamados de combustão interna porque a mistura ar- combustível é queimada dentro de um cilindro. Nogueira (1986) relata que em motores de combustão interna do ciclo Otto a ignição é feita por centelha, e o biogás é admitido em mistura com o ar e carburado em um dispositivo montado no local do filtro de ar. Já em motores de ciclo Diesel, onde a ignição é feita por compressão é necessário que, além da admissão da mistura de ar, a injeção de pequena quantidade de diesel para iniciar a queima. Pode também ser utilizado na substituição de energéticos convencionais em motores, caldeiras, chocadeiras, incubadoras, refrigeradores a querosene, geradores de energia elétrica, além do consumo doméstico (Magalhães et al., 2001; Caeeb, 1981 citado por AMORIM, 2002). Quando pelo menos uma dessas formas de energia for útil, o biogás irá poupar recursos, e associar valor econômico à atividade.

4.4 Biodigestores

O biodigestor é uma câmara construída para produção do meio anaeróbio ideal ao desenvolvimento dos microorganismos que possuem a capacidade de digerir a matéria orgânica de esgotos domésticos, efluentes industriais ou resíduos agropecuários e transformá-la em outras substâncias mais simples, que são metabolizadas, resultando na mistura de gases (biogás) (LUCAS JR, 1994). São compostos pela câmara de fermentação, onde os dejetos são destinados e sofrem o processo de fermentação, e o gasômetro, que armazena o biogás produzido.

De acordo com Lucas Jr. e Santos (2000), no meio rural no Brasil, maiores interesses são voltados para os biodigestores mais fáceis de serem operados e que apresentam menores custos devido a pouca tecnologia associada aos mesmos.

A escolha do biodigestor adequado para um resíduo é a chave para o desenvolvimento e processo apropriados. Assim, segundo Fukayama (2008), é importante entender os princípios de operação dos biodigestores para ajudar na seleção e planejamento de

um modelo de tratamento a partir da biodigestão anaeróbia. As tecnologias existem, mas não podem ser universais pois os manejos dos animais são específicos. O manejo se diferencia dependendo das espécies animais e das tradições de país para país quanto às criações dos animais (BAYKOV et al.1995).

A classificação dos biodigestores varia de acordo com o modo de operação, que pode ser batelada ou contínuo. No sistema batelada, o substrato a ser tratado é adicionado de uma só vez no interior do biodigestor, permanecendo por um tempo, e posteriormente retirado. No sistema contínuo, os abastecimentos são periódicos e contínuos durante o funcionamento do biodigestor, assim como a saída do substrato já tratado.

Biodigestores do tipo batelada são indicados para o tratamento de resíduos obtidos em determinados períodos ou épocas, como a cama de frangos, que é retirada do galpão após a saída do lote, ou como nos confinamentos, onde os galpões não são limpos diariamente, e sim em certos períodos. Nesses casos temos grandes quantidades de substrato em determinados períodos, e por essa característica esse modelo foi utilizado no presente trabalho. Esses biodigestores são constituídos basicamente por dois corpos cilíndricos de tamanhos diferentes, um dentro do outro, e uma campânula flutuante emborcada em um selo d'água entre esses cilindros segundo Ortolani et al. (1991). Os biodigestores bateladas têm como características:

- são abastecidos de uma só vez e esvaziados após um certo período de fermentação;
- apresentam produção de biogás na forma de picos;
- não possuem caixas de entrada e saída;
- não necessitam ter parede divisória.

O referido período de fermentação no qual o substrato permanece no interior do biodigestor é chamado de tempo de retenção hidráulica (TRH), é o tempo necessário para que ocorra a adequada biodigestão do substrato.

A desvantagem do modo de operação batelada está relacionada com a lenta velocidade de fermentação do substrato, que demanda um elevado TRH, principalmente quando o substrato possui elevado teor de fibras, que são difíceis de serem degradadas, como nos dejetos de bovinos. Para reduzir o TRH são utilizados mecanismos como agitação e aquecimento do substrato, e adição de inóculo. Muitos dispositivos vêm sendo utilizados

junto aos biodigestores para aumentar sua eficiência de digestão, dos quais se destacam os tanques de pré-fermentação, as serpentinas de aquecimento e os agitadores (LUCAS JR. e SANTOS, 2000). Hardoim et al. (1999) verificaram em seus estudos que o emprego do aquecimento aumentou a eficiência dos biodigestores no tratamento de dejetos de vacas leiteiras.

O uso de inóculo consiste na introdução de material já digerido na carga de substrato que irá ser tratado. Como exemplo de inoculo, temos o efluente do biodigestor, o qual já passou pelo processo e contém os microorganismos responsáveis pela biodigestão. Ortolani et al. (1991) citaram que a introdução dessas tecnologias ou mesmo o uso de inoculantes podem reduzir o volume da unidade digestora atendendo mesmo assim a demanda diária de energia. Porém, no presente trabalho, não houve uso desses mecanismos, pois o objetivo foi avaliar o processo de biodigestão somente nos diferentes tempos de exposição do dejetos.

Nos biodigestores também ocorre eliminação de grande parte de organismos patogênicos, presentes nos excrementos humanos e animais. Como indicadores bacterianos de poluição fecal de importância para a saúde pública, podemos citar os coliformes totais os quais foram os primeiros organismos utilizados como indicadores da qualidade de fontes de água de bebida. Sua presença não indica, necessariamente, poluição de origem fecal, já que este grupo de microorganismos é encontrado no ambiente naturalmente como na água, solo, insetos e vegetais. A mensuração de coliformes fecais é registrada como indicador de maior confiança de contaminação fecal das águas. Baseia-se na presença, principalmente de *Escherichia coli*, um habitante normal do trato intestinal de seres humanos e animais homeotermos. A importância do uso dos coliformes fecais está na sua habilidade em sobreviver fora do trato intestinal de seus hospedeiros. (Thelin & Gifford, 1983; Doran & Linn, 1979; citados por BARROS, 2002).

Dentre os benefícios esperados com a implementação do sistema de tratamento com o biodigestor anaeróbio pretende-se a economia financeira na forma de aproveitamento do biogás e do biofertilizante gerado, a melhoria ambiental com a redução do despejo de dejetos “in natura” no sistema municipal de tratamento de esgoto e ganhos sociais

com o bem estar gerado pela redução de emissões de gases do efeito estufa e redução de odores para a atmosfera (SILVA, 2009).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição do Local

O trabalho foi realizado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Jaboticabal – SP.

O campus está localizado nas coordenadas geográficas 21°15'22''S e 48°18'58''W e altitude média de 575 metros, cujo clima, segundo a classificação de KÖPPEN é Cwa, isto é, subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual em torno de 1400 mm e temperatura média anual próxima de 21,5°C.

Os dejetos utilizados para o ensaio foram coletados no setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia do campus.

Os ensaios de biodigestão anaeróbia foram realizados nas dependências do Departamento de Engenharia Rural, nos Laboratórios de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia, que abrigam os biodigestores utilizados.

O experimento foi realizado no período de 02 de Março a 10 de Junho de 2010, simulando-se uma situação de manejo de dejetos, os quais foram coletados uma única vez, e expostos ao ambiente por diferentes períodos.

5.2 Obtenção dos Dejetos

Os dejetos utilizados no experimento eram oriundos de vacas holandesas em lactação, mantidas em sistema semi-intensivo de produção, ordenhadas duas vezes por dia, no período da manhã e da tarde. As vacas eram alimentadas no cocho com concentrado e silagem de milho, e após a última ordenha eram soltas para o pasto.

Para a coleta dos dejetos, com a certeza de que os mesmos eram frescos, foi realizada a limpeza do estábulo, onde posteriormente as vacas foram mantidas por um período de 24 horas, saindo somente para as ordenhas. Após esse período, fez-se a coleta dos dejetos por meio de raspagem do piso com o uso de pás. Os dejetos foram acondicionados em latões e encaminhados ao pátio de compostagem do Departamento de Engenharia Rural, o qual tem cobertura plástica com pé direito de 2,9 m e piso de concreto.

A leira foi composta por 300 kg de dejetos, conforme a Figura 2, que foram amontoados e a cada três dias, durante um período de 18 dias e alguns quilos dessa leira eram retirados para o abastecimento de biodigestores.

A finalidade foi avaliar a produção de biogás do dejetos em função do tempo em que o mesmo encontrava-se armazenado, simulando uma prática comum dos produtores que costumam raspar o estábulo e deixar o dejetos amontoados. Este procedimento permitiu a avaliação dos dejetos expostos nos tempos zero, três, seis, nove, 12, 15 e 18 dias.



Figura 2. Leira de dejetos de vacas leiteiras.

5.3 Caracterização dos Biodigestores

Foram utilizados 21 biodigestores bateladas com capacidade útil de 60 litros de substrato cada, do tipo Batelada, pertencentes a uma bateria de mini-biodigestores, descrita por ORTOLANI et al. (1986).

Esses biodigestores compõem-se, basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais, encontra-se inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comportasse o volume de água denominado “selo d’água”, atingindo profundidade de 480 mm. Uma campânula flutuante de fibra de vidro, emborcada no selo d’água, propicia as condições anaeróbias sob as quais se desenvolve o processo de fermentação, além de armazenar o gás produzido e conferir pressão ao mesmo. A Figura 3 mostra detalhes de um dos biodigestores utilizados.

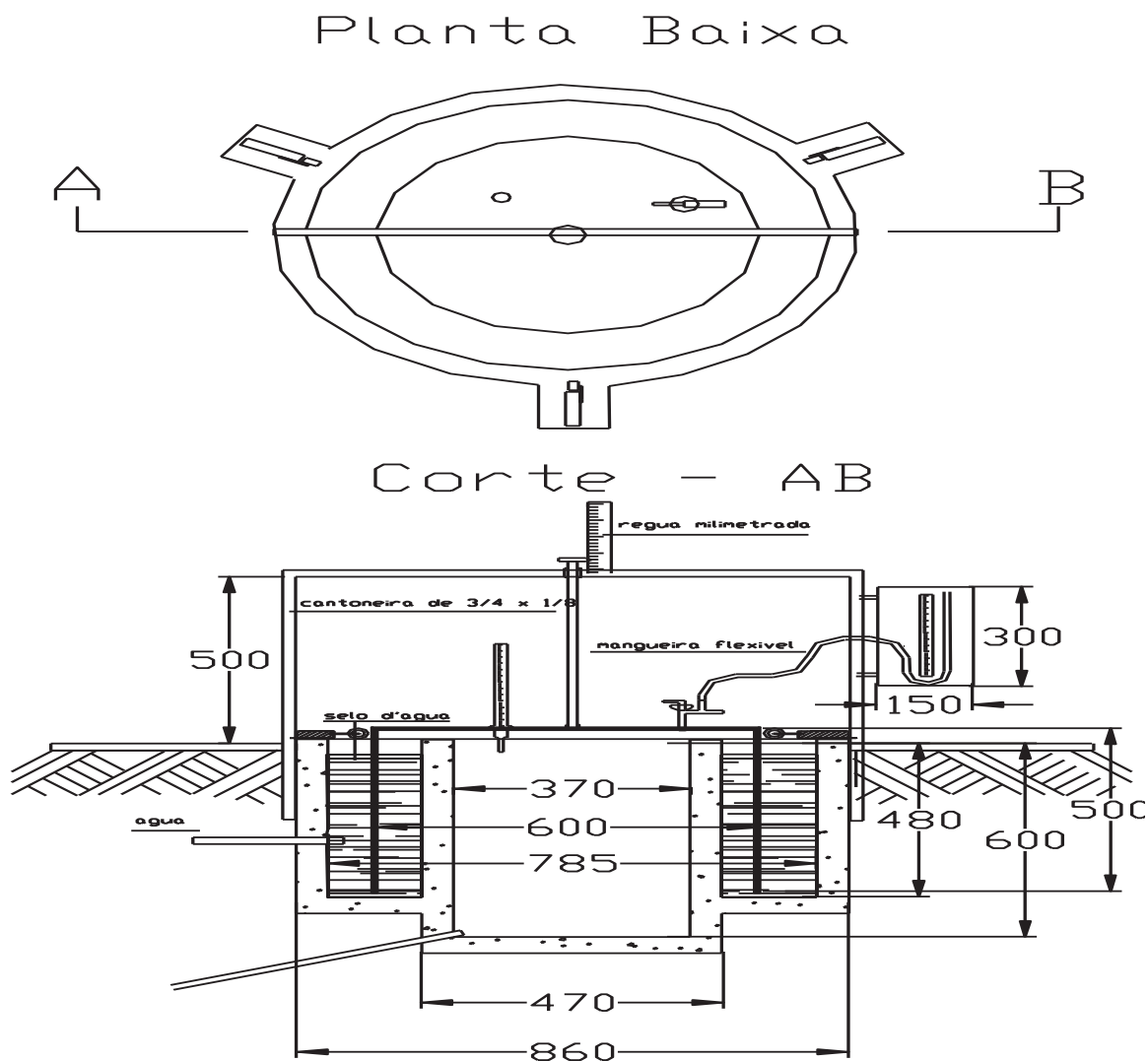


Figura 3. Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm.
(Fonte: ORTOLANI et al. 1986).

Os biodigestores são semi-subterrâneos, sendo que a superfície do solo à sua volta é revestida por uma calçada de concreto com 5 cm de espessura. O cilindro interior (câmara de fermentação) faz comunicação com uma vala de drenagem por meio de um tubo de escoamento que é ligado ao fundo da câmara cuja finalidade é a limpeza, conforme a Figura 4.



Figura 4. Biodigestores batelada do Departamento de Engenharia Rural da FCAV-Unesp/ Jaboticabal.

5.4 Abastecimento dos Biodigestores

Os biodigestores foram abastecidos com os dejetos provenientes da leira nos tempos de exposição zero (0d), três (3d), seis (6d), nove (9d), 12 (12d), 15 (15d), 18 (18d) dias e tinham três repetições.

Um dia antes do abastecimento, era retirada uma amostra da leira, e levada ao laboratório para realizar a quantificação de Sólidos Totais (ST). Essa amostra era dividida em três partes e acondicionada em recipientes de alumínio previamente tarados, e depois de pesados eram colocados em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até obtenção de peso constante. Assim obtinha-se o peso seco da amostra. Esse procedimento foi realizado para que se pudesse calcular a quantidade de dejetos e água a ser colocada nos biodigestores, de forma que cada um contivesse cerca de 4,5% de ST.

No dia do abastecimento, parte da leira era retirada e levada ao laboratório para compor o substrato de cada biodigestor, e o restante era devolvido ao pátio. O substrato era formado pelo material vindo da leira, diluído em água. A homogeneização dos substratos foi realizada utilizando pás de madeira em um latão, conforme a Figura 5. Em todos os abastecimentos eram feitas análises de quantificação de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e medição de pH tanto das amostras de dejetos quanto dos substratos.



a) Materiais usados na obtenção do substrato



b) Dejeto



c) Mistura de dejeto e água



d) Substrato

Figura 5. Obtenção do substrato (afluente) do biodigestor.

Na Tabela 4 encontram-se os componentes dos substratos nos seus respectivos tratamentos.

Tabela 4. Quantidade de dejetos e água utilizados para o abastecimento de cada biodigestor

Tratamento	Estrume (kg)	Água (kg)	ST(%)
0d	16,0	44,0	4,7
3d	13,0	47,0	4,3
6d	12,0	48,0	3,9
9d	8,0	52,0	4,7
12d	10,0	50,0	4,6
15d	8,5	51,5	3,8
18d	8,0	52,0	4,0

Na Figura 6 estão mostradas as etapas de abastecimentos dos biodigestores:



Figura 6. Abastecimento do biodigestor batelada

5.5 Perda de Massa

Para avaliar a redução de massa da leira, realizava-se a pesagem de todo material, com auxílio de balança manual com capacidade para 500 kg.

As pesagens eram feitas a cada abastecimento, ou seja, de três em três dias. Para isso colocava-se o material da leira em tambores de plásticos devidamente tarados e fazia-se aferição do peso. Esse procedimento foi realizado no período de 18 dias.

5.6 Análises Laboratoriais

5.6.1 Análises dos Teores de Sólidos Totais (ST)

As determinações dos teores de ST foram realizadas retirando-se a umidade das amostras da leira, dos afluentes e dos efluentes para quantificação da matéria seca em porcentagem (%MS).

No laboratório, depois das amostras terem sido homogeneizadas, foram colocadas em recipientes de alumínio com taras conhecidas. As amostras foram pesadas, tendo-se, então, peso úmido (PU), e levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C até atingirem peso constante, sendo a seguir resfriadas e novamente pesadas em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se então o peso seco (PS). Os teores de sólidos totais foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1998), sendo utilizados, para tanto, as seguintes equações:

$$ST = 100 - U$$

e

$$U = [(PU - PS) / PU] \times 100$$

onde:

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em gramas;

PS = peso seco da amostra, em gramas.

5.6.2 Análise dos Teores de sólidos voláteis (SV)

Para a determinação dos SV, as amostras já secas em estufa, resultantes da determinação de sólidos totais, foram acondicionadas em cadinhos de porcelana e levadas a mufla onde foram submetidas à temperatura de 575°C por um período de 2 horas. Após queima inicial com a mufla parcialmente aberta e, em seguida, após o resfriamento, o material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral. Os teores de sólidos voláteis foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1998). Assim, foram utilizadas as seguintes equações:

$$SV = ST - \text{cinzas}$$

e

$$\text{cinzas} = \{ 1 - [(PU - P_m) / PU] \} \times 100$$

onde:

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em gramas;

P_m = peso obtido após queima em mufla, em gramas.

5.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Este parâmetro foi medido nos afluentes e efluentes dos biodigestores, utilizando-se peagômetro digital “Digimed (DMPH-2)”. Para tanto, foram utilizadas as mesmas amostras destinadas à determinação dos teores de sólidos totais.

5.6.4 Avaliação da Produção de Biogás

As produções de biogás foram calculadas em volume com base no deslocamento vertical obtido na leitura das réguas graduadas dispostas verticalmente nos gasômetros. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, que no caso dos biodigestores em questão é igual a 0,2827 m², para determinar o volume de gás produzido. Após cada leitura, o biogás era eliminado pela abertura de saída do gasômetro, a qual era fechada após o procedimento.

Foi realizada a correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C, foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985) no qual verificou-se que, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentou comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por SANTOS (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1}$$

sendo que:

V_o = volume de biogás corrigido, m³;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de água;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10 mm de água;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_o = \frac{V_1}{T_1} \times 273,84575$$

A temperatura do biogás era aferida juntamente com a leitura da produção de biogás, com o uso de um termômetro digital (em °C). Após cada leitura do volume de biogás produzido, o termômetro era colocado no local de liberação de gás, até que ocorresse a estabilização da temperatura e esta então era registrada.

5.6.5 Análise da Composição do Biogás Produzido

Para a avaliação da composição do biogás produzido, foram feitas análises com base nos teores de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Foram coletadas três amostras por tratamento, usando seringas plásticas, em todos os biodigestores semanalmente em dias aleatórios. As determinações foram feitas utilizando-se um cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC 2001 equipado com colunas Porapak Q e Peneira Molecular, utilizando hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi feita

com o gás padrão contendo metano, dióxido de carbono, oxigênio e nitrogênio. Os percentuais dos componentes foram determinados com o auxílio de um integrador processador.

5.6.6 Cálculo dos Potenciais de Produção de Biogás

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se a produção total de biogás de cada biodigestor e as quantidades de dejetos, de substrato e de sólidos totais e sólidos voláteis adicionados nos biodigestores. Os valores foram expressos em m³ de biogás por kg de substrato, de dejetos, de sólidos totais adicionados e de sólidos voláteis adicionados.

5.6.7 Teste de Queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama.

Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Após a detecção da mesma, este teste não mais era necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo.

5.7 Delineamento Experimental

Para as variáveis potencial de produção de biogás e produção total de biogás utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Conforme o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} é o valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento i na repetição j , com $i=1, 2, 3, 4$ e 5 e $j=1, 2$ e 3 ,

μ é a média geral,

t_i é o efeito devido o tratamento i , que foi aplicado à unidade experimental,

e_{ij} é o efeito associado aos fatores não controlados na unidade experimental que recebeu o tratamento i na repetição j .

Os dados foram analisados pelo procedimento GLM do pacote estatístico SAS. Verificou-se se os dados atendiam as pressuposições de normalidade, homogeneidade de variâncias e ausência de *outliers*. Para todas as variáveis a comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey ($P < 0,05$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados a seguir.

6.1 Redução de massa da leira

Na Figura 7 está representada a redução de massa da leira, no período de 18 dias. Nota-se que houve uma redução de aproximadamente 73% do peso em massa.

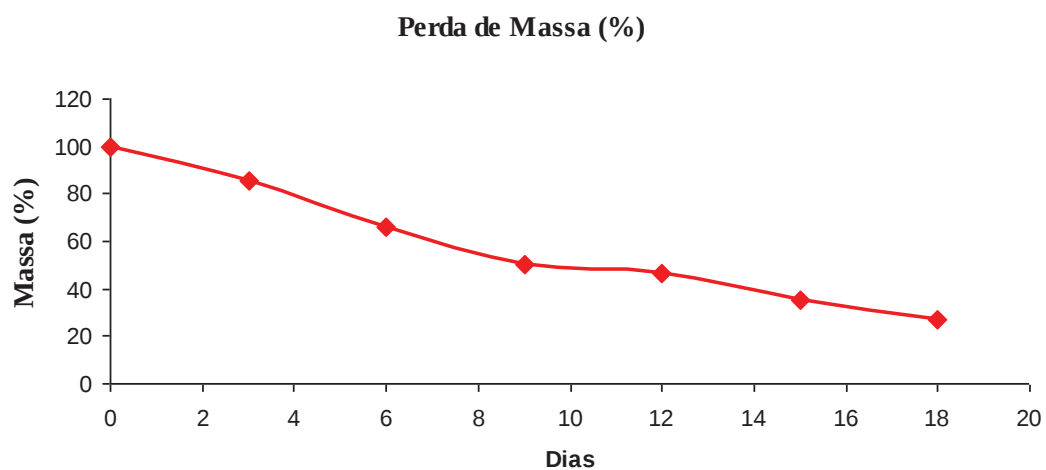


Figura 7. Redução de massa, em % de leira de dejetos de vacas holandesas, medida no período de 18 dias.

Machado (2008), analisando reduções de massa em leiras de dejetos de bovinos leiteiros, obteve 86,79% de redução num período de 22 dias.

O modo de disposição dos dejetos em leira caracteriza o início do processo de compostagem que é, segundo Zucconi e Bertoldi (1986), citados por FERNANDES et al., 1993, uma oxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizada pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Esses parâmetros característicos do processo de compostagem são os que justificam as reduções de massa das leiras. A ocorrência de chuvas ou períodos secos influenciando a umidade relativa do ar ou entrando em contato com o material, também interferem na porcentagem de redução de massa das leiras, influenciando a velocidade de perda ou ganho de água pelo material em exposição.

6.2 Redução dos sólidos totais e voláteis

A Tabela 5 apresenta os teores de ST e SV dos dejetos usados para abastecer os biodigestores. Os dejetos utilizados foram caracterizados como dejetos sólidos e os tratamentos representam o período de tempo que eles ficaram expostos.

Tabela 5. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) dos dejetos de vacas holandesas expostos ao ar

Tratamento	Massa Leira (kg)	ST (kg)	ST (%)	SV (%) ¹
0d	300	53,4	17,8	79,93
3d	257,4	44,4	17,3	77,06
6d	197,4	38,2	19,7	75,28
9d	150,9	38,7	25,7	76,5
12d	138,9	40,5	29,2	75,15
15d	106,5	26,8	25,2	73,27
18d	81,3	22,2	27,3	73,79

¹Como porcentagem dos ST

Note-se que durante o tempo de exposição, houve um aumento no teor de ST, pois com o dejetos exposto houve perda de umidade, o que ocasionou uma maior

concentração de MS no dejetos. Ressalta-se que os dejetos iniciais tinham teores de ST iguais a 17,8% e que ao final de 18 dias de exposição (18d), o teor de ST era de 27,3%.

No primeiro dia de avaliação (0d), que representa o estrume fresco, o valor encontrado de 17,8% foi próximo ao obtido por Xavier (2005) que foi de 21,13% no período de primavera/verão e ao de Machado (2008) que foi de 22,56%. Esses dados confirmam que o teor de ST do dejetos “in natura” obtido nesse trabalho é próximo aos comumente encontrados na literatura.

Os teores de SV desse trabalho variaram de 73,27 a 79,93% e os encontrados por Machado (2008) variaram de 78,19% a 83,23%. Xavier (2005) para o mesmo tipo de dejetos e na mesma época do ano obteve teor de SV de 75,40%.

6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH dos substratos usados no abastecimento dos biodigestores estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios de pH dos substratos contendo dejetos de vacas holandesas utilizados em biodigestores bateladas após o tempo de exposição

TRATAMENTO	pH
0d	7,38
3d	6,16
6d	7,19
9d	8,15
12d	8,98
15d	9,24
18d	9,75

O valor do pH é um fator que influencia o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia. Alguns autores apontam o pH de 6,0 a 8,0 como sendo a faixa ótima para a digestão anaeróbia (BATISTA, 1981). Porém, segundo Bryant (1979), a faixa ótima de pH para digestão anaeróbia de dejetos de bovinos é de 6,7 a 7,4.

Os substratos provenientes dos dejetos expostos de nove a 18 dias apresentaram pH elevados, acima de 8,0, considerados um dos fatores limitantes para o processo de biodigestão anaeróbia. Quanto mais exposto o dejetos nos primeiros dias após sua obtenção, maiores as perdas de compostos importantes para os microrganismos que conduzem o processo já que a hidrólise dos mesmos ocorre em meio anaeróbio ou aeróbio e precursores do metano podem ser perdidos, como os Ácidos Graxos Voláteis (AVG), úteis para a formação de biomassa microbiana.

6.4 Produção de Biogás

As produções de biogás dos tratamentos obtidos nos diferentes dias após a exposição estão representadas na Figura 8.

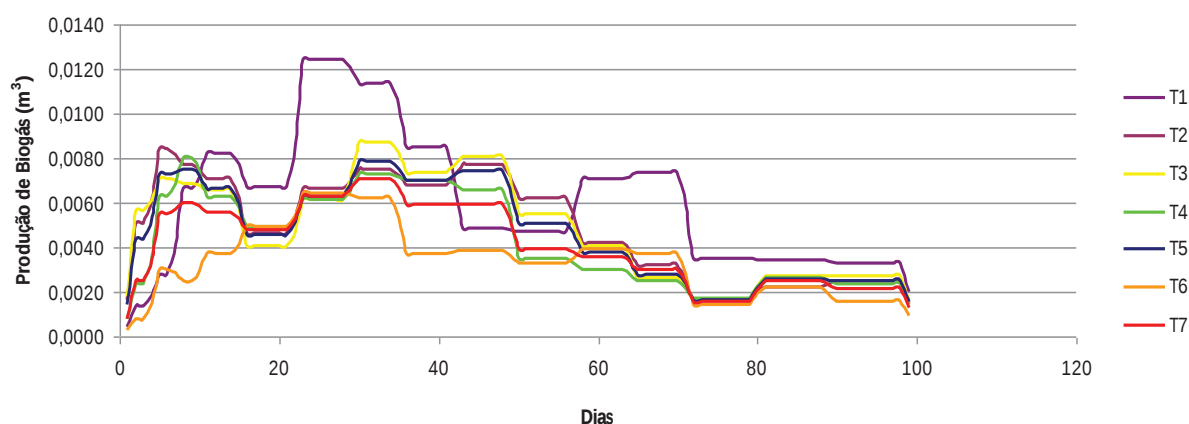


Figura 8. Produções de biogás obtidas em biodigestores bateladas operados com dejetos de vacas holandesas expostos ao ar

Observa-se, pelos gráficos, que os picos de produção de biogás foram mais adiantados quando os substratos foram obtidos nos menores tempos de exposição. Porém, no início do processo de biodigestão anaeróbia há uma maior produção de CO_2 , o que significa que a qualidade desse biogás produzido é inferior ao biogás produzido posteriormente. No segundo pico de produção de biogás, quando se tem maior quantidade de CH_4 , os tratamentos com maiores tempos de exposição atingiram picos a partir de 20 dias após o abastecimento, tornando evidente que a fermentação prévia dos dejetos antes do

abastecimento de biodigestores é conveniente para a produção de biogás de melhor qualidade de combustão.

Na Tabela 7 está apresentada a produção média diária de biogás obtida a partir dos substratos.

Tabela 7. Produção média diária, em m³, de biogás obtidos de biodigestores bateladas operados com dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição ao ar

Tratamento	Produção de biogás
0d	0,00307b
3d	0,00312b
6d	0,00367a
9d	0,00332a
12d	0,00333a
15d	0,00275c
18d	0,00133d
CV ¹	14,58

¹ CV= coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Pode-se observar que as produções de biogás foram maiores nos tratamentos 6d, 9d e 12d, concluindo que conforme o dejetos fica exposto ao ar, ele perde compostos essenciais à produção de biogás.

Os teores médios de metano (CH₄), em porcentagem, contidos no biogás e estatísticas são apresentados na Tabela 8. Embora não tenha dado diferença significativa entre os tratamentos, houve diferença significativa entre as semanas (P<0,05), em que nas quatro primeiras semanas os teores de metano foram menores do que os teores apresentados na quinta e na sexta semana. Esse fato está relacionado com a maior formação de CO₂ no início do processo de biodigestão anaeróbia por ocasião da hidrólise dos componentes do substrato mais prontamente disponível para os microrganismos, aparecendo em maiores proporções nas primeiras análises.

Tabela 8 - Teores médios de metano (CH₄), em porcentagem, e estatísticas observados a partir de substratos de biodigestores bateladas contendo dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição

Tratamento	Médias
0d	69,49
3d	72,35
6d	71,98
9d	70,47
12d	70,38
15d	70,74
18d	69,37

Valor de F para Tratamento: 27,69 (P=0,1445). Valor de F para leitura:63,07 (P<0,0001)

Miranda (2005), trabalhando com dejetos de bovinos em biodigestores do tipo contínuo, obteve teor de metano no biogás de 60,45%, com 13 dias de tempo de retenção hidráulica (TRH). Os teores médios observados neste experimento são maiores do que os observados por Miranda (2005), isso pode ter ocorrido em função de neste experimento os TRH serem diferenciados e todos superiores a 13 dias.

Os resultados de porcentagem de metano encontrados nesse experimento foram semelhantes aos encontrados por Machado (2008), com teores de 71,06%, 70,89% e 70,36%, respectivamente com 3,6 e 9 dias de exposição ao ar.

6.5 Potenciais de produção de biogás

Os potenciais médios de produção de biogás estão apresentados na Tabela 9, em m³ de biogás por kg de ST adicionados, por kg SV adicionados, por kg de estrume e por kg de substrato.

Tabela 9. Potenciais médios de produção de biogás, em m³, por kg de sólidos totais (ST) adicionados, de sólidos voláteis (SV) adicionados, de estrume e de substrato e estatísticas obtidos a partir de substratos de biodigestores bateladas contendo dejetos de vacas holandesas com diferentes tempos de exposição

Tratamento	Potenciais (m ³ /kg)			
	ST adicionados	SV adicionados	Estrume	Substrato
0d	0,1583bc	0,4356b	0,0377b	0,0064ab
3d	0,1816ab	0,5810ab	0,0373b	0,0080a
6d	0,2478a	0,5957a	0,0401ab	0,0080a
9d	0,1971ab	0,4525b	0,0532a	0,0070ab
12d	0,1714ab	0,5756a	0,0579a	0,0063ab
15d	0,1269bc	0,4203b	0,0395ab	0,0055b
18d	0,0970d	0,2003c	0,0197c	0,0026c
Valor de F (tratamento)	9,36	11,14	38,43	7,88
Valor de P (tratamento)	0,0002	0,0002	<0,0001	0,0005
CV ¹	11,10	13,24	10,89	12,74

¹Coeficiente de variação

Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05).

Pereira (2006), trabalhando com dejetos de bovinos de corte, obteve média de 0,019 m³ de biogás/kg de substrato, resultado superior aos valores encontrados nesse trabalho, que variaram de 0,0026 m³ á 0,0080 m³. Isto também ocorre para potenciais de produção de biogás por kg de estrume e por kg de sólidos totais adicionados, que foram de 0,063m³ e 0,211m³, respectivamente.

Xavier (2005) obteve valores de potenciais de produção de biogás superiores aos encontrados nesse trabalho, que foram 0,0343 m³/kg substrato, 0,7855m³/kg ST adicionados e 0,0823m³/kg estrume no período de primavera/verão; e de 0,0219m³/kg substrato, 0,4399m³/kg ST adicionados e 0,0525m³/kg estrume no período de outono/inverno, nos tratamentos sem adição de inóculo, porém com TRH de 150 dias. Segundo Vedrenne et al. (2008) as variações para os potenciais dos SV adicionados podem ocorrer devido às diferenças

nas composições dos dejetos, nas frações de SV, proteínas, lipídios, carboidratos e lignina, com cada fração apresentando um determinado potencial para a produção de biogás. Os mesmos referem que ao menos 90 dias de TRH são necessários para alcançar 90% dos verdadeiros potenciais de SV, portanto este experimento esteve no limite, com 97 dias de duração.

Os valores de potencial de produção de biogás por kg de estrume obtidos nos tratamentos 9d, 12d e 18d são semelhantes aos encontrados por Hopfgartner (1983), com estrumes de bovino, que foi de $0,04\text{m}^3$. Machado (2008), também trabalhando com diferentes tempos de exposição obteve resultados semelhantes, que foram de $0,0366\text{ m}^3$, $0,0395\text{ m}^3$ e $0,0429\text{ m}^3$, respectivamente com 9, 12 e 15 dias de exposição ao ar.

7 CONCLUSÃO

A redução de massa da leira de dejetos foi de 73% após 18 dias de exposição ao ar, indicando que se pode adotar essa prática de exposição como armazenamento dos dejetos, sendo que a decisão quanto ao tempo máximo de exposição caberá à administração da propriedade baseada nas condições operacionais da mesma.

Os substratos para biodigestão anaeróbia de dejetos expostos de seis a 12 dias de obtenção promoveram antecipação dos picos, maiores produções de biogás e maiores potenciais de produção por kg de estrume, indicando que uma fermentação prévia dos dejetos é conveniente quando se deseja uma rápida produção de biogás.

Contudo, se o produtor tiver interesse em adotar um sistema de tratamento de dejetos e ainda obter energia desse sistema, é recomendada a utilização de biodigestores, e o acúmulo de dejetos viável para que se obtenha um biogás de melhor qualidade seja entre seis e 12 dias de exposição.

8 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, DC, 1998.

AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia/Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

BARCELLOS, L. A. R. **Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos**. 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

BATISTA, L. F. **Construção e operação de biodigestores**. Brasília, DF: EMATER, 1981. Não paginado.

BAYKOV, B.; STOYANOV, M.; GUGOVA, M. Methane fermentation of dung from litter-free reared domestic animals- an optimization study. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 251-256, jun. 1995.

BEDUSCHI, L. C. et al. **Biodigestores rurais: uma solução prática e inteligente**. Jaboticabal: FCAVJ, 1985. 12 p. Apostila.

BOUALLAGUI, H. et al. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. **Process Biochemistry**, London, v. 39, n. 12, p. 2143-2148, 2004.

BRYANT, M. P. Microbial methane production- theoretical aspects. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 48, n. 1, p. 193-201, Jan. 1979.

BUENO, C. F. H. Produção e manejo de esterco. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 135/136, p. 81-85, 1986.

CABRAL, L. S. et al. Consumo e digestibilidade dos nutrientes em bovinos alimentados com dietas à base de volumosos tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2406-2412, 2004.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CARVALHO, L. A. et al. Sistema de produção de leite (Zona da Mata Atlântica). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: sistema de produção, 2003. Disponível em: <www.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 01 dez. 2009.

CETESB. Biogás: definição. 2006. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biogás/17-Definição>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 380 p. DORAN, J. W.; LINN, D. M. Bacteriological quality of run off water from pastureland. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 37, p. 985-991, 1979.

EL-MASHAD, H. M. Effect of inoculum addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system. **Biosystems Engineering**, London, v. 95, n. 2, p. 245-254, 2006.

FERNANDES, L.; ZHAN, W. Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 257-263, 1993.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações**: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GENEROSO, F. B. **Quantificação e caracterização de dejetos produzidos em propriedade com exploração leiteira para uso em biodigestores e reciclagem de nutrientes**. 2001. 66 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

HARDOIM, P. C. **Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos**. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Produção

Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

HILLS, D. J. Methane gas production from dairy manure at high solids concentration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 1, p. 122-126, 1980.

HOPFTGARTNER, E. G. **Algumas observações quanto ao potencial de produção de biogás e a variação de qualidade de 6 tipos de substratos utilizados em biodigestores rurais**. 1983. 63 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1983.

LORA, E. E. S. Perspectivas da utilização da biomassa com fins energéticos. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA E APLICAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA E DE FONTES RENOVÁVEIS NA AGRICULTURA, 16., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: COMBEA/ UFPB, 1997. p. 97-133.

LUCAS JUNIOR, J. et al. Uso de estrume de ovinos como substratos de biodigestores contínuos e batelada In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1992, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. 1 CD-ROM.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência em Construções Rurais)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUCAS JUNIOR, J.; SANTOS, T. M. B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: SIMPÓSIO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000, Concórdia. **Anais...** Concórdia: CNPSA, 2000. p. 27-43.

MACHADO, C. R. **Avaliação da produção de biogás de dejetos de bovinos sob diferentes tempos de exposição ao ar**. 2008. 40 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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

MAGALHÃES, E. A. et al. Análise da viabilidade na utilização do biogás numa agroindústria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Connecticut: AVI Publishing, 1981. 419 p.

MIRANDA, A. P. **Influência da temperatura e do tempo de retenção hidráulica em biodigestores alimentados com dejetos de bovinos e suínos**. 2005. 113 f. Tese (Mestrado em

Zootecnia/Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 23 p.

OLIVEIRA, A. P. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SÃO PAULO, 27., Jornada Técnica, 24. **Anais do Sindicato Rural de Bastos**, Bastos, 2001. p. 16-28.

ORTOLANI, A. F. et al. Bateria de mini-biodigestores: Estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1986. p. 229-239.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada**. Jaboticabal: FUNEP, 1991, 35 p.

PERDOMO, C. C. Manejo e tratamento de dejetos de suínos: sistemas EMBRAPA- UFSC. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, v. 1, n. 145, p. 14-17, 2000.

PEREIRA, J.M. **Utilização dos dejetos de bovinos: avaliação nos processos de biodigestão anaeróbia e compostagem**. 2006. 53 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

POHLMAN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no Estado de São Paulo**. Campinas, SP: [s.n.], 2000.

PREZZOTO, M. E. M. Química ambiental e agrônômica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1992. p. 157-178.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. Lisboa: Centro para a Conservação de Energia, 2000.

SANTOS, T. M. B. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SILVA, A. A. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da atividade anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

SOUZA, R. G. **Desempenho do conjunto motogerador adaptado à biogas**. 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Máquinas e Automação Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras 2006.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-159, maio 2002.

VAN HORN, H. H. et al. Components of dairy manure management systems. **Journal of Dairy Science**, cidade, v. 77, n. 7, p. 2008-2030, 1994.

VEDRENNE, F. et al. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 1, p. 146-155, jan. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 15 fev. 2008.

VIEIRA, A. A. et al. Substituição do milho por dejetos de bovinos em rações para suínos suplementadas com dl-metionina, l-triptofano, óleo de soja e caldo de cana-de-açúcar. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 14-32, 1991.

XAVIER, C. A. N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite:** obtenção de parâmetros e dimensionamento. 2005. 90 f. Tese (Mestrado em Zootecnia/Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.