

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

**Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados**

**THAMIRIS DA ROCHA DANIEL**

**Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**

**Juiz de Fora**

**2015**

**THAMIRIS DA ROCHA DANIEL**

**Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

**Orientador:** Dr. Marcelo Henrique Otenio

**Co-orientador:** Dra. Juliana Alves Resende

Juiz de Fora

2015

**Thamiris da Rocha Daniel**

**Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**

Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, da Universidade Federal de Juiz de Fora.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcelo Henrique Otenio  
Embrapa Gado de Leite

---

Dr. Juliana Alves Rezende  
UFJF

---

Prof.ª. Dra. Mirian Aparecida de Oliveira Pinto  
UFJF

---

Prof. Dr. Maurílio Lopes Martins  
IFSudeste MG- campus Rio Pomba

---

Dr. Jailton Costa Carneiro  
Embrapa Gado de Leite

Juiz de Fora, MG  
2015

*Aos meus pais, Marly e Itamar, por nunca medirem esforços, por sempre estarem presentes e incentivando minha formação, palavras de carinho, amizade e compreensão nunca faltaram em nenhum momento. Dedico.*

## **Agradecimentos**

Ao final da caminhada tenho o imenso prazer de olhar para trás e ver que nunca caminhei sozinha.

Agradecimento primordial a Deus e aos meus santos protetores, trazendo sempre ajuda quando a esperança desaparecia quase por completo.

A esta Universidade, a Embrapa Gado de leite e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e derivados, que me acolheu tão gentilmente e auxiliaram durante o período de mestrado.

Agradeço ao meu orientador, Marcelo Henrique Otenio, por todos os momentos de dedicação, ensinamentos e risadas. E a minha co-orientadora, Juliana, por sempre se prontificar a responder minhas dúvidas.

A todos os integrantes do laboratório de Microbiologia do Rúmen, Marlice, Jailton e Júnior, pois nunca mediram esforços para me ajudar. Em especial as estagiárias, Carol, Juliana, Poliana, Natália, Laura e aos meninos da sala 18, sempre trabalhamos com merda mas, a diversão era garantida.

Aos meus professores de graduação Maurílio e Eliane, por sempre me incentivarem a seguir em frente, juntamente com o Joaquim, abrindo as portas para que hoje eu me tornasse uma mestre.

Aos colegas de sala do mestrado por me proporcionarem momentos incríveis de amizade.

Aos amigos de Juiz de Fora e de Rio Pomba que nunca se deixaram distanciar, mesmo em meus momentos de ausência, sempre mantendo os laços de companheirismo.

Aos colegas de trabalho e alunos do Cecon, por toda paciência e ensinamentos, nessa correria entre trabalhar e estudar.

Agradeço aos meus pais, Itamar e Marly, por todo apoio, amor e incentivo ao meu crescimento pessoal e profissional. Ao Raphael, por toda paciência e amor, quando o estresse era grande! Sempre me dizendo que ia dar certo e no final deu! O meu amor por vocês é imensurável.

Aos integrantes da família Rocha e Daniel, por nunca me desampararem, sempre comigo nos momentos de alegria e momentos de tristeza, me sinto honrada por imenso amor.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho. Muito Obrigada!

## RESUMO

A agropecuária ocupa um setor importante da economia no Brasil, a industrialização do leite cru foi de 5,328 bilhões de litros no primeiro semestre de 2013, esses dados refletem o constante crescimento da pecuária leiteira (IBGE, 2013), aumentando assim, a geração de resíduos poluidores ao meio ambiente. Este estudo pretende gerar conhecimento científico sobre afluentes e efluentes obtidos durante um processo de biodigestão anaeróbia, alimentados com dejetos de bovinos da pecuária leiteira, visando a redução da carga de poluição ambiental, além de uma avaliação sobre a produção de biogás e biofertilizantes, contribuindo para uma economia sustentável. Neste trabalho acompanhou-se um biodigestor em escala real modelo canadense contínuo para a caracterização do sistema. Os ensaios foram realizados em dois períodos do ano de 2014, verão e inverno. Para a caracterização dos afluentes e efluentes, foram coletadas amostras em 4 pontos do sistema de biodigestão, e realizadas análises físico químicas e microbiológicas, com o tempo de retenção hidráulico (TRH) de 62 dias para a fermentação realizada no verão e de 96 dias para o processo realizado no inverno. O biodigestor modelo canadense não sofre alteração em seu modo de funcionamento devido a sazonalidade. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os parâmetros físico químicos e microbiológicos. O biogás produzido foi de alta qualidade, pela concentração de metano. O potencial significativo de eliminação dos grupos microbianos pelo biodigestor mostrou a viabilidade na utilização do biofertilizante para plantios tradicionais. Além disso, constatou-se que a biodigestão anaeróbia se mostrou muito eficiente para a redução da carga orgânica presente nos afluentes da pecuária leiteira, tornando atrativo economicamente e ambientalmente o uso dos biodigestores e seus subprodutos, o biogás e o biofertilizante.

**Palavras chave: Biogás, Biofertilizante e dejetos bovinos.**

## **ABSTRACT**

The agriculture occupies an important sector of the economy in Brazil, the industrialization of raw milk was 5.328 billion liters in the first half of 2013, these data reflect the steady growth of dairy farming (IBGE, 2013), thereby increasing the generation of waste polluting the environment. This study aims to generate scientific knowledge of influent and effluent obtained during a process of anaerobic digestion, fed cattle manure dairy products. In order to reduce environmental pollution load, plus a review of the production of biogas and biofertilizers, contributing to a sustainable economy. This work was accompanied by a digester full-scale continuous Canadian model to characterize the system. Assays were performed twice during the year 2014, summer and winter. To characterize the influent and effluent samples were collected at 4 points of the digestion system, and performed physical, chemical and microbiological analyzes, with the hydraulic retention time (HRT) of 62 days for fermentation held in summer and 96 days to the process performed in the winter. The Canadian biodigester not changed in its operation due to seasonality. There was no significant difference to the chemical and microbiological physical parameters. The biogas produced was of high quality, with a high concentration of methane. The significant potential for eliminating microbial groups by the digester showed the feasibility in the use of bio-fertilizers to traditional crops. As can be seen that the anaerobic digestion proved to be very efficient for the reduction of this organic load in the tributaries of dairy farming, making economically attractive and environmentally the use of digesters and its by-products, biogas and bio-fertilizer.

**Keywords: Biogas, biofertilizer and bovine manure**

## Lista de Ilustrações

Figura 1	Esquema de Biodigestor de fluxo contínuo, modelo canadense.....	18
Figura 2	Lavagem dos dejetos bovinos nos currais com água de reuso.....	26
Figura 3	Representação esquemática do funcionamento do biodigestor modelo canadense.....	28
Figura 4	Biodigestor em escala real, modelo canadense, e lagoa de estabilização utilizados como pontos de coleta, situados no campo experimental da Embrapa Gado de Leite.....	29
Figura 5	Peneira Separadora para a extração de partículas sólidas antes da entrada do afluente no biodigestor.....	30
Figura 6	Variação da temperatura (°C) no verão comparada com a variação da concentração (%) de gás metano, na mesma estação, no biodigestor, em cada coleta de amostras.....	42
Figura 7	Variação da temperatura (°C) no inverno comparada com a variação da concentração (%) de gás metano, na mesma estação, no biodigestor, em cada coleta de amostras.....	44
Figura 8	Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL nas diferentes estações verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 1, água de lavagem.....	46
Figura 9	Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL nas diferentes estações verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 2,	



	entrada do biodigestor.....	47
Figura 10	Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL nas diferentes estações verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 3, saída do biodigestor.....	49
Figura 11	Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL nas diferentes estações verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 4, lagoa de estabilização.....	50
Figura 12	Distribuição no bloxplot dos grupos microbianos pesquisados no ponto 2, entrada do biodigestor e no ponto 4, lagoa de estabilização.....	52

## Lista de tabelas

Tabela 01	Perfil dos componentes químicos em mg/L encontrados nas amostras de afluente (ponto 1 e 2) e efluente (ponto 3 e 4) durante o processo de biodigestão em função dos padrões sazonais.....	35
Tabela 02	Perfil dos parâmetros físicos e químicos em mg/L encontrados nas amostras de afluente (ponto 1 e 2) e efluente (ponto 3 e 4) durante o processo de biodigestão em função dos padrões sazonais (verão e inverno).....	37
Tabela 03	Avaliação e comparação do processo de funcionamento do biodigestor em relação aos componentes químicos analisados, antes e após o processo de fermentação anaeróbia, em mg/L.....	40
Tabela 04	Avaliação e comparação do processo de funcionamento do biodigestor em relação aos parâmetros físicos químicos analisados, antes e após o processo de fermentação anaeróbia, em mg/L.....	41
Tabela 05	Teste t para os grupos microbianos avaliados na entrada do biodigestor e na lagoa de estabilização, em log de UFC/mL.....	51

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 CARATERÍSTICAS DO AFLUENTE DA BOVINOCULTURA E RISCO DE POLUIÇÃO/MANEJO INADEQUADO.....	15
2.2 BIODIGESTOR: MODELOS, OPERAÇÃO, CARACTERÍSTICAS...	16
2.3 BIOGÁS: BIOENERGIA, RESÍDUOS DA PRODUÇÃO, ALTERNATIVAS.....	19
2.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS RESÍDUOS DA PECUÁRIA LEITEIRA COMO GERADORES DE ENRGIA.....	20
2.4.1 ALTRNETIVAS DE FONTE DE ENERGIA .....	22
2.5 BIOFERTILIZAÇÃO: ÁGUA DE REUSO, MAXIMIZAÇÃO DO PODER NUTRIENTE.....	23
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>25</b>
3.1 OBJETVO GERAL.....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
4.1 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM ESCALA REAL .....	26
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR.....	28
4.3 DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES FÍSICOS QUÍMICAS .....	29
4.4 TEORES DE SOLIDOS TOTAIS (ST) E TEORES DE SOLIDOS VOLATEIS (SV).....	30
4.5 DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE.....	31
4.6 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ.....	32
4.7 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES QUÍMICOS.....	32
4.8 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO BIOGÁS.....	32
4.9 DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	33
<b>5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
6.1 AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO SAZONAL DOS	

AFLUENTES E EFLUENTES.....	35
6.2 AVALIAÇÃO DO PROCSSO DE BIODIGESÃO INDEPENDENTE DA VARIÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES.....	39
6.3 CONCENTRAÇÃO DE METANO NO BIOGÁS.....	42
6.4 AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO EM RELAÇÃO A VARIÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES.....	45
6.5 AVALIAÇÃO DAS CARGAS MICROBIANAS DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO INEPENDENTE DA VARIÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES.....	51
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO:

A agropecuária representa um setor importante da economia no Brasil. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no 2º trimestre de 2013, o abate de bovinos atingiu novo recorde histórico com a marca de 8,557 milhões de cabeças abatidas.

A industrialização do leite cru foi de 5,328 bilhões de litros e a aquisição de leite foi de 5,344 bilhões, um aumento de 2,0% sobre o mesmo período de 2012, esses dados refletem que o mercado da pecuária leiteira está em constante crescimento (IBGE, 2013). Assim, com o aumento da produção leiteira e pouca disponibilidade de áreas de pastagens, o produtor começou a ver o confinamento dos animais como grande oportunidade de se tornar competitivo no mercado.

O sistema de criação intensivo de bovinos tem contribuído para o surgimento de problemas ambientais devido à elevada deposição de resíduos e falta de pavimentação dos confinamentos, o que dificulta a coleta e acentua os problemas de escoamento superficial, aumento das emissões de gases de efeito estufa, eutrofização de fontes de água e poluição do solo, principalmente pelo acúmulo de nitrogênio e fósforo. O confinamento do gado leiteiro concentra a quantidade de dejetos no curral, sendo a água de lavagem do *free stall* composta por fezes, urina, restos de rações, pelos e camas. Caso este, seja lançado em um corpo de água pela quantidade de matéria orgânica, haverá o consumo parcial desta pelos microrganismos presentes no meio, causando diminuição do oxigênio dissolvido na água. Isto ocorre porque as bactérias presentes nos dejetos e do corpo hídrico consomem grande quantidade de oxigênio para degradação da matéria orgânica. Métodos de manejo adequado do gado leiteiro poderão reverter a situação em uma melhor produção do rebanho, maximizando a produção leiteira.

Diversas pesquisas têm evidenciado a concentração de nutrientes nos dejetos líquidos e sólidos do gado de leite. Segundo a Embrapa (2003), o esgotamento de recursos naturais e a degradação do meio ambiente está fazendo com que haja uma preocupação forte e constante no desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias de reciclagem de nutrientes, na disposição

ambiental correta dos dejetos animais e na reutilização dos resíduos rurais. Um manejo eficiente dos resíduos é uma necessidade sanitária, ecológica e econômica. Em um sistema de produção de leite adequadamente planejado, a quantidade dos resíduos pode ser estimada e usada como recursos de suprimentos, tanto de energia como de fertilizante.

Uma das alternativas possíveis de tratamento de efluentes dos dejetos da pecuária leiteira é a biodigestão anaeróbia, que, além da capacidade de reduzir a concentração de matéria orgânica, permite valorizar um produto energético, o biogás, e obter um biofertilizante cuja disponibilidade contribui para a rápida amortização dos custos de tecnologia instalada. O processo de fermentação anaeróbia é comumente encontrado na natureza, mas pode ser realizado em grandes volumes de dejetos e controlado por meio de um equipamento conhecido como biodigestor ou reator anaeróbio. No Brasil o sucesso dos biodigestores vem sendo observado devido ao clima tropical, pois o processo fermentativo depende de condições ambientais específicas (nutrientes, pH, temperatura, tempo de retenção hidráulica , e outros) para que as diferentes populações de bactérias possam crescer e se multiplicar, reduzindo assim a carga poluidora.

As informações geradas neste trabalho são úteis para verificar a importância do sistema de biodigestores no tratamento de dejetos bovinos na redução da carga de poluição ambiental, além de uma avaliação sobre a produção de biogás e biofertilizantes por este sistema, contribuindo para uma economia sustentável.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:**

### **2.1 CARACTERÍSTICAS DO AFLUENTE DA BOVINOCULTURA E RISCO DE POLUIÇÃO/ MANEJO INADEQUADO**

A modernização e o crescimento das atividades agropecuárias buscando atender a demanda de alimentos podem tornar acentuados os impactos ambientais (ROVER, 2009). Visando o aumento da produtividade, as práticas relacionadas à pecuária leiteira vêm passando por grandes transformações e resultando em acúmulo de resíduos no seu processo de produção – principalmente os dejetos (fezes, urina), restos de “cama”, restos de alimentos e água residuária, que são passíveis de reciclagem e utilização como substrato para os processos de biodigestão.

Outros fatores que podem influenciar a quantidade de dejetos são o sistema de produção, o clima e o período do ano, o peso corporal dos animais, o estado fisiológico (VAN HORN, 1994) e o nível de produção das vacas (WILKERSON, 1997). Os dejetos são ricos em matéria-orgânica, possuindo alta Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e agentes patogênicos, podendo ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, quando manejados de forma errada, devido ao arraste desse material pela ação das chuvas e a falta de um sistema de canalização adequado, pois geralmente os pisos dos currais são raspados (DORAN e LINN, 1979; AL-MASRI, 2001; RAMASAMY, 2004).

Devido a riqueza em matéria orgânica os resíduos dos bovinos contém uma quantidade significativa de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, zinco, cobre e outros elementos constituintes das dietas dos animais. Oliveira (2006) complementa que altos níveis de nitrogênio e fósforo lançados em águas de superfície podem causar a eutrofização das águas, queda na concentração de oxigênio, levando a rápida multiplicação das algas, ocasionando à mortalidade dos peixes e acúmulo de matéria orgânica nos mananciais, isto principalmente em reservatórios, lagos e/ou represas.

Um número crescente de estudos tem demonstrado o isolamento de bactérias patogênicas obrigatórias ou putativas em dejetos de origem de gado leiteiro. A prevalência dos patógenos nos resíduos orgânicos são afetados por

diversos fatores como raça dos animais, dieta, estresse, idade ou hábitos de pastejo (NICHOLSON, GROVES e CHAMBERS, 2005).

A adoção de práticas que reduzem ao mínimo a transferência de contaminantes são de importância fundamental em sistema de produção, pois estes dejetos podem conter diversas bactérias potencialmente patogênicas. Além disso, a persistência destas bactérias no ambiente de criação dos animais pode persistir por longos períodos de tempo dentro da fazenda, seja nos equipamentos de alimentação, distribuição de água ou nos dejetos aplicados ao solo dentro da propriedade para produzir alimentos. O risco de contaminação e a segurança microbiológica irão depender, da capacidade de sobrevivência dos microrganismos no ambiente e das características do manejo dos animais (AMARAL, 2004; SINTON, 2007). Sendo assim, os afluentes e efluentes provenientes da pecuária leiteira podem oferecer grande risco a natureza e aos humanos se a sua carga orgânica potencialmente patogênica não for eliminada adequadamente.

## **2.2 BIODIGESTOR: MODELOS, OPERAÇÃO, CARACTERÍSTICAS**

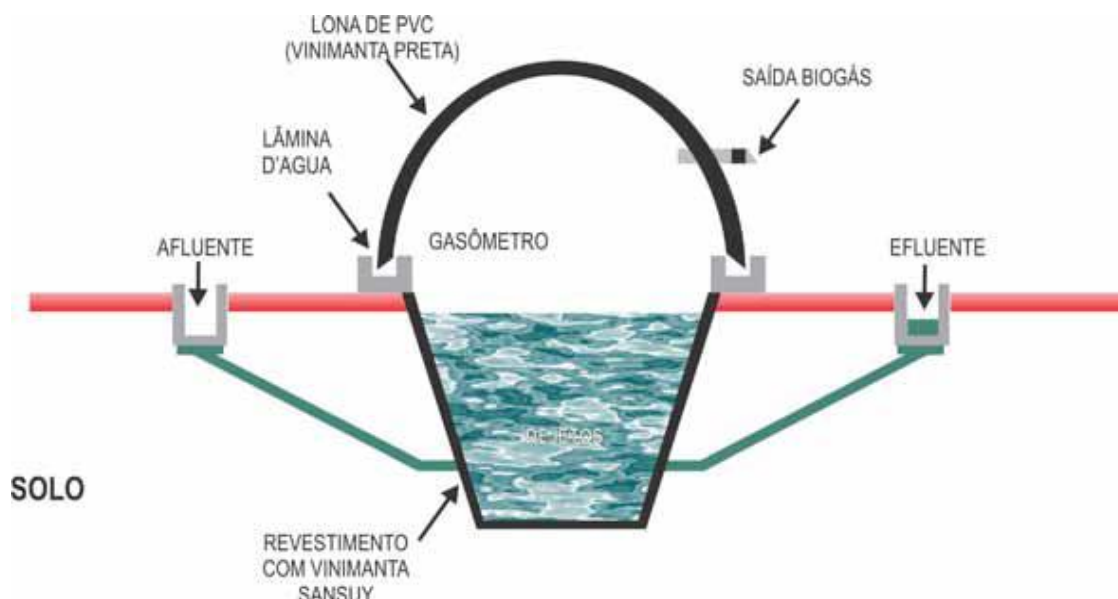
O biodigestor é uma estrutura física que possibilita a biodigestão anaeróbia, proporcionando um ambiente favorável para o crescimento microbiano. Com o aumento da produção de dejetos bovinos, em fazendas com grande número de animais confinados, o biodigestor torna-se uma oportunidade vantajosa. Vários modelos de biodigestores tem sido desenvolvidos e adaptados, buscando a estabilização dos resíduos, aumento da eficiência no equipamento e processo, além de viabilidade econômica para implantação nas propriedades rurais. Entretanto, a tecnologia dos biodigestores ainda apresenta algumas limitações, como o bom entendimento por parte dos usuários, o que acarreta dificuldades na operação e perda na eficiência do biodigestor (OLIVEIRA, 2006; WU, 2010).

Os modelos mais conhecidos são: Indiano, chinês, UASB e do tipo tubular, popularmente conhecido como modelo canadense. O biodigestor modelo canadense é um modelo tipo horizontal, com sentido de fluxo tubular, apresentando uma geometria retangular, construído em alvenaria e com a



largura maior que a profundidade, assim tendo uma grande área de exposição ao sol, que em climas quentes contribui para a elevação da temperatura (CASTANHO e ARRUDA, 2008). Este modelo é indicado para grandes volumes de dejetos, pois apresenta um valor financeiro mais acessível para implantação, quando comparado com os outros tipos, como o indiano e o chinês (CUNHA, 2007).

Em geral todos os biodigestores são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para acumular e permitir a digestão da biomassa, fezes dos animais, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás, podendo ainda ser acoplado de uma lagoa de estabilização onde, após a fermentação da biomassa, os efluentes são depositados para estabilização dos componentes químicos (Figura 1). Dentro do biodigestor em total ausência de oxigênio e luz, as bactérias anaeróbias digerem a biomassa, sendo essa a digestão, biodigestão ou fermentação, onde ocorre a degradação bioquímica da matéria orgânica presente no biodigestor (MARROCOS, 2011), sendo constituída de 3 etapas. Na etapa 1 (ou etapa sólida), substâncias complexas, como os macronutrientes, carboidratos, lipídios e proteínas são hidrolisadas por bactérias fermentativas comuns para a produção de ácidos graxos, glicose e aminoácidos. Na etapa 2 (ou etapa líquida), as substâncias formadas anteriormente são consumidas pelas bactérias propiônicas, bactérias acetogênicas e bactérias acidogênicas, formando ácidos orgânicos, principalmente, o propiônico e o acético, ainda formando o dióxido de carbono, acetatos, sólidos totais e voláteis. E na etapa 3 (ou etapa gasosa), as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos, sólidos totais e voláteis para produzir biogás, sendo esse formado principalmente pela mistura dos gases metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (FARRET, 1999; DOTTO, 2012).



**Figura 1:** Esquema de Biodigestor de fluxo contínuo, modelo canadense

**Fonte:** JÚNIOR (2009)

Os biodigestores são reabastecidos diariamente com os afluentes líquidos, criando sempre um ambiente de entrada de microrganismos e matéria orgânica nova para permitir o processo de fermentação pelas bactérias, propiciando a liberação de gases e a produção do biofertilizante. O biogás, fica armazenado no gasômetro, acima dos dejetos bovinos fermentados, fazendo com que a lona que recobre o biodigestor possa expandir em função de acumulação do gás. O gás é canalizado e apresenta diversos usos: processos de aquecimento ou resfriamento e geração de energia elétrica da qual utilize esse combustível (JÚNIOR, 2009; SANTOS, 2013).

Para um processo eficiente, a biodigestão anaeróbia depende do equilíbrio entre as comunidades microbianas presentes na biomassa e das características dos componentes químicos, potencializando o processo de fermentação e a produção do gás metano. Fatores relativos ao substrato (nutrientes, pH, capacidade de tamponamento e composto inibitórios) e as condições de funcionamento do biodigestor (temperatura e tempo de retenção) influenciam diretamente o desempenho dos microrganismos (KUMAR, 2013).

O fato do Brasil ser um país com clima tropical torna favorável os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia da matéria orgânica. Tanto a biodiversidade que nutre os detritos continuamente quanto às condições

climáticas, com temperaturas médias altas variando entre 25 e 28°C, que possibilitam a garantia dos processos biológicos adequados dentro do biodigestor (JÚNIOR, 2009). O processo de biodigestão transforma todas as características dos afluentes, para liberar um efluente com redução do potencial poluidor entre 70% e 80% da carga orgânica – isso em DBO (demanda biológica de oxigênio), ou até mesmo em Demanda Química de Oxigênio (DQO); redução do potencial de contaminação infectocontagioso em mais de 90%, se acoplado á lagoas de estabilização; produção de efluente final estabilizado, apresentando baixa relação carbono/nitrogênio (10:1), indicando material praticamente inerte e pH entre 6,5 e 7,5 com ausência de cheiro e sem atração de moscas (JÚNIOR, 2009).

### **2.3 BIOGÁS: BIOENERGIA, RESÍDUOS DA PRODUÇÃO, ALTERNATIVAS**

O biogás é um gás natural produzido pelo processo de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, tais como dejetos animais, resíduos vegetais e lixo industrial ou residencial, caracterizado por uma mistura de gases, especialmente metano e dióxido de carbono, os quais têm sua concentração influenciada pelas características do resíduo e as condições ambientais em que ocorre o processo de degradação (COLDEBELLA, 2006).

No Brasil, na década de 1970, a crise do petróleo afetou o país e foi implantada a tecnologia dos biodigestores, devido ao conhecimento de seus benefícios com a utilização do biogás como fonte de energia renovável (Castanho e Arruda, 2008), facilitando o uso da tecnologia no tratamento de resíduos orgânicos, produção de biogás e biofertilizantes, colaborando para a redução dos impactos ambientais (GASPAR, 2003; SALOMON, 2007).

Sendo assim, no cenário atual ganha destaque a produção de energias renováveis. A biodigestão anaeróbia de resíduos animais com alta carga orgânica é reconhecida como um processo economicamente maduro e rentável, uma valiosa fonte de energia primária renovável por meio da produção de biogás (CONVERTI, 2009).

Neste processo, a sustentabilidade da produção é importante mas deve ser deixado em segundo plano (NZILA, 2012), pois de acordo Golusin (2012), o sistema de produção de energia renovável através da geração de biogás pela fermentação anaeróbia em biodigestores somente se tornará sustentável a longo prazo, quando se tornar economicamente viável.

A concentração de metano presente no biogás é que determina o seu potencial energético, ou seja, o poder calorífico do gás, a quantidade de metano presente no biogás varia dependendo da fonte geradora, podendo ser dejetos bovinos, suínos, aves, restos alimentares, águas residuais entre outros (SALOMON, 2007). A produção deste gás resultará de vários produtos químicos e processos físicos que ocorreram dentro do reator (MUHA, 2012), pois depende do teor de carbono disponível na carga orgânica biodegradável. Sendo assim, o biogás se torna uma fonte de energia potencialmente importante, de acordo com a quantidade e qualidade de metano( $\text{CH}_4$ ) presente na mistura de gases.

## **2.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS RESÍDUOS DA PECUÁRIA LEITEIRA COMO GERADORES DE ENERGIA**

O Estado de Minas Gerais ganha destaque por possuir o maior rebanho leiteiro do país, sendo o primeiro no *ranking* nacional, produzindo 27,6% do volume de leite (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2013).

Com o maior rebanho da bovinocultura situado em Minas Gerais, a emissão de diversos gases de efeito estufa, entre os quais se destacam o óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), emitidos durante o processo de digestão entérica e através do manejo do esterco tem aumentado. Como consequência do grande manejo de animais, a modernização da agricultura requer maior consumo de energia elétrica, sendo esta utilizada na ordenha, no resfriamento do leite, na esterilização de equipamentos e na irrigação de pastagens. Além disso, a produção de energia elétrica através de biodigestores pode ser uma alternativa viável para a redução dos custos de produção, conforme pesquisas de MARTINS e OLIVEIRA (2011), BONTURI e VAN DIJK (2012).

A produção energética de um biodigestor, varia em função do tamanho da propriedade, sendo o seu dimensionamento variável em função da quantidade de animais e do sistema de criação de gado de cada propriedade (PEREIRA, 2005).

A produção de biogás tem um fator determinante que é o tipo de dejetos que será usado para a produção. Qualquer material orgânico pode ser utilizado na biodigestão, porém os que apresentam maior rendimento são os de aves e suíno (PEREIRA, 2005; SANTOS, 2013).

Levando-se em conta que 1 kg de dejetos bovinos pode produzir em um biodigestor 0,041 m<sup>3</sup> de biogás e que estes bovinos produzem em média 42 Kg de dejetos/dia, pode-se afirmar que os 4,8 milhões de vacas leiteiras do Estado de Minas Gerais correspondem a um potencial energético teórico de 49,5 MWh. O rebanho médio de vacas por propriedade em Minas Gerais é de 25 vacas. Considerando-se que cada unidade animal produz 0,98 m<sup>3</sup> de biogás/dia (COLDEBELLA, 2006), isto representa 24,5 m<sup>3</sup>/dia/fazenda. Neste estudo a eficiência foi de 32,3% de eficiência, o que representa 2,1 kWh/m<sup>3</sup> de biogás. Dessa forma, uma fazenda gera 51,45 kWh/dia. Considerando a tarifa de R\$ 0,27/kWh tem-se R\$ 13,9/fazenda/dia ou R\$ 416,70/mês o que representa uma economia de R\$ 5.000,00/ano/fazenda. O tempo de retorno do investimento pode variar de 2,6 até 5,4 anos. Além da economia de energia, deve-se considerar na análise o valor gerado pela produção de biofertilizantes, utilizado como adubo orgânico nas plantações de diversos alimentos.

Segundo ICLEI (2009), a organização internacional dos governos pela sustentabilidade, considerando o uso do biogás, é possível obter uma significativa redução de custos para suprir as demandas. Uma lâmpada de 100W usada para a iluminação das instalações, apresenta um consumo de 0,13m<sup>3</sup>/h, a eletricidade em kWh demonstra um gasto de 0,62 m<sup>3</sup>/h de biogás (OLIVEIRA, 2006).

O biogás não é apenas um subproduto gerado pelo sistema de tratamentos dos resíduos produzidos pela pecuária. Quando aproveitado de forma adequada torna o produtor rural autossuficiente em energia elétrica e paga o capital investido na implantação do biodigestor e do conjunto motor/gerador. O tempo de retorno pode ser ainda menor se o biofertilizante

produzido no biodigestor for aproveitado para fertirrigação viabilizando seu uso como forma de saneamento rural.

#### **2.4.1 ALTERNATIVAS DE FONTE DE ENERGIA**

Os recursos energéticos não renováveis (RENr) representam a maior fonte de energia consumida no mundo (REN21, 2012). Combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás natural, são recursos esgotáveis e altamente poluentes, liberando gás carbônico quando queimados, causando chuva ácida, contaminação dos solos e das águas. Incluem-se também nos RENr, a energia nuclear e a lenha (IEA, 2008).

Enquanto as fontes de energia não renováveis representam o consumo majoritário de energia no mundo, fontes renováveis de energia (FRE) vieram à tona nas discussões políticas nas últimas décadas. Segundo a Administração da Informação de Energia dos Estados Unidos (USEA, 2010), o uso de energia renovável para a geração e consumo de energia elétrica no mundo vem crescendo em média de 2,6 a 3,0% ao ano.

As FRE são classificadas em três grupos (IEA, 2008): tecnologias de primeira geração, que tem maturidade já atingida, tais como energia hidrelétrica, combustão de biomassa e energia geotérmica; tecnologias de segunda geração, que são submetidos a um rápido desenvolvimento, tais como a energia solar, energia eólica, e formas modernas de bioenergia; tecnologias de terceira geração, que encontram-se em fase de desenvolvimento, como a concentração de energia solar, energia dos oceanos, melhorias no sistemas de energia geotermal e sistemas integrados de bioenergia.

A biodigestão de dejetos bovinos da pecuária leiteira é caracterizada como uma tecnologia de segunda geração, apresentando a degradação da biomassa como uma forma moderna para captação de bioenergia, o biogás, o que gera somente no setor de biogás, cerca de 230 mil empregos em todo o mundo (IRENA; ILO, 2012).

## **2.5 BIOFERTILIZAÇÃO: ÁGUA DE REUSO, MAXIMIZAÇÃO DO PODER NUTRIENTE**

A tecnologia de biodigestão anaeróbia de dejetos animais apresenta como um dos produtos o biofertilizante, que promove o aumento da produtividade agrícola, com redução da necessidade de fertilizantes comerciais (TRANI, 2012).

O biofertilizante é a designação dada ao efluente líquido obtido da fermentação metanogênica da matéria orgânica e água, em alguns casos água de reuso, onde a água utilizada para a lavagem dos currais vai para o biodigestor e após fazer o processo de fermentação anaeróbia, é utilizada novamente para a mesma lavagem, maximizando o poder de concentração dos nutrientes no efluente (SANTOS, 2001).

A principal razão para a capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato da digestão da biomassa diminuir drasticamente o teor de carbono, perdendo exclusivamente carbono transformado em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Além disso, há um aumento do teor de nitrogênio e dos demais nutrientes solubilizados, melhorando o índice de fixação dos compostos benéficos para a vegetação por alguns microrganismos do solo (UBALUA, 2007).

A utilização de esterco bovino torna-se uma prática útil e econômica para os pequenos e médios produtores de hortaliças (OLIVEIRA, 2007), no entanto, maiores ou menores doses a serem utilizadas dependerão do tipo, textura, estrutura e teor de matéria orgânica no solo. Diversos anos sendo utilizado no mesmo solo proporciona o acúmulo de nitrogênio orgânico, maximizando a mineralização da terra, transferência de nutrientes e sua disponibilidade para as plantas (OLIVEIRA, 2010).

Estudos recentes apontam a presença e persistência de microrganismos clinicamente relevantes em efluentes de biodigestores, mesmo não sendo encontrados em grande quantidade, o que pode representar risco para a saúde pública, quando descartados no meio ambiente sem eliminação adequada dos microrganismos potencialmente patogênicos (KIM, 2013).

Diante do exposto, o uso dos biodigestores na pecuária leiteira se torna uma prática atrativa e viável de funcionamento nas fazendas leiteiras,

promovendo o aproveitamento do efluente como fertilizante nos cultivos de pastagens, por exemplo.



### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o afluente e efluente durante um processo de biodigestão anaeróbia, em biodigestor modelo canadense em escala real operados com dejetos de bovinos da pecuária leiteira.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar os parâmetros físicos e químicos dos afluentes e efluentes obtidos durante o processo de digestão anaeróbia, durante o período de verão e inverno;
- Avaliar a qualidade (teor de metano) do biogás gerado, bem como a redução dos teores de sólidos totais (ST) e voláteis (SV);
- Analisar a qualidade microbiológica do biofertilizante gerado pela quantificação dos grupos de bactérias de importância durante o processo de digestão anaeróbia;

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM ESCALA REAL

Para este trabalho foi utilizado um biodigestor em escala real modelo canadense operado em sistema contínuo para a caracterização do processo. Este biorreator tem capacidade útil de volume de 1.235,7 m<sup>3</sup> de dejetos bovino para fermentação, o biodigestor está instalado na fazenda da Embrapa Gado de Leite, Coronel Pacheco – MG, mantidos em condições naturais de temperatura e ambiente. Os ensaios foram realizados em dois períodos do ano de 2014, verão e inverno, as amostras foram coletadas a cada 15 dias para realização das análises.

Os dejetos utilizados para abastecimento do biodigestor (afluente) eram provenientes da lavagem dos pisos do *free stall* do campo experimental Henrique Brus na fazenda da Embrapa, com uma média de 148 animais no verão e 121 animais no inverno. Para a lavagem dos pisos inicialmente utilizamos água limpa, essa água foi introduzida no biodigestor, participou do processo fermentativo e foi direcionada para a lagoa de estabilização, a água da lagoa era bombeada para os currais para fazer o processo de lavagem novamente, conforme Figura 2. Sendo caracterizada como água de reuso, pois participava da lavagem dos dejetos bovinos, do processo de fermentação no biodigestor e da estabilização na lagoa e era reaproveitada para reiniciar o processo sempre que necessário.

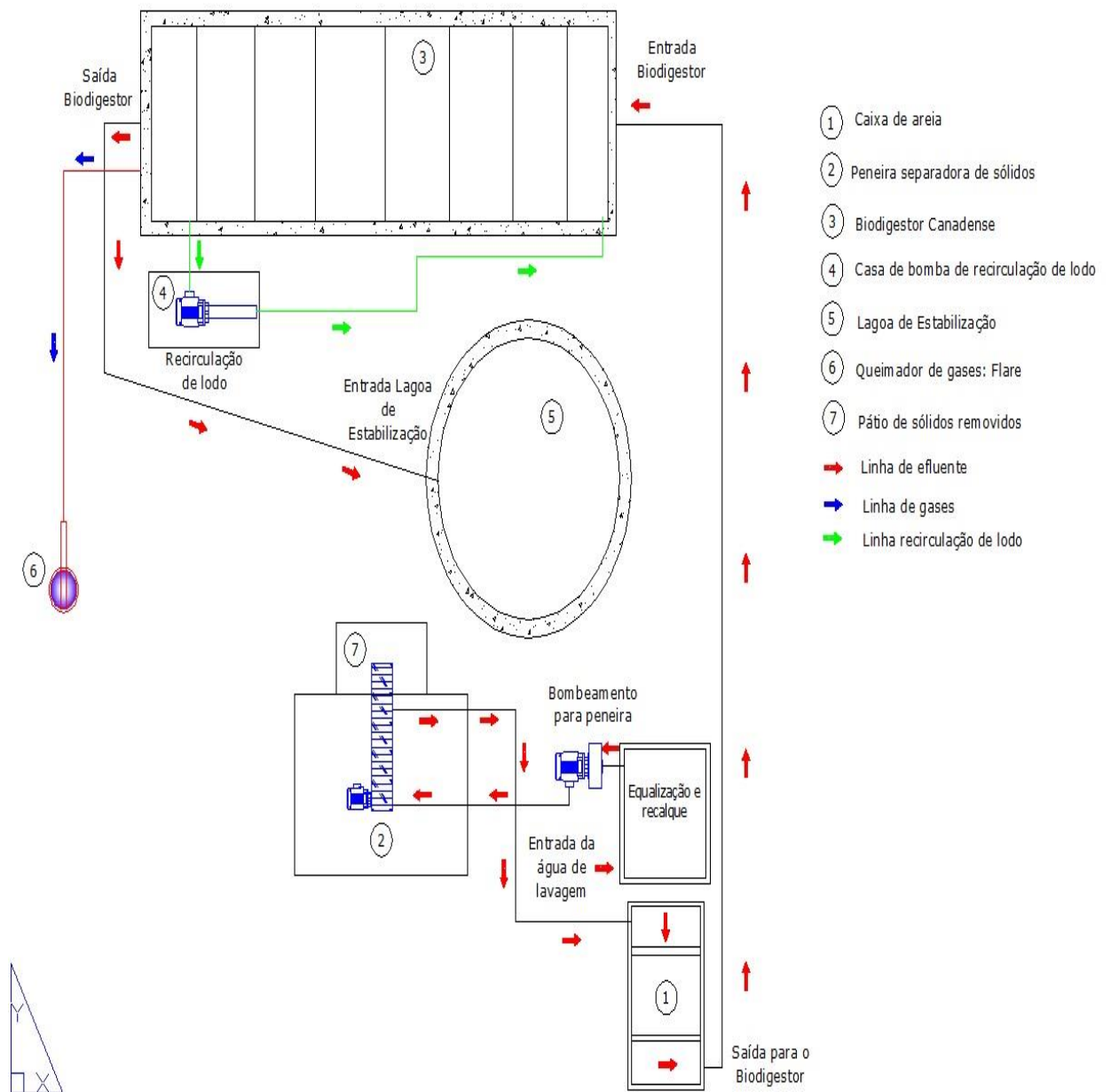


**Figura 2:** Lavagem dos dejetos bovinos nos currais com água de reuso.

As amostras foram transportadas refrigeradas até a sede da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora- MG, onde foram homogeneizadas manualmente e realizadas as análises físico químicas e microbiológicas.

Para a realização das análises de qualidade do biogás produzido, o gás foi coletado com o auxílio de seringa e agulha, quinzenalmente no encanamento acoplado ao biodigestor próximo a saída do efluente, posteriormente injetados em frasco de vidro hermeticamente fechado e com vácuo.

A Figura 3 representa o esquema de funcionamento do biodigestor em escala real, onde a água de lavagem dos currais é bombeada para a peneira separadora de sólidos, depois passa pela caixa de areia com o objetivo de filtração e entra no biodigestor para realizar a biodigestão anaeróbia. O efluente é eliminado pela saída do biodigestor e é encaminhado para a lagoa de estabilização, enquanto os gases produzidos são canalizados até o queimador de gás.



**Figura 3:** Representação esquemática do funcionamento do biodigestor modelo canadense.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR

De acordo com cálculos realizados com o auxílio de dados referentes a variação de números de animais confinados, volume e área física do biodigestor (figura 3), o tempo de retenção hidráulico (TRH) foi de 62 dias para a fermentação realizada no verão e de 96 dias para o processo realizado no inverno. O TRH é o tempo necessário para a mistura ser digerida no digestor, o

que ocorre quando a produção de gás é máxima, definindo o ponto de melhor qualidade do biogás no processo de biodigestão anaeróbia (SOUZA, 2008). O TRH depende das características dos afluentes e das condições ambientais, além disso, deve ser suficientemente longo para permitir o metabolismo dos microrganismos anaeróbios nos biodigestores (BITTON, 2005). O TRH varia de acordo com o tipo de biodigestor utilizado e a região; em países tropicais, por exemplo, a TRH varia de 30 a 50 dias, enquanto em países mais frios pode chegar a 100 dias (KUMAR, 2013).



**Figura 4:** Biodigestor em escala real, modelo canadense, e lagoa de estabilização utilizados como pontos de coleta, situados no campo experimental da Embrapa Gado de Leite.

#### **4.3 DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES FÍSICOS QUÍMICAS**

Para a caracterização dos afluentes e efluentes, foram coletadas amostras em 4 pontos do sistema de biodigestão, onde denominamos como ponto 1- água de lavagem dos pisos (afluente), ponto 2- entrada do biodigestor, afluente após a passagem pelas peneiras separadoras (Figura 5), ponto 3- saída do biodigestor (efluente) e ponto 4- efluente na lagoa de estabilização.



**Figura 5:** Peneira separadora para a extração de partículas sólidas antes da entrada do afluente no biodigestor.

As análises dos afluentes e efluentes oriundos de biodigestores anaeróbicos alimentados com dejetos provenientes da pecuária leiteira foram realizadas no laboratório de microbiologia do rúmen na sede da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora- MG. Durante o experimento foram avaliadas as concentrações de biogás, teores de sólidos voláteis, sólidos totais, pH, alcalinidade e acidez volátil. A avaliação dos nutrientes Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Nitrogênio total e Nitrogênio amoniacal, foi realizada no laboratório de análise de alimentos da Embrapa Gado leite.

#### **4.4 TEORES DE SÓLIDOS TOTAIS (ST) E TEORES DE SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV)**

Para determinação dos teores de sólidos totais, as amostras dos afluentes e efluentes foram acondicionadas em duplicata em recipientes de vidro, previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (PU) do material. Após a pesagem, as amostras foram incubadas em estufa (105°C) até atingirem peso constante. Em seguida, as amostras foram resfriadas em dessecador e novamente pesadas para obtenção do peso seco (PS). O teor de sólidos totais foi determinado para todas as amostras segundo metodologia descrita por APHA (2005).

No qual:

ST = teor de ST (%)

$$ST = 100 - U$$

U = teor de umidade (%)

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

PU = peso úmido da amostra (g)

PS = peso seco da amostra (g)

Para a determinação dos teores de sólidos voláteis, as mesmas amostras foram preparadas segundo metodologia descrita por APHA (2005). As amostras resultantes da determinação dos sólidos totais, foram incubadas em mufla a 575°C, em cadinhos previamente tarados, e mantidos por um período de 2 horas e 30 minutos. Após o término da queima, os cadinhos foram retirados da mufla e levados ao resfriamento em dessecadores. Em seguida, o material resultante das amostras foi pesado em balança analítica, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral.

No qual:

SV = teor de SV (%)

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

PU = peso úmido da amostra (g)  
PU] x 100

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

P<sub>m</sub> = peso obtido após queima (mufla) (g)

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE

O parâmetro alcalinidade foi obtido por meio de titulação da amostra com solução de ácido sulfúrico 1N até pH 4,30. Esta análise foi realizada quinzenalmente a partir dos afluentes e efluentes segundo metodologias descritas por APHA (2005). O objetivo da aferição da alcalinidade é de distinguir a contribuição relativa do efeito tampão produzido por bicarbonatos e indica a alcalinidade devido a presença de ácidos voláteis.

No qual:

N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Normalidade da solução

$V_{H_2SO_4}$  = Volume gasto da solução

V = Volume da amostra

$$N_{H_2SO_4} \times V_{H_2SO_4} \times 50000 / V = \text{mg CaCO}_3/\text{L}$$

#### **4.6 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ VOLÁTIL**

A determinação de ácidos voláteis foi realizada quinzenalmente por titulometria. E foi baseada no volume de hidróxido de sódio 1N consumido para elevar o pH da amostra até 8,3.

No qual:

N NaOH= Normalidade da solução

V NaOH= Volume gasto da solução

V= Volume da amostra

$$N_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 50000 / V = \text{mg CaCO}_3/\text{L}$$

#### **4.7 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES QUÍMICOS**

A determinação dos componentes químicos Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio foi realizada por espectroscopia de emissão ótica, segundo Silva (2006).

Os parâmetros de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal foram analisados segundo o método de Kjeldahl (Silva, 2006).

#### **4.8 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO BIOGÁS**

No biogás coletado com auxílio de seringas, cerca de 120 ml, em frascos de vidros devidamente fechado e com vácuo, foi determinada a concentração de gás metano e dióxido de carbono por cromatografia gasosa (Agilent Technologies, 7820A) no Laboratório de Cromatografia da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora -MG.



A temperatura do forno foi mantida a 50 °C por 4,5 minutos, tempo necessário para a eluição dos constituintes desejados. Pós análise, inicia-se uma rampa de aquecimento a 60 °C/min. até 250°C. Após a corrida a temperatura foi mantida a 250°C por 2 minutos.

A calibração do cromatografo foi realizada com padrões de referência, certificados pela Linde nas concentrações CH<sub>4</sub>: 5,05; 10,2; 14,7; 20,1 e CO<sub>2</sub>: 20,2; 39,7; 58,3; 79,9.

#### **4.9 DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS**

As amostras do afluente e do efluente do biodigestor modelo canadense em escala real (verão e inverno) foram coletadas e processadas as diluições seriadas até 10<sup>-6</sup> em solução salina (0,9%NaCl). As amostras foram homogeneizadas e, a partir das diluições obtidas, alíquotas de 0,1 mL foram semeadas com auxílio de alça de Drigalski, em duplicata e realizadas a contagem total de microrganismos nos seguintes meios de cultura seletivos aeróbios: Ágar Eosina Azul de Metileno, para contagem total de colônias fermentadoras (família *Enterobacteriaceae*)- e não-fermentadoras de lactose (ENT e BGN NF, respectivamente), Ágar Hipertônico Manitol, para contagem de cocos Gram-positivos/catalase positivo (CGP/C+), como *Staphylococcus* spp. e em Ágar Bile Esculina, suplementado com 0,01% de azida sódica, para contagem de cocos Gram-positivos/catalase negativo (CGP/C-), como *Enterococcus* spp. Foram utilizados meios de cultivo seletivo para cada tipo de microrganismo, para ocorrer o crescimento somente das colônias desejadas e otimizar a contagem de bactérias.

Posteriormente, os meios foram incubados em estufa bacteriológica a 37°C, por 24 horas e a placa de menor diluição a conter entre 30 e 300 colônias foi utilizada para estimar o número de bactérias nas amostras (APHA, 2005).

## 5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Afim de analisar a eficiência de funcionamento do biodigestor alimentado com dejetos bovinos, amostras dos afluentes e efluentes foram coletadas de forma aleatória, em 2 pontos antes do biodigestor (afluentes) e 2 pontos depois do processo da biodigestão (efluentes), nas diferentes estações do ano verão e inverno. Cada unidade observacional, ou seja, cada ponto de coleta, foi tratado independente.

Os dados foram analisados pelo programa SAS® (SAS, 2002), os resultados gerados no experimento foram comparados utilizando o teste T para médias, sendo avaliados no bloxplots para verificação da distribuição das médias. As contagens bacterianas nos experimentos de contagem direta em superfície (*spread plate*) foram convertidas em  $\log_{10}$  do número de unidades formadoras de colônias por mL de afluente ou efluente (log UFC/mL).

O nível estabelecido para significância dos testes utilizados foi  $p < 0,05$ .

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES

A concentração de componentes químicos presente nos dejetos bovinos da pecuária leiteira (Tabela 1) pode afetar o meio ambiente, poluindo as águas, o solo e a vegetação. A média das coletas no verão e no inverno, para cada ponto, não apresentaram diferença significativa entre as estações do ano ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 1:** Perfil dos componentes químicos em mg/L encontrados nas amostras de afluente (ponto 1 e 2) e efluente (ponto 3 e 4) durante o processo de biodigestão em função dos padrões sazonais.

Componentes químicos	Pontos de coleta	Afluente		Pontos de coleta	Efluente	
		Verão	Inverno		Verão	Inverno
K	1	0.085	0.085	3	0.364	0.334
	2	0.537	0.504	4	0.443	0.320
Mg	1	0.120	0.120	3	0.107	0.107
	2	0.126	0.120	4	0.107	0.107
P	1	0.652	0.657	3	0.457	0.494
	2	0.162	0.137	4	0.284	0.375
Ca	1	0.120	0.120	3	0.152	0.166
	2	0.100	0.107	4	0.107	0.152
N	1	0.283	0.297	3	0.180	0.192
	2	0.100	0.143	4	0.200	0.205
N-NH <sub>3</sub>	1	305.6	314.8	3	318.5	314.3
	2	282.3	287.9	4	279.5	276.2

A quantidade de Potássio (K) na entrada do biodigestor foi maior, tanto no verão quanto no inverno, revelando que após a passagem do afluente bovino pela peneira separadora ocorreu uma fixação e maximização dos

nutrientes na biomassa, devido a água de reuso utilizada no sistema. A vantagem da utilização da água de reuso é a potencialização de componentes químicos nos afluentes e efluentes do biodigestor. O magnésio (Mg), o fósforo (P) e o cálcio (Ca) não apresentaram mudança nos valores encontrados, foi observado apenas uma pequena redução nos resultados após o processo de biodigestão anaeróbia. A partir destes resultados não é possível saber se estes componentes químicos estavam disponíveis para as reações no processo fermentativo, podendo estar complexados, sedimentados, oxidados ou interagindo com outras substâncias, sendo assim necessários estudos mais aprofundados para estabelecer o perfil desses elementos.

Henn (2005) em seu estudo com biodigestores de fluxo tubular, observou que a concentração de fósforo no afluente apresentou variações de 240 mg/L até 1.757 mg/L, valores estes maiores do que os encontrados neste estudo de dejetos bovinos. No entanto, este autor ressaltou que pode haver sedimentação do fósforo no tanque de biodigestão, o que levaria a formação de um lodo no fundo do biodigestor. Santos (2010) enfatizou que o sistema de biodigestão deve ser capaz de reduzir os teores de fósforo no efluente. A lagoa presente no final do sistema de biodigestão anaeróbia se torna necessária para a estabilização, redução e qualidade dos componentes químicos presentes no efluente, visando a reutilização do mesmo como biofertilizante em cultivos de pastagens.

Com relação aos valores de nitrogênio total, no afluente foram encontrados resultados menos expressivo, enquanto no efluente houve um aumento, devido a maior disponibilidade e separação dos compostos orgânicos durante o processo de fermentação. O nitrogênio amoniacal foi o composto químico presente em maior quantidade tanto no afluente como no efluente, mas houve diminuição do seu teor após a biodigestão. O teor de amônia presente pode se tornar prejudicial ao processo fermentativo, pois inibe as bactérias metanogênicas, portanto se o dejetos tiver uma elevada concentração de nitrogênio ele pode produzir quantidades tóxicas de amônia. No trabalho de Oliveira (2012) com dejetos suínos em reator de fluxo contínuo, a média das concentrações das análises de nitrogênio total e amoniacal foi de 4.014 mg/L,

apresentando como concentração mínima de 1.901 mg/L e concentração máxima de 10620mg/L, valores superiores aos dejetos bovinos.

Quantidade adequadas de nutrientes inorgânicos devem ser fornecidas para que os processos biológicos sejam operados com sucesso. Em ordem decrescente de importância para a digestão anaeróbia temos o nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12 (CHERNICHARO, 2007).

Os parâmetros físico químicos estudados (Tabela 2) não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ), mantendo o perfil em todos os pontos de coleta e durante as duas estações do ano, verão e inverno.

**Tabela 2:** Perfil dos parâmetros físicos e químicos em mg/L encontrados nas amostras de afluente (ponto 1 e 2) e efluente (ponto 3 e 4) durante o processo de biodigestão em função dos padrões sazonais (verão e inverno).

Parâmetros	Afluente			Efluente		
	Pontos de coleta	Verão	inverno	Pontos de coleta	Verão	Inverno
pH	1	7.5634	7.4032	3	7.1799	7.5749
	2	7.2641	7.9367	4	7.4874	7.7060
Acidez	1	316.7	326.9	3	468.2	485.7
	2	478.4	408.2	4	444.4	400.0
Alcalinidade	1	2107.3	2054.9	3	3953.7	3787.6
	2	2739.6	2773.2	4	3855.4	3783.8
DQO	1	11286.4	10346.1	3	6738.3	4864.3
	2	14775.4	13879.9	4	5433.5	4447.8
DBO	1	3433.0	4440.6	3	1037.1	1084.2
	2	3656.1	5811.9	4	833.7	861.5
Sólidos totais	1	9.6182	11.8760	3	8.0136	12.3972
	2	10.1151	11.7939	4	8.2023	5.8995
Sólidos Voláteis	1	5.5214	10.1072	3	5.8944	7.7713
	2	7.0325	6.1871	4	5.3689	3.9666

O pH se manteve perto da neutralidade (pH 7,0) durante as duas estações, indicando que biodigestores abastecidos somente com dejetos bovinos não sofrem efeito de acidificação, permanecendo seu pH praticamente estável e a níveis considerados ótimos para uma estabilização e biodigestão anaeróbia, devido a produção de substâncias alcalinas. Para a grande maioria das bactérias o pH ótimo localiza-se entre 6,5 e 7,5 e as variações máximas e mínimas para a maior parte delas estão entre 6 e 8 (Campos, 2006).

No estudo de Monteiro (2005), os dejetos brutos apresentaram uma média de pH em torno de 6,75; de caráter levemente ácido. Já para Pinto (2006) o pH do afluente em dejetos suínos na digestão anaeróbia apresentou média de 6,70 ao longo do tempo.

Observando-se os valores do afluente e do efluente, para todos os pontos de coleta, constatou-se que os efluentes apresentaram maiores valores de alcalinidade do que os afluentes, indicando que o processo de biodigestão anaeróbia é responsável pela produção de substâncias alcalinizantes, principalmente bicarbonatos que são responsáveis por neutralizar os ácidos produzidos, elevar a resistência a queda de pH e manter os níveis apropriados para um melhor desempenho do sistema.

Os ácidos voláteis presentes nos afluente e efluentes bovinos da pecuária leiteira são essenciais para definir o processo fermentativo, pois inibem as bactérias metanogênicas. Os valores de acidez apresentaram pouca variação, entre 316 e 485 mg/L, resultados estes que estariam de acordo com o recomendado por GASPAR (2003) que estão na faixa de 50 a 500 mg/L, para que exista estabilidade no processo. Além disso, Leite (2011) revelou que uma reduzida variação do pH indica que este foi influenciado pelo efeito tampão originado a partir da elevada alcalinidade presente no digestor.

Os resultados comprovaram que os dejetos bovinos apresentam alta carga orgânica, os valores de DQO e DBO foram altos nos afluentes com posterior redução nos efluentes, independente da variação sazonal, o que demonstra que a redução da demanda química de oxigênio foi satisfatória, pois a

maior parcela das bactérias acidificadoras são facultativamente anaeróbias e as metanogênicas e arqueas são obrigatoriamente anaeróbias (DOTTO, 2012).

Os valores de DQO variaram de 14.775,4 a 4.447,8 mg/L. Segundo Monteiro (2005) a DQO é um parâmetro que descreve a situação do dejetos em relação a concentração de carbono na matéria orgânica, sendo importante para avaliar a eficiência de redução da biomassa no tratamento com biodigestor. Oliveira (2012) encontrou valores de concentração mínima de DQO nos biodigestores de 15.817 mg/L para dejetos suínos.

Neste trabalho devido a sazonalidade a variação dos valores de DBO foi de 5.811,9 a 861,5 mg/L, estando de acordo com o valor encontrado por Silva (2003) em dejetos suínos, o qual apresentou 2.241,73mg/L. Barbosa (2003) descreveu a DBO como a capacidade de um determinado afluente/ efluente ser degradado por meio de bactérias aeróbias, ou seja, havendo consumo de oxigênio, em determinado tempo e temperatura controlados, caracterizando o nível de biodegradabilidade de um determinado resíduo.

Os teores de sólidos totais e voláteis mostraram uma maior variação sazonal. Esta variação provavelmente se deve as mudanças no processo fermentativo durante as estações, o fator de diluição dos dejetos( principalmente devido as chuvas recorrentes no período de verão) e mudanças na alimentação do gado. Vale ressaltar que, caso os teores de ST forem demasiadamente altos ou baixos pode ocorrer inibição do processo fermentativo (Yadvika, 2004), o que provavelmente irá influenciar a produção do biogás, principalmente os SV.

## **6.2 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO INDEPENDENTE DA VARIAÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES**

A fim de analisar e comparar o processo de biodigestão foi realizada a coleta de amostra do afluente no ponto 2 entrada do biodigestor, após o dejetos ser filtrado pela peneira separadora de sólidos e no ponto de coleta 4, lagoa de estabilização do efluente após o processo fermentativo, para posterior uso

como biofertilizante. A peneira separadora poderia fazer diferença no processo de biodigestão, pois retira toda a fração de sólidos presente no afluente.

Conforme descrito na Tabela 3, houve uma redução relevante da concentração dos componentes químicos K, Mg, P, Ca, N e N-NH<sub>3</sub>. Esta redução é importante para verificar o funcionamento do biodigestor em escala real, o processo fermentativo e avaliar se o efluente final da lagoa de estabilização poderá ser utilizado como biofertilizante em plantações de cultivo de pastagens. Os resultados apresentados são os valores médios de todas as coletas obtidas no experimento, 12 coletas, independente da variação sazonal. Não houve diferença significativa entre os componentes químicos analisados ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 3:** Avaliação e comparação do processo de funcionamento do biodigestor em relação aos componentes químicos analisados, antes e após o processo de fermentação anaeróbia, em mg/L.

<b>Componentes Químicos</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Entrada do biodigestor</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Lagoa de estabilização</b>
<b>K</b>	2	0.2583	4	<b>0.1500</b>
<b>Mg</b>	2	0.0750	4	<b>0.0500</b>
<b>P</b>	2	0.1667	4	<b>0.1500</b>
<b>Ca</b>	2	0.0727	4	<b>0.0583</b>
<b>N</b>	2	0.2436	4	<b>0.3728</b>
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	<b>2</b>	<b>570.24</b>	<b>4</b>	<b>282.26</b>

Ressalta-se que os componentes químicos presentes são essenciais no processo fermentativo, participando como macro e micronutrientes, sendo maximizados pela água de reuso, colaborando com a alimentação necessária das bactérias para realizar o processo de biodigestão. A peneira separadora não influenciou no processo, pois demonstrou que os componentes químicos são partículas muito pequenas ou intrínsecas ao dejetos bovino, não sendo removido por processo físico de separação de sólidos.



A proporção analisada de nutrientes neste trabalho, se mostra conforme ao citado por Barcelos (2009), que relatou em seu trabalho, que o nitrogênio e o fósforo são considerados essenciais para a metanogênese. Considerando essencial a relação DQO: N: P de 500: 5: 1 como suficiente para atender as necessidades de macro nutrientes dos microrganismos anaeróbios.

O pH (tabela 4), a acidez e a alcalinidade ( $p > 0,05$ ) não se alteraram durante o processo fermentativo, possivelmente devido as características de tamponamento do sistema. Entretanto, os outros parâmetros apresentaram uma diminuição significativa ( $p < 0,05$ ), principalmente DQO ( $p < 0.0001$ ), DBO ( $p < 0.0002$ ), sólidos totais ( $p = 0.046$ ) e sólidos voláteis ( $p = 0,026$ ). No processo de biodigestão é essencial a interação desses quatro parâmetros, principalmente para estimar a produção de biogás no sistema e a eficiência de eliminação de matéria orgânica. O biodigestor apresentou características de funcionamento estáveis independente da sazonalidade, revelando a regularidade do processo fermentativo.

**Tabela 4:** Avaliação e comparação do processo de funcionamento do biodigestor em relação aos parâmetros físicos e químicos analisados, antes e após o processo de fermentação anaeróbia, em mg/L.

<b>Parâmetros</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Entrada do biodigestor</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Lagoa de estabilização</b>
<b>pH</b>	2	7.3217	4	<b>7.3967</b>
<b>Acidez</b>	2	298.3	4	<b>266.5</b>
<b>Alcalinidade</b>	2	2734.7	4	<b>2747.2</b>
<b>DQO</b>	2	10697.9	4	<b>3487.3*</b>
<b>DBO</b>	2	2952.1	4	<b>608.8*</b>
<b>Sólidos totais</b>	2	7.2225	4	<b>4.6717*</b>
<b>Sólidos Voláteis</b>	<b>2</b>	<b>5.2150</b>	<b>4</b>	<b>2.7408*</b>

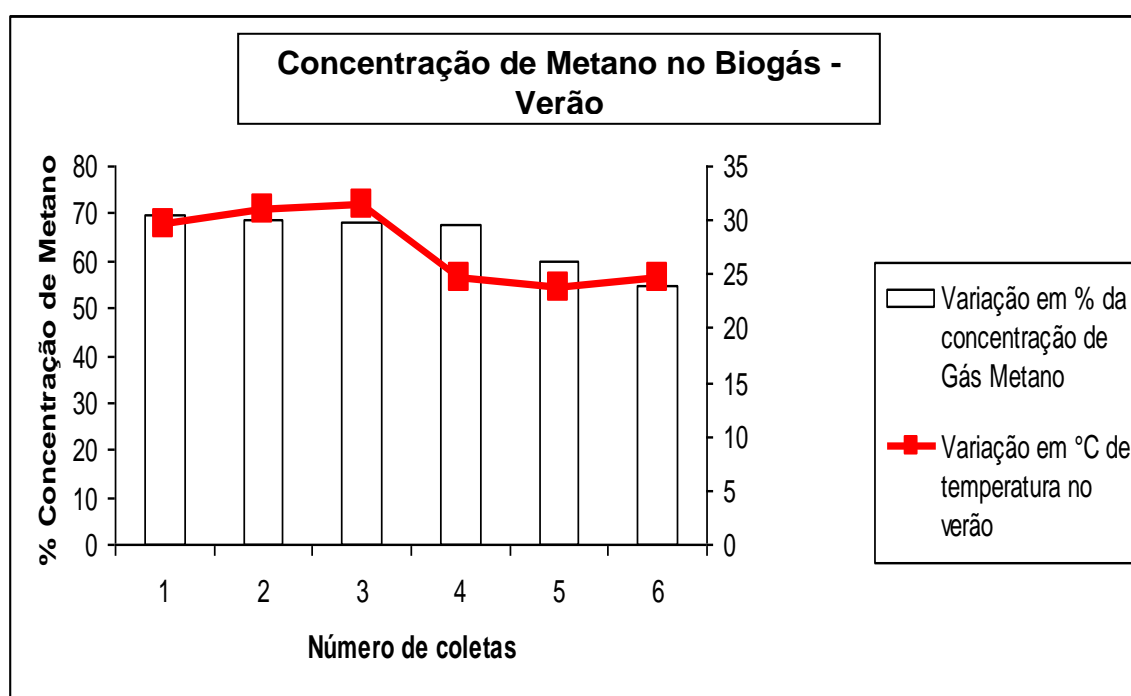
**Nota:** (\*) Valores médios indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

Segundo Bitton (2005), as reduções nos valores de DQO, DBO, ST e SV são devidos a alta biodegradabilidade da matriz, sendo recomendável como

etapa inicial para efluentes ou lodos altamente concentrados, como os dejetos bovinos da pecuária leiteira.

### 6.3 CONCENTRAÇÃO DE METANO NO BIOGÁS

A fim de analisar a produção de biogás entre as diferentes sazonalidades foram coletadas 6 amostras de gás, a cada 15 dias nas duas estações do ano, verão e inverno. As coletas do verão foram realizadas entre Janeiro de 2014 e abril de 2014, enquanto que as de inverno foram coletadas nos meses de maio a agosto de 2014. A concentração de gás metano produzida pela biodigestão anaeróbia atingiu um pico de 70% no verão a uma temperatura média de 30°C, sendo a menor concentração de 56%, a aproximadamente, 24°C, conforme descrito na Figura 6.



**Figura 6:** Variação da temperatura (°C) no verão comparada com a variação da concentração (%) de gás metano, na mesma estação, no biodigestor, em cada coleta de amostras.

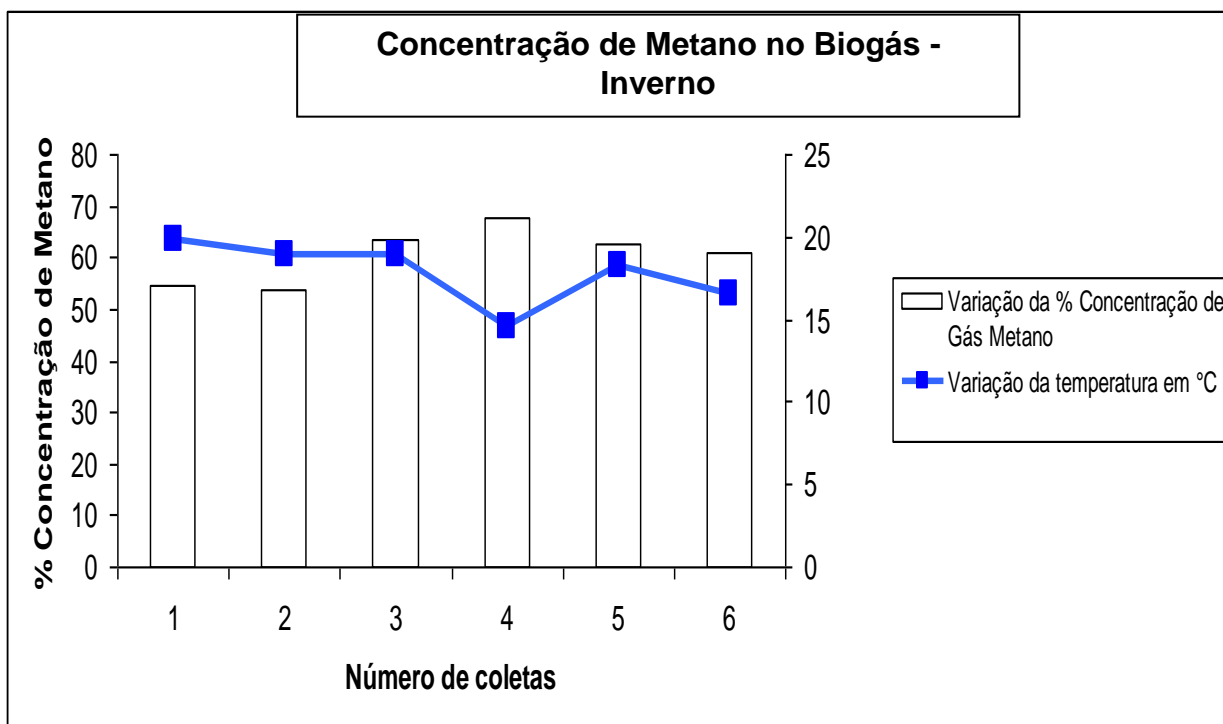
Nas duas últimas coletas as concentrações de metano foram reduzindo, conseqüentemente aumentando a concentração de CO<sub>2</sub> presente no biogás. Quanto maior a concentração de CH<sub>4</sub> no biogás melhor a qualidade do mesmo,

pois é este quem tem o poder calorífico para a produção de energia elétrica. Miranda (2005), analisando dejetos de bovinos em biodigestores do tipo contínuo, observou um teor de metano no biogás de 60,45%, com 13 dias de retenção hidráulica (TRH), divergindo da pesquisa atual onde encontramos teores de metano mais elevados e com maior TRH.

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% em dejetos bovinos.

No inverno a produção de metano ainda se manteve alta (Figura 5), atingindo 68% de concentração de metano com uma temperatura média de 15°C. Este resultado sugere que a temperatura ambiental não influencia diretamente na produção do biogás, mas sim, as condições dentro do biodigestor, como quantidade de microrganismos, a composição química dos afluentes, características do processo de fermentação e a implantação da água de reuso no sistema, proporcionando o reaproveitamento da água e maximização da entrada de nutrientes no biodigestor para uma produção de biogás intensa durante todas as estações do ano.

Júnior e Aguiar (2005) complementam que o tratamento e reaproveitamento adequado da água e esgoto, podem ser utilizados para produção de energia, reduzindo a demanda energética, melhorando o desempenho econômico e ambiental promovendo melhoria na qualidade de vida da população.



**Figura 7:** Variação da temperatura (°C) no inverno comparada com a variação da concentração (%) de gás metano, na mesma estação, no biodigestor, em cada coleta de amostras.

Segundo Alvarez (2006), a produção de metano a partir de dejetos animais segue o mesmo padrão, tanto em temperaturas constantes mesófilas (35°C) e ambientais (16,8 - 29,5°C).

A temperatura é um parâmetro relevante na digestão anaeróbia, pois por meio da faixa de temperatura em que o biodigestor funciona é que irão se diferenciar as bactérias para atuar na degradação da matéria orgânica (OLIVEIRA, 2012). Os dados mostram uma digestão anaeróbia estável independente da sazonalidade. Sendo possível verificar a grande variação da temperatura, no verão não ultrapassou 30° C, com a mínima de 24°C. E no inverno, com a temperatura máxima de 20°C e a mínima de 15°C, evidenciando que houve queda na temperatura devido as mudanças de temperatura, mas estas não afetaram a capacidade das bactérias metanogênicas em produzir de biogás.

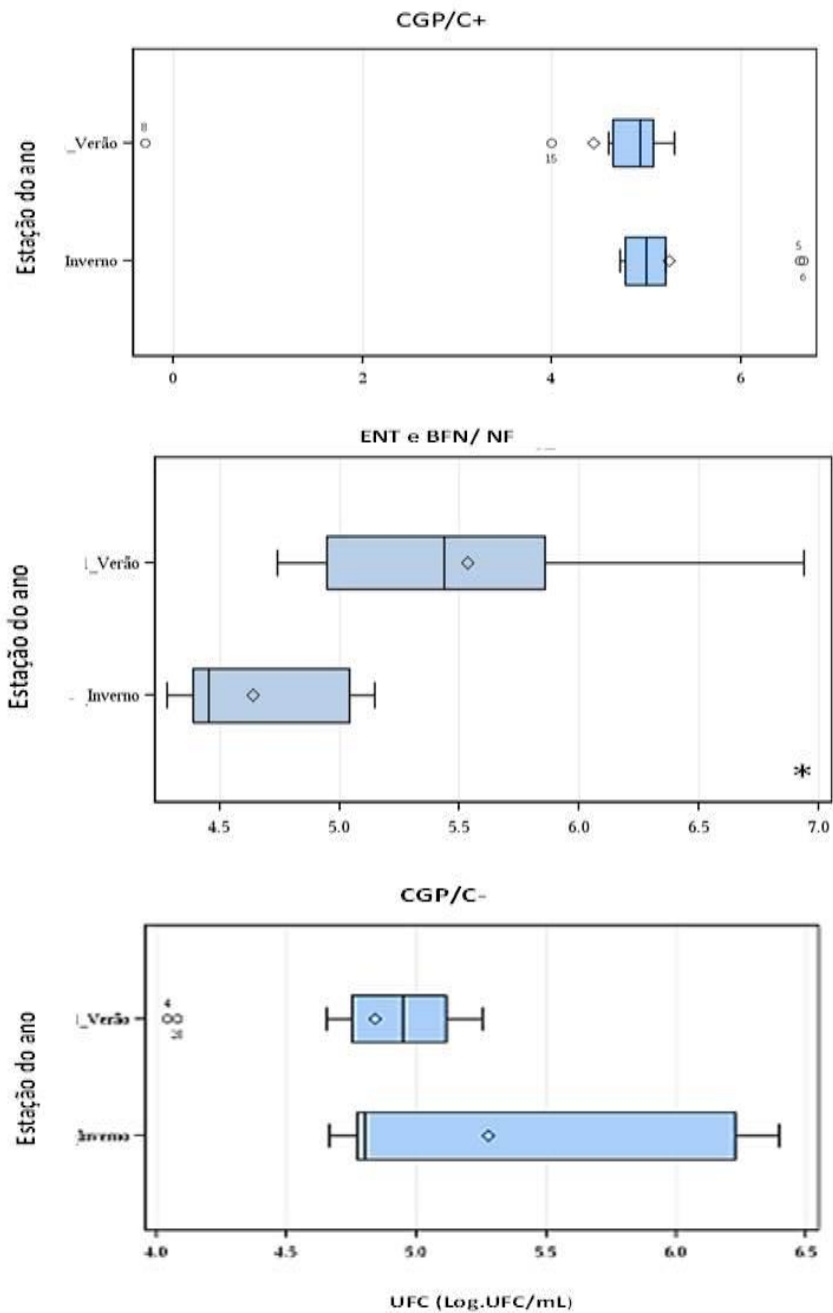
#### **6.4 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES**

As densidades bacterianas totais foram obtidas por contagem direta em superfície (spread plate), tanto nas amostras do afluente como dos efluentes, nas diferentes estações do ano, verão e inverno, para avaliar a sazonalidade dos grupos de importância microbiológica.

Amostras dos afluentes foram coletadas nos pontos de 1 e 2, antes da entrada no biodigestor, e entre os grupos estudados, CGP/C+ e CGP/C- não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as diferentes estações do ano, ou seja, mantiveram valores de contagens iguais na entrada durante todo o ano. No entanto, quanto os grupos ENT e BGN NF, valores maiores e significativos ( $p = 0,0013$ ) foram encontrados nos verão, provavelmente devido as mudanças de alimentação e manejo do gado (Figuras 8 e 9).

Não foram encontradas diferenças entre os grupos microbianos estudados (ENT, BGN NF, CGP/C+ e CGP/C-) antes e após a peneira separadora, o que mostra que, provavelmente, a maior parte dos microrganismos estão inseridos em pequenas partículas ou no meio líquido.

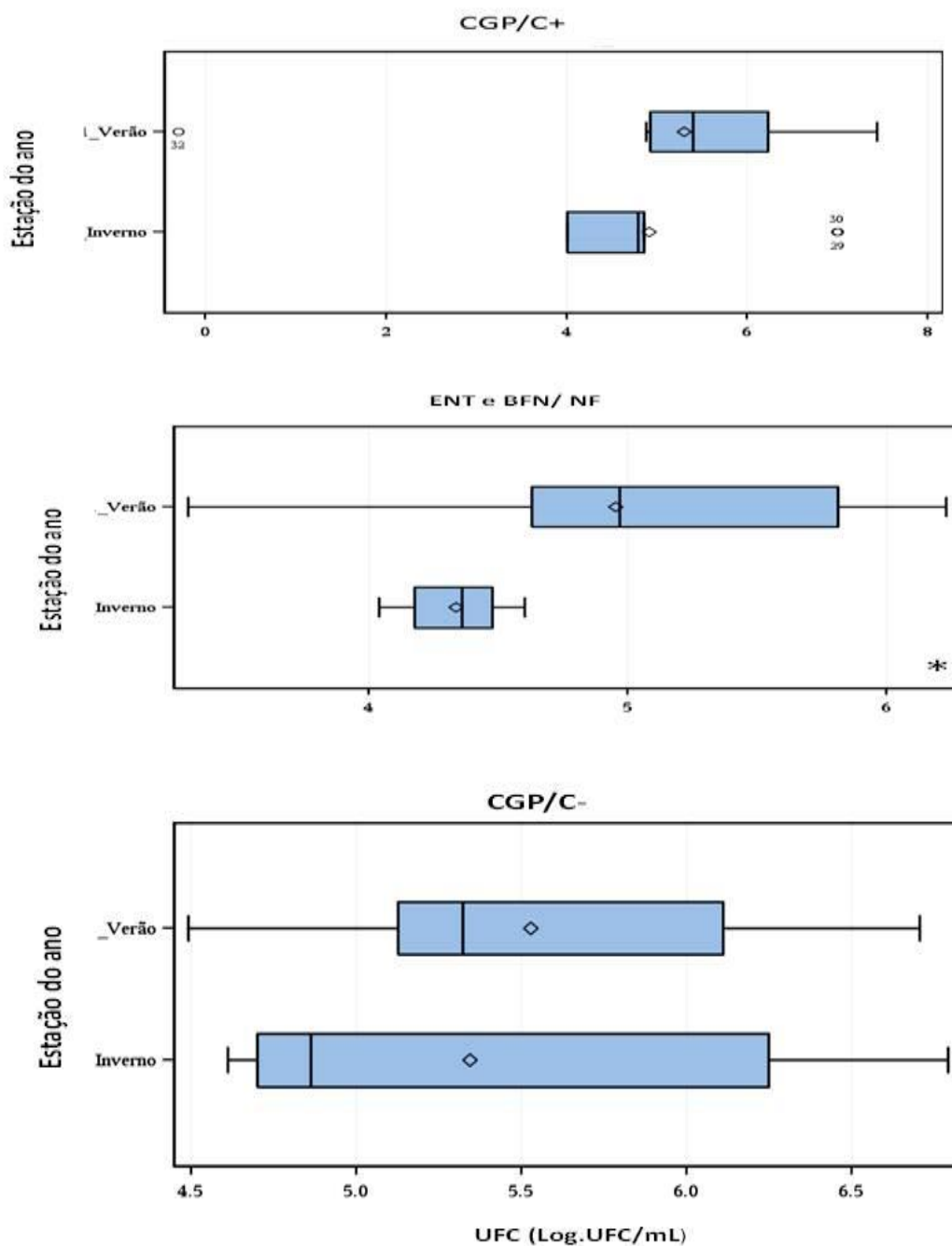
**Antes do Biodigestor/ Afluente**  
**Água de Lavagem(ponto 1)**



**Nota:** (\*) Valores médios indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

**Figura 8:** Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL, no verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 1, água de lavagem.

**Antes do Biodigestor/ Afluente**  
**Entrada do biodigestor (Ponto 2)**



**Nota:** (\*) Valores médios indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

**Figura 9:** Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL, no verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 2, entrada do biodigestor.

As amostras coletadas nos pontos 3 e 4, depois do tratamento pelo biodigestor, entre os grupos estudados CGP/C+, CGP/C- e ENT, BGN NF não foram encontradas diferenças estatística significativas ( $p > 0,05$ ) entre as estações do ano, conforme descrito nas Figuras 10 e 11. Isto demonstra que a variação sazonal não influencia a saída ou eliminação dos microrganismos do biodigestor.

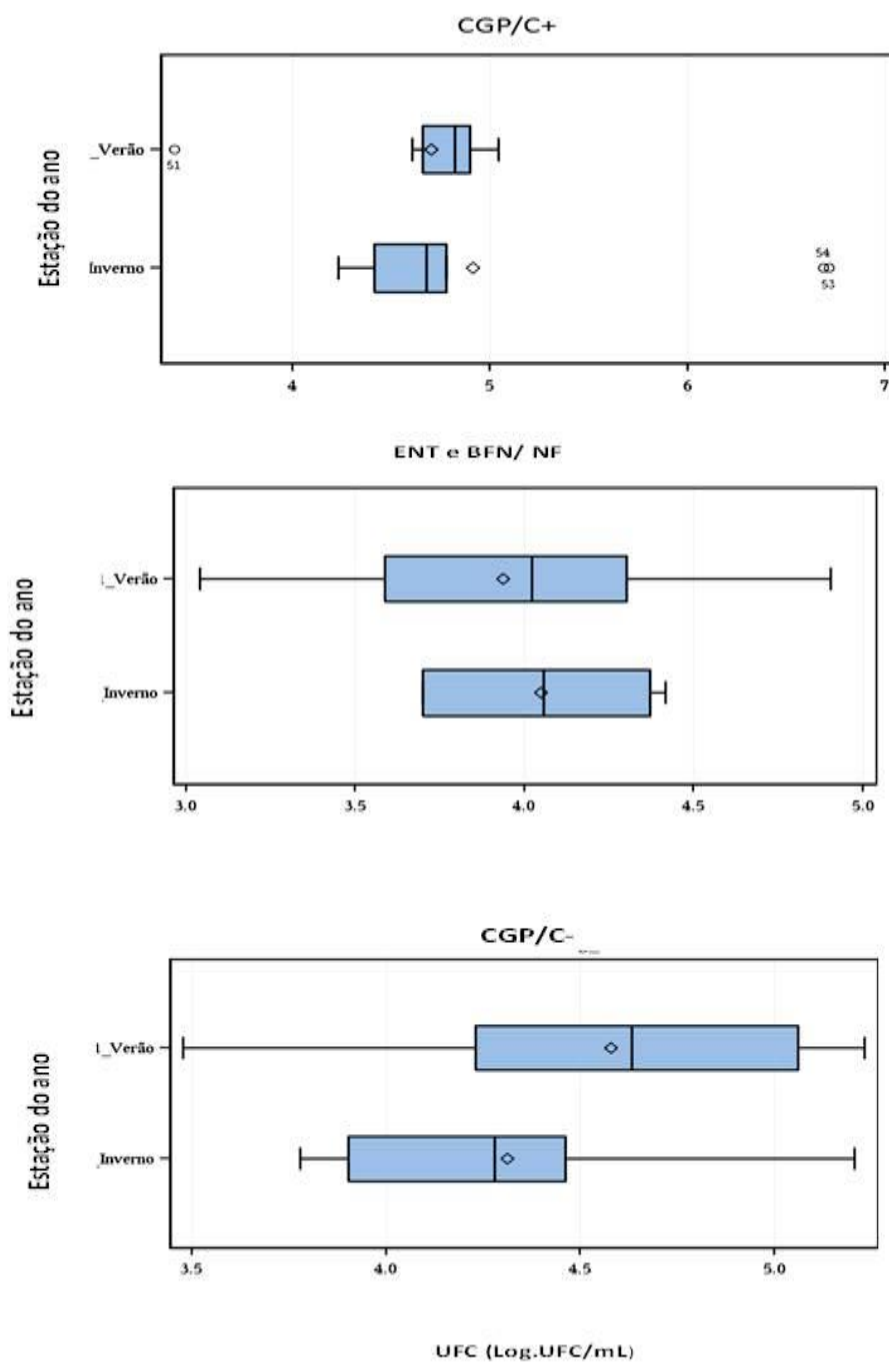
Ressalta-se que após o efluente final ser utilizado como biofertilizante para cultivos de pastagens, ocorre o período chamado de quarentena, onde a área adubada fica isolada durante 20 dias para não haver contaminação dos animais.

De acordo com estudos anteriores, as populações de CGP/C- e ENT são predominantes em digestores operados a temperaturas mesófilas utilizando esterco bovino como substrato (SAWANT, 2007). Entretanto, as composições das comunidades microbianas (por exemplo, presença de estafilococos coagulase negativo ou BGN NF) podem variar devido às práticas de manejo dos dejetos, condições ambientais e dos tipos de dejetos (SAHLSTRÖM, 2004).

Na pesquisa de Magrini (2009), foi avaliado o perfil de bactérias, fungos e leveduras em biodigestores e foi constatada uma elevada presença deste microrganismos que variou entre 100 e 200 UFC/mL. Colaborando com o resultado sugerido por este trabalho, onde os grupos microbianos forma encontrados em maior quantidade nos afluentes.

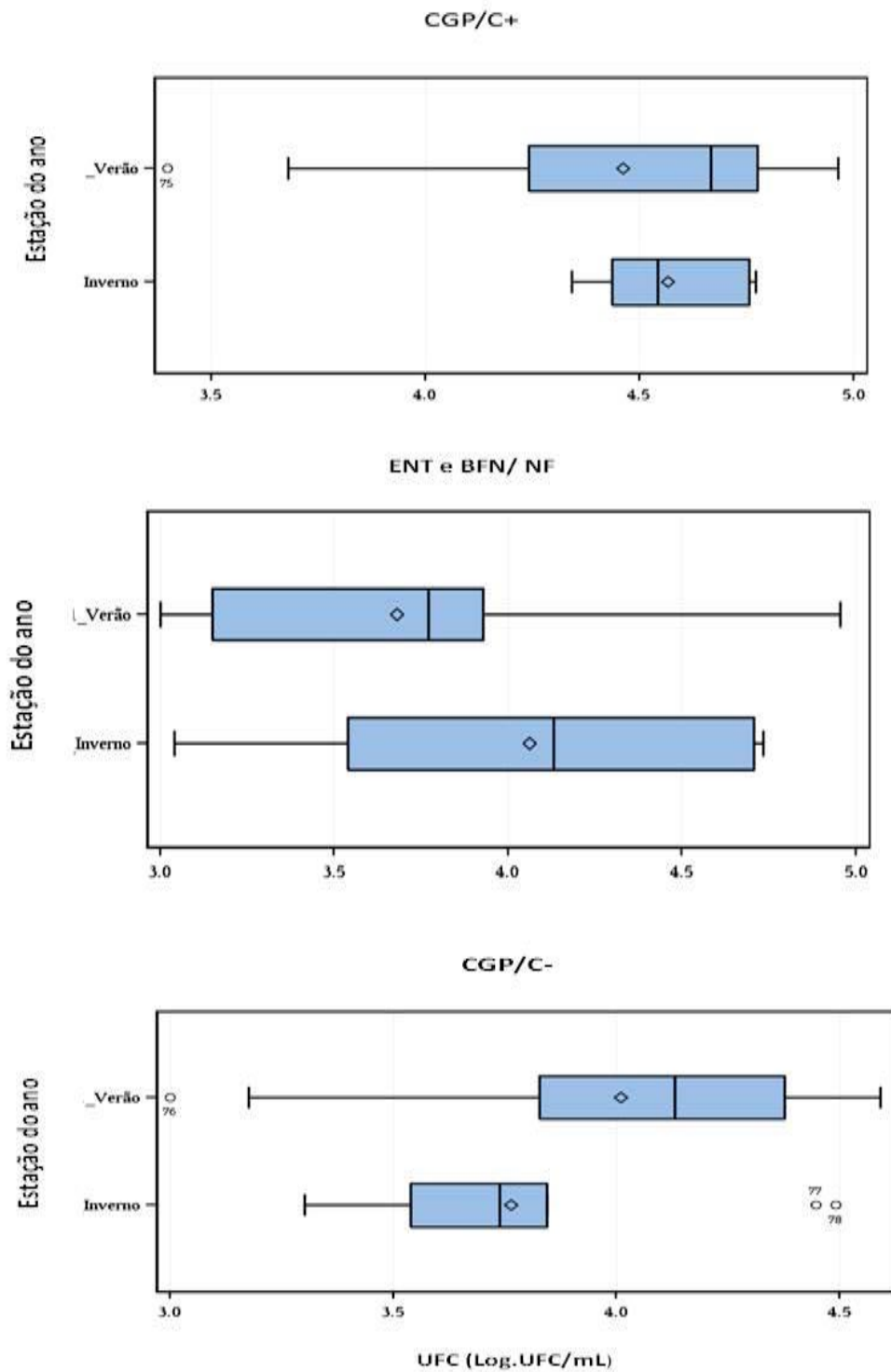


Depois do Biodigestor/ Efluente  
Saída do Biodigestor (Ponto 3)



**Figura 10:** Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL, no verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 3, saída do biodigestor.

Depois do Biodigestor/ Efluente  
Lagoa de estabilização (Ponto 4)



**Figura 11:** Distribuição das contagens microbianas em log de UFC/mL, no verão e inverno, e em diferentes meios de cultura, Manitol, BE e EMB no ponto de coleta 4, lagoa de estabilização.

## 6.5 AVALIAÇÃO DAS CONTAGENS MICROBIANAS DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO INDEPENDENTE DA VARIAÇÃO SAZONAL DOS AFLUENTES E EFLUENTES

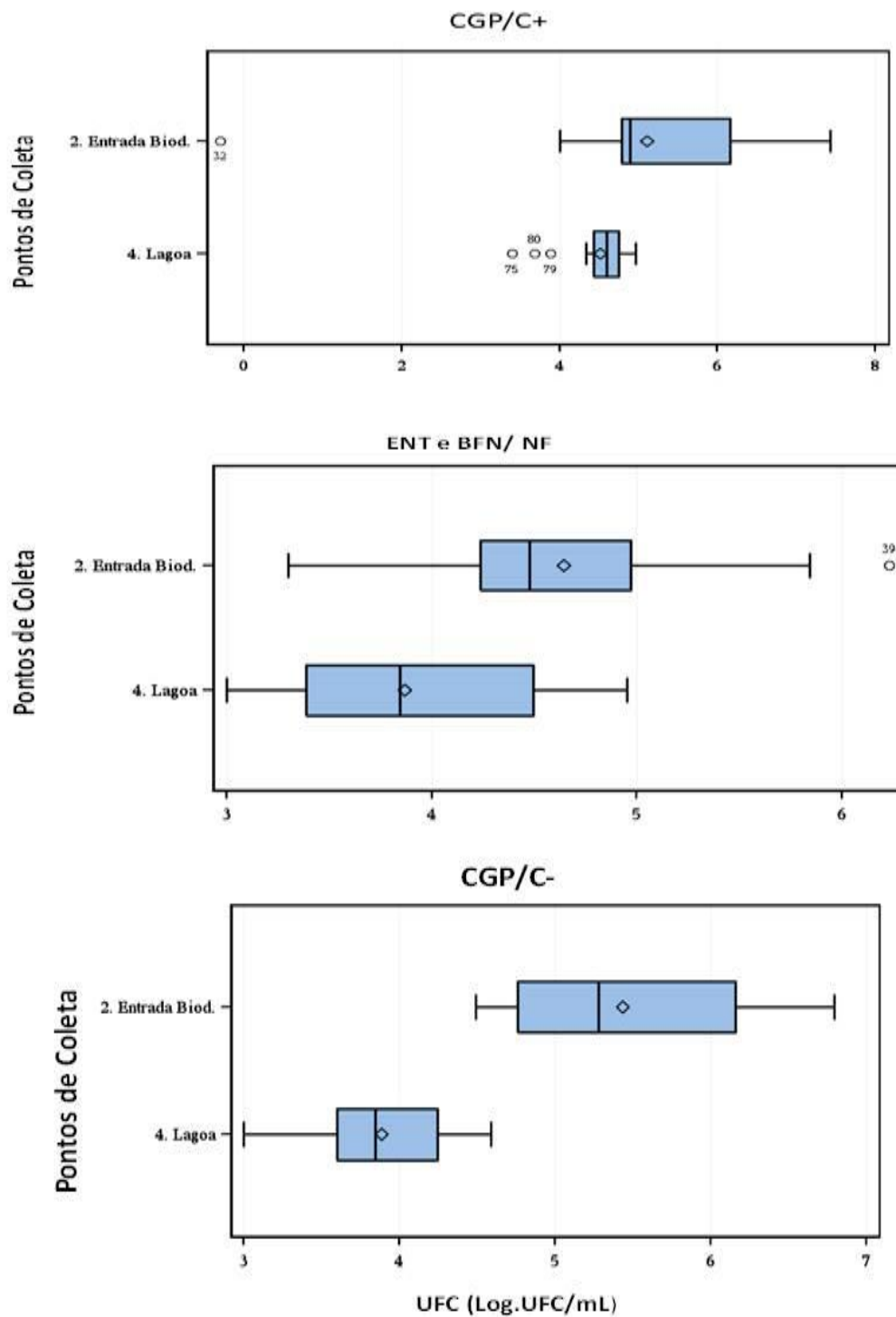
Para avaliar a capacidade de eliminação de microrganismos após o processo de biodigestão em escala real, foi realizada a comparação entre dois pontos importantes de coleta, a entrada do biodigestor, ponto 2, e a lagoa de estabilização, ponto 4.

**Tabela 5:** Teste t para os grupos microbianos avaliados na entrada do biodigestor e na lagoa de estabilização, em log de UFC/mL.

Grupo Microbiano	Valor t	Pr >  t
<b>CGP/C+</b>	1.81	<b>0.0082*</b>
<b>ENT e BGN NF</b>	3.90	<b>0.0003*</b>
<b>CGP/C-</b>	<b>8.57</b>	<b>&lt;0.0001*</b>

**Nota:** (\*) Valores médios indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

Os dados da Tabela 5 e da Figura 12, representam a diversidade bacteriana (afluente e efluente) representada na amostragem recuperada no sistema de biodigestão avaliado em diferentes pontos do biodigestor. Houve diminuição das contagens em todos os grupos microbianos, havendo diferença significativa entre as bactérias que entram e saem do biodigestor, principalmente após a estabilização do efluente na lagoa, confirmando a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia.



**Figura 12:** Distribuição no bloxplot dos grupos microbianos pesquisados no ponto 2, entrada do biodigestor e no ponto 4, lagoa de estabilização.

CGP/C- e ENT da família *Enterobacteriaceae* foram os microrganismos com maior contagem. Trata-se de microrganismos de ampla atuação no ambiente e oportunistas. Naturalmente se desenvolvem no intestino de humanos e animais, reconhecidos pela capacidade de sobrevivência e multiplicação em situação de estresse e/ou em ambientes hostis, devido a tolerância a vários fatores, como a mudança de temperatura e pH, exatamente variações que ocorrem nos biodigestores (COSTA, 2013).

Ao considerar a utilização dos efluentes da digestão anaeróbia como biofertilizante em solos para cultivo de produtos alimentares é importante ressaltar que, eventualmente, estas bactérias potencialmente patogênicas podem chegar aos humanos e serem causadoras de infecções alimentares. A inativação de patógenos, como os enterococos, enterobactérias e BGN NF oportunistas, como *Pseudomonas* spp. justifica a relevância microbiológica de lidar corretamente com efluentes de digestão anaeróbia (BERNETA e BÉLINE, 2009).

Assim, devem ser levadas em consideração melhorias neste processo de biodigestão, para uma remoção mais eficiente das bactérias patogênicas, respeitando o tempo de retenção hidráulico do sistema, quantidade e qualidade da água usada na lavagem das instalações e escolha de um sistema de pós-tratamento adequado dos efluentes, por exemplo, as lagoas de estabilização.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Torna-se necessário em perspectivas futuras maior detalhamento das características de funcionamento desta categoria de biodigestores para proposição de adaptações ao clima do Brasil. Isto poderá ser aprimorado buscando maior rendimento para o processo, pela facilidade da operação em condições climáticas tropicais.

Resultados demonstraram o processo de digestão anaeróbia dos dejetos da pecuária como solução importante para reciclagem, reaproveitamento da água e produção de energia, levantando preocupações significativas sobre a sustentabilidade e riscos de caráter sanitários durante o processo.

A biodigestão anaeróbia se mostrou muito eficiente para a redução da carga orgânica presente nos dejetos da produção leiteira, tornando atrativo economicamente e ambientalmente o uso dos biodigestores e seus subprodutos, o biogás e o biofertilizante.

## 8 CONCLUSÃO

- O biodigestor em escala real modelo canadense não sofre alteração em seu modo de funcionamento pela sazonalidade.
- Não houve diferença significativa para os parâmetros físico químicos e microbiológicos avaliados.
- A qualidade do biogás foi elevada pela alta concentração de metano e pela alta redução de sólidos totais e voláteis.
- O potencial significativo de eliminação dos grupos microbianos pelo biodigestor apresentou viabilidade em poder se usar o biofertilizante como adubo para cultivos de pastagens, por exemplo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R.; VILLCA, S.; LIDÉN, G. **Biogas production from llama and cow manure at high altitude**. *Biomass and Bioenergy*, 30 (3):66-75. 2006.
- AL-MASRI, M. R. **Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes**. *Bioresource Technology*, 77:97–100. 2001.
- AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. D. S.; MACHADO, M. R. F. 2004. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. *Ciência Rural*, 34:1897–1902. 2004.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed. Washington DC: APHA, AWWA, WEF, 2005.
- BARBOSA, J. M. N. **Estudo do comportamento da DBO em suporte aeróbio de oxigênio puro. Coeficientes cinéticos e fatores de correlação**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública)- Fiocruz, Rio de Janeiro, 2003.
- BARCELOS, B. R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- BERNETA, N.; BÉLINE, F. **Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents**. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 5431-5436, 2009.
- BITTON, G. 2005. **Wastewater microbiology**. 3ª edição. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- BONTURI, G. de L.; VAN DIJK, M. **Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais**. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, v.8, n.2, p.88-95, 2012.
- CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. **Development and operation of the up flow anaerobic sludge blanked reator treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale**. *Revista Ciências e Agroecologia*, v. 30, p. 140-147, 2006.



CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. **Biodigestores**. IN: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Anais. Ponta Grossa, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

CONVERTI, A.; OLIVEIRA, R.P.S.; TORRES, B. R.; LODI, A.; ZILLI, M. **Biogas production and valorization by means of a two-step biological process**. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 5771–5776, 2009.

COSTA, P. M.; LOUREIRO, L.; MATOS, A. J. F. **Transfer of multidrug-resistant bacteria between intermingled ecological niches: the interface between humans, animals and the environment**. *International Journal of environmental research and public health*, v.10, n.1, p. 278–294, 2013.

CUNHA, L. **Uso do biodigestor para tratamento de dejetos suínos**. 72f. 2007.

DEUBLEIN, Dieter; Steinhauser, Angelika. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. 2° ed. Weinheim: Wiley-Vch, 2011.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D, B,. **BIODIGESTÃO E PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO DEJETOS BOVINOS**. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

DORAN, J.W.; LINN, D.M. **Bacteriological quality of run off water from pasterland**. *Applied of Microbiology*, v.37, p. 985-991. 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o agronegócio brasileiro: Cenários 2002-2012**. Embrapa/ Secretaria de Gestão e estratégia. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 92p.

GASPAR, R.M.L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR** 2003. 215f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal De Santa Catarina, Porto Alegre, 2003.

GOLUSIN, M.; OSTOJIC, A.; LATINOVIC, S.; JANDRIC, M.; IVANOVIC, O. M. **Review of the economic viability of investing and exploiting biogas electricity plant – Case study Vizelj, Serbia.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 1127– 1134, 2012.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida.** 2005, 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Renewable energy: RD priorities, insights from the IEA technology programmes, Paris, 2008.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA); INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION'S (ILO). In: REN21. Renewables 2012 Global Status Report. Paris, 2012.

JÚNIOR, B. C. **Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

JÚNIOR., A. P.; AGUIAR, A. O. **Controle Ambiental da Água.** Curso de Gestão Ambiental. Barueri, SP: Manole, 2005. Coleção Ambiental/USP. Vol. 2.

KIM, J.; LIM, J.; LEE, C. **Quantitative real-time PCR approaches for microbial community studies in wastewater treatment systems: Applications and considerations.** Biotechnology advances, doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.05.010. 2013.

KUMAR, K.V.; SRIDEVI, V.; RANI, K.; SAKUNTHALA, M.; KUMAR, C.S. **A review on production of biogas, fundamentals, applications its recent enhancing techniques.** Chemical Engineering, 57:14073–14079. 2013.

LEITE, W. R. M. **Digestão anaeróbia mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto.** 2011.143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

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.

MAGRINI FE, CAMATTI-SARTORI V, VENTURIN L. **Avaliação Microbiológica, pH e Umidade de Diferentes Fases de Maturação do Biofertilizante.** Bokashi. In: VI Congresso Brasileiro e II Congresso Latino Americano de Agroecologia, Curitiba, Anais, ABA/SOCLA, p. 278-282. 2009.

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

MARROCOS, S.T.P. **Composição do Biofertilizante e sua utilização via fertirrigação em moleiro.** 2011. 62f. Dissertação (Mestrado em fitotecnia)- Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2011.

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.

MONTEIRO, L. W. S. **Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo dos dejetos suínos: lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento.** 2005. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MUHA, I.; GRILLO, A.; HEISIG, M.; SCHÖNBERG, M.; LINKE, B.; WITTUM, G.  
**Mathematical modeling of process liquid flow and acetoclastic methanogenesis under mesophilic conditions in a two-phase biogas reactor.** *Bioresource Technology*, v. 106, p.1–9, 2012.

NICHOLSON, F. A.; GROVES, S. J.; CHAMBERS, B. J. **Pathogen survival during livestock manure storage and following land application.** *Bioresource Technology*, 96(2):135–43. 2005.

NZILA, C., DEWULF, J.; SPANJERS, H.; TUIGONG, D.; Kiriamiti, H.; Van Langenhove, H. **Multi criteria sustainability assessment of biogas production in Kenya.** *Applied Energy*, 2012.

OLIVEIRA, A. J. DE; RAMALHO, J. *Plano Nacional de Agroenergia 2006 - 2011.* Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2006. p. 110.

OLIVEIRA, A. P.; BARBOSA, A. H. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. N. P. **Produção da batata-doce adubada com esterco bovino e biofertilizante.** *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1722-1728, 2007.

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, J. F.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, M. C. C. A.; OLIVEIRA, A. N. P.; SILVA, N. V. **Yield of sweet potato fertilized with cattle manure and biofertilizer.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 3, p. 277-281, 2010.

OLIVEIRA, M. M. **Estudo da Inclusão de Compartimentos em Biodigestores Modelo Canadense.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da UFSM. 118f. Santa Maria – RS. 2012.

PEREIRA M. L. **Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura.** São Paulo, SP, 2005; Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

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

173f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

RAMASAMY, E. V. Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. **Bioresource Technology**, Essex, v. 93, n. 2, p. 209-212, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 1 de novembro de 2014.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). Renewables 2012 Global Status Report. Paris, 2012.

ROVER, O. J.; BERTO, J.; ANSCHAU, C.T.; GIROTTO, C; RAMM, D.; Pesquisa: **Cenários e desafios para a produção leiteira do Oeste Catarinense fase as estratégias das principais redes de agroindústrias**. Relatório. Chapecó: UNOCHAPECÓ, 2009.

SAHLSTRÖM, L. **A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants**. *Bioresource technology*, v. 87, p. 161-166, 2004.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 247f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SANTOS, A. C. V. dos. **A ação múltipla do biofertilizante líquido como fertifitoprotetor em lavouras comerciais**. In: ENCONTRO DE PROCESSOS DE PROTEÇÃO DE PLANTAS: CONTROLE ECOLÓGICO DE PRAGAS E DOENÇAS. Botucatu. *Anais...* Botucatu: Agroecológica, 2001. p. 91-96. 2001.

SANTOS, E. L. B., JUNIOR, G. N. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE ORIGEM ANIMAL**. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v.4, n.2, Agosto, 2013.

SAWANT, A. A.; HEGDE, N. V.; STRALEY, B. A.; DONALDSON, S. C.; LOVE, B. C.; KNABEL, S. J.; JAYARAO, B. M. **Antimicrobial-resistant enteric bacteria from dairy cattle**. *Applied and environmental microbiology*, v. 73, p. 156–163, 2007.

SEAPA-MG - Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais.

**Legislação Ambiental de Minas Gerais.** Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/action/Consulta.do>>. Acesso em: 27/10/2013.

Sganzerla, E. **Biodigestores: uma solução.** Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos:** métodos químicos e biológicos 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 235 p.

SILVA, F. L. **Lagoas de estabilização de dejetos de suínos: avaliação da eficiência de um sistema empregando parâmetros físico-químicos e biológicos.** 2003. 58p. Dissertação (Mestrado em Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SINTON, L.; BRAITHWAITE, R.; HALL, C.; MACKENZIE, M. **Survival of indicator and pathogenic bacteria in bovine feces on pasture.** Applied and environmental microbiology, 73(24):7917–7925. 2007.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A.; SANTOS, C. R.; BRESSAN, W. S.; MOGAMI, C. A. **Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos.** Ciência e Agrotecnologia, 32(1):219–224. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; TEODORO, M. C. C. L.; SANTOS, V. J.; FRARE, P. **Calagem e adubação para a cultura do quiabo.** Disponível em: <[www.iac.sp.gov.br/tecnologias/quiabo/calagem\\_quiabo.htm](http://www.iac.sp.gov.br/tecnologias/quiabo/calagem_quiabo.htm)>. Acesso em: 9 mar. 2012.

UBALUA, A. O. **Cassava wastes : treatment options and value addition alternatives.** African Journal of Biotechnology, 6:2065–73. 2007.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (USEA). U.S. Department of Energy. International Energy Outlook, Washington, 2010.

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

WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. **Prediction of excretion of manure and nitrogen by holstein dairy cattle.** Journal Dairy Science, Champaign, v. 80, n. 12, p. 3193-3204, dec. 1997.

WU, M.N., JOINER, W.J., DEAN, T., YUE, Z., SMITH, C.J., CHEN, D., HOSHI, T., SEHGAL, A., KOH, K. **SLEEPLESS, a Ly-6/neurotoxin family member, regulates the levels, localization and activity of Shaker.** Nat. Neurosci. 13(1): 69--75. 2010.

YADVIKA, S. **Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review.** Bioresource Technology, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, oct. 2004.a, Anais, ABA/SOCLA, p. 278-282.