

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

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

**ÁLVARO JOSÉ FERNANDES**

**Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos.**

**Juiz de Fora**

**2016**

**ÁLVARO JOSÉ FERNANDES**

**Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos.**

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:** Dr. Jailton da Costa Carneiro

Juiz de Fora

2016

Fernandes, Álvaro José .

Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos / Álvaro José Fernandes. -- 2016.

67 p.

Orientador: Marcelo Henrique Otenio

Coorientador: Jailton da Costa Carneiro

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, 2016.

1. Grupos microbianos. 2. dejetos bovinos leiteiros. 3. dejetos suínos. 4. variáveis físico-químicas. 5. biodigestão. I. Otenio, Marcelo Henrique, orient. II. Carneiro, Jailton da Costa, coorient. III. Título.

**Álvaro José Fernandes**

**Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos.**

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. Jailton da Costa Carneiro  
Gado de Leite

---

Prof. Dr. Maurílio Lopes Martins  
IF Sudeste MG- campus Rio Pomba

Juiz de Fora, MG  
2016

*A minha mãe Irma que sempre me incentivou no tempo que esteve conosco, ao meu pai José, por sempre me incentivar por nunca medir esforço, as minhas irmãs por sempre estarem presentes e incentivando minha formação, palavras de carinho, amizade e compreensão nunca faltaram em nenhum momento. Dedico.*

## **Agradecimentos**

Não foi fácil chegar até aqui, do processo seletivo passando pela aprovação até a conclusão do mestrado, foi um longo caminho percorrido, nada foi fácil nem tão pouco tranquilo, mas vejo que nunca caminhei sozinho.

À Deus por ter dado a mim forças para continuar a caminhada, trazendo sempre ajuda quando a esperança desaparecia quase por completo.

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

À ITAIPU pelo aporte financeiro para a realização da dissertação.

A meu orientador, Marcelo Henrique Otenio, por todos os momentos de dedicação, ensinamentos e risadas. Ao meu co-orientador, Jailton, por sempre responder minhas dúvidas.

À todos os integrantes do laboratório de Microbiologia do Rúmen, em especial a Marlice e Júnior, pois nunca mediram esforços para me ajudar. As estagiárias e estagiário, Carol, Juliana, Natália, Laura, Ranaíla, Marlon e aos meninos da sala 18, sempre trabalhamos com resíduo mas, a diversão era garantida.

À todos os membros da banca examinadora, pela disponibilidade e preciosas colaborações.

Aos colegas de sala do mestrado por todos os momentos de ajuda mútuos, e momentos de muita rizada na hora do cafezinho e principalmente nas viagens.

Aos irmãos do coração que Deus me deu, Leandro, Bruni, Jean e Fabiano, pelo incentivo e ótimos momentos de descontração.

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

À todos meus familiares, meu pai, irmãos, sobrinhos por todo apoio, amor e incentivo ao meu crescimento pessoal e profissional.

À todos aqueles que de certa forma contribuíram para execução deste trabalho. Muito obrigado!

## RESUMO

No Brasil a pecuária possui um papel de destaque na economia. O volume de leite cru industrializado no terceiro trimestre de 2015 foi de 5,9 bilhões de litros, com destaque para a industrialização em Minas Gerais, primeiro do ranking dos estados brasileiros, que processou mais de 1,5 milhões de litros. Por outro lado o total de suínos abatidos no terceiro trimestre de 2015 foi de 10,18 milhões de cabeças, o estado de Minas Gerais situou-se na 4<sup>o</sup> posição com mais de 1,2 milhões de cabeças abatidas (IBGE, 2015). O contingente de animais necessário para esta produção gera um grande volume de dejetos potencialmente poluentes ao meio ambiente. Este trabalho visou avaliar as características dos afluentes, efluentes e grupos microbianos de interesse no processo de biodigestão anaeróbica dos dejetos bovinos leiteiros e suínos em biodigestores operados em escala piloto. Este estudo foi realizado com oito biodigestores de PVC, operados em contínuo após 15 dias da alimentação inicial, com abastecimento diário nas estações inverno e verão de 2014. A primeira análise para a caracterização dos afluentes e efluentes foi realizada na entrada do biodigestor e mais quatro das saídas, sendo feitas análises físico-químicas e microbiológicas durante os 60 dias de tempo de retenção hidráulico. Os dejetos nas duas estações apresentaram redução de alguns parâmetros físico-químicos desejáveis e aumento de outros. Em relação aos parâmetros microbiológicos, houve redução em todos os grupos microbianos estudados, em ambas as estações, sendo a redução no verão mais significativa que a do inverno. Constatou-se que os dejetos tanto bovinos quanto suínos apresentaram bons resultados, demonstrado a eficiência do sistema, sendo de grande importância ambiental e econômica a aplicação do mesmo nas unidades produtoras de bovinos leiteiros e suínos.

**Palavras chave: Grupos microbianos, dejetos bovinos leiteiros, dejetos suínos, variáveis físico-químicas, biodigestão.**

## ABSTRACT

In Brazil, the livestock has a prominent role in the economy. The volume of processed raw milk in the third quarter of 2015 was 5.9 billion liters, with emphasis on industrialization in Minas Gerais, ranking the first of the Brazilian states, which processed more than 1.5 million liters. On the other hand the total number of pigs slaughtered in the third quarter of 2015 was 10.18 million head, the state of Minas Gerais stood in 4th position with over 1.2 million heads slaughtered (IBGE, 2015). The quota animals required for this production generates a large volume of potentially polluting wastes to the environment. This work aimed to evaluate the features of the tributaries, effluents and microbial groups of interest in the anaerobic digestion process of dairy cattle and swine manure in digesters operated on a pilot scale. This study was conducted with eight PVC digesters operated continuously 15 days after the initial feeding, with daily supply in winter and summer seasons 2014. The first analysis for the characterization of influent and effluent was carried out in digester input and more four outputs, being made physicochemical and microbiological analyzes during the 60 days of hydraulic retention time. The waste in the two stations were down some desirable physicochemical parameters and increase in others. Regarding the microbiological parameters, a reduction in all microbial groups studied, both stations, the reduction being significant in the summer to the winter. It was found that both cattle manure as pigs showed good results, demonstrated the efficiency of the system, is of great economic and environmental importance of the application of the same in the production units of dairy cattle and swine.

Keywords: microbial groups, dairy cattle manure, pig manure, physical and chemical variables, digestion.

## Lista de Ilustrações

Figura 1 Sequencia metabólica e grupos microbianos da biodigestão anaeróbica.	21
Figura 2 Representação dos biodigestores (A) de escala piloto e dos gasômetros (B) usados para avaliação do processo de digestão anaeróbia, operados a temperatura ambiente.	32
Figura 3 Coleta dos dejetos bovinos A e coleta dos dejetos suínos B.	33
Figura 4 Representação da diluição C e separação de sólidos/peneiramento dos dejetos D.	34
Figura 5 Abastecimento A, medida e esgotamento do biogás B e coleta do efluente C.	35
Figura 6 Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos, nas estações inverno e verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	43
Figura 7. Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos, nas estações inverno e verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH	44
Figura 8 Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos suínos, nas estações inverno e verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	44
Figura 9 Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos suínos, nas estações inverno e verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	45
Figura 10 Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos e suínos, na estação inverno em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	45
Figura 11 Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos e suínos, na estação inverno em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	46
Figura 12 Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos e suínos, na estação verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	46
Figura 13. Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos e suínos, na estação verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.	47

## Lista de tabelas

Tabela 1 Perfil dos grupos microbianos, Enterococcus (ENT), Bacilos Gram-Negativos não Fermentadores (BGN NF), Cocos Gram-Positivos Catalase Positiva (CGP/C+), Cocos Gram-Positivos Catalase Negativa (CGP/C), em log UFC/ml, comparativo ente Efluente e Afluente, durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos, nas estações inverno e verão.	42
Tabela 2 Perfil dos grupos microbianos, Enterococcus (ENT), Bacilos Gram-Negativos não Fermentadores (BGN NF), Cocos Gram-Positivos Catalase Positiva (CGP/C+), Cocos Gram-Positivos Catalase Negativa (CGP/C), em log UFC/ml, comparativo ente Efluente e Afluente, durante o processo de biodigestão dos dejetos suínos, nas estações inverno e verão.	43
Tabela 3 Perfil dos parâmetros físico-químicos de pH, acidez e alcalinidade em mg/L, encontrados nas amostras de afluente (entrada do biodigestor) e efluente (saída do biodigestor) durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.	48
Tabela 4 Perfil dos parâmetros físico-químicos, DBO, DQO, Sólidos totais e sólidos voláteis em mg/L, encontrados nas amostras de afluente (entrada do biodigestor) e efluente (saída do biodigestor) durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.	50
Tabela 5 Perfil dos parâmetros físico-químicos, Volume de gás em m <sup>3</sup> , temperatura interna e externa ao biodigestor em °C, encontrados durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.	51
Tabela 6 comparação estatística entre os resultados do volume em m <sup>3</sup> de biogás produzido, nas linhas horizontais com letras minúsculas a comparação entre os dejetos dentro da mesma estação, na linhas verticais com letras maiúsculas a comparação das estações dentro do mesmo dejetos.	53
Tabela 7 Comparação estatística entre os resultados do volume em m <sup>3</sup> de biogás produzido, nas linhas horizontais com letras minúsculas a comparação entre os dejetos dentro da mesma semana, e nas linhas verticais com letras maiúsculas a comparação das semanas dentro do mesmo dejetos.	54

## Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. PRODUÇÃO DE BIOGÁS	14
2.1.1 BOVINOS LEITEIROS	15
2.1.2 SUÍNOS	17
2.2 PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIO	18
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA	21
2.4 DINÂMICA BACTERIANA	23
2.5 MODELO DE BIODIGESTORES E SUA UTILIZAÇÃO	25
2.6 BIOFERTILIZANTE: NUTRIENTES E SUA UTILIZAÇÃO	27
3 OBJETIVOS	31
3.1 OBJETIVO GERAL	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 BIODIGESTÃO ANAERÓBICA	32
4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	35
4.2.1 GRUPOS MICROBIANOS	35
4.2.1.1 ENTEROBACTÉRIAS E BASTONETES GRAM-NEGATIVOS NÃO FERMENTADORES	36
4.2.1.2 COCOS GRAM-POSITIVOS CATALASE POSITIVA	36
4.2.1.2 COCOS GRAM-POSITIVOS CATALASE NEGATIVA	36
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	37
4.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	37
4.3.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	37
4.3.3 SÓLIDOS TOTAIS (ST) E SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV)	38
4.3.4 ALCALINIDADE	39
4.3.5 ACIDEZ VOLÁTIL	39
4.3.6 TEMPERATURAS	40
4.3.7 BIOGÁS	40
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODAS AS FONTES DE VARIAÇÃO	42
5.2 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DOS DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS E SUÍNOS	48
5.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
7 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro vem se desenvolvendo e tornando-se um dos maiores e mais eficientes do mundo. O ramo da pecuária de leite vem se desenvolvendo a cada ano, a aquisição de leite cru feita pelos estabelecimentos que atuam sob algum tipo de inspeção, seja ela Federal, Estadual ou Municipal foi de 5,98 bilhões de litros no terceiro trimestre de 2015. Este número indica queda de 3,9% sobre a quantidade captada no terceiro trimestre de 2014 e aumento de 6,0% sobre o registrado no segundo trimestre de 2015. A justificativa estaria no período de entressafra do produto, aprofundado ainda por fatores climáticos e econômicos adversos. Da aquisição de leite cru, 40,1% foi localizada no Sudeste do país, tendo Minas Gerais 25,8% de participação, a maior nacional, o Sul adquiriu 38,1% de todo o leite, o Centro-Oeste ficou com 12,3%, o Nordeste representou 5,4% de participação, seguido pelo Norte, 4,1% (IBGE, 2015).

Outro ramo importante do agronegócio é a suinocultura. No terceiro trimestre de 2015 foram abatidas 10,18 milhões de cabeças de suínos, representando aumentos de 5,1% em relação ao trimestre imediatamente anterior e de 5,5% na comparação com o mesmo período de 2014. A Região Sul respondeu por 66,6% do abate nacional de suínos, seguida pelas Regiões Sudeste (18,2%), Centro-Oeste (14,0%), Nordeste (1,1%) e Norte (0,1%). No 3º trimestre de 2015 as exportações brasileiras de carne de suíno registraram aumentos de volume *in natura* (IBGE, 2015).

Estes dois seguimentos do agronegócio trabalham com criação dos animais em confinamentos ou em semiconfinamento o que gera grande concentração de resíduos em áreas reduzidas. Os dejetos são geralmente utilizados como fonte de adubação para forragens, mas se aplicado sem tratamento adequado, possuem um alto potencial poluidor (COLDEBELLA, 2006). Estudos recentes destacam a digestão anaeróbia como forma alternativa de utilização dos dejetos da pecuária como insumo energético, o que resulta em geração de biogás e biofertilizante. Alternativas estas promissoras para a geração descentralizada de energia elétrica, contribuição para sustentabilidade da cadeia produtiva e redução da disseminação de bactérias em terras agrícolas (RESENDE, 2013).

Portanto, os dados gerados neste estudo são úteis para demonstrar o comportamento de dois resíduos nas mesmas condições, em biodigestores anaeróbios em escala piloto sendo tratados dejetos de bovinos leiteiros e de suínos, com redução da carga microbiana, da carga poluidora, com geração de gás e biofertilizante, contribuindo para o ambiente e para o desenvolvimento sustentável.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

A elevação do custo de energia é sentida com maior intensidade no meio rural com menor renda e menores condições de arcar com a elevação do preço tanto da energia utilizada para o consumo pessoal quanto utilizada nas atividades de produção da propriedade rural (ESPERANCINI et al., 2007).

Para estes autores uma das alternativas tecnológicas mais promissoras diz respeito ao aproveitamento da biomassa para geração de energia, que propicia uso mais racional dos recursos disponíveis na exploração agrícola, reduz a transferência de renda para outros agentes e diminui a dependência de fontes externas de energia. Nesse sentido, o desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com vistas à geração de energia a custos reduzidos para esse segmento podem gerar impactos sócio econômico positivo.

A modernização e crescimento das atividades agropecuárias visando atender a demanda de alimentos acentuam os impactos ambientais advindos destas atividades. Visando aumentar a produtividade, as atividades relacionadas à pecuária vêm 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 pela aplicação direta nos solos, devido ao alto teor de matéria orgânica e agentes patogênicos do dejetos (MACHADO, 2011).

A biodigestão anaeróbica destaca-se como uma alternativa para o tratamento dos resíduos gerados pela pecuária, obtendo como produto final o biogás, que pode ser usado de diversas formas entre elas a geração de energia elétrica e o biofertilizante, que pode ser usado em culturas para consumo da própria pecuária, diminuindo assim os custos com fertilizantes.

O biogás é composto por metano e outros gases, porém o metano quando lançado na atmosfera tem potencial poluidor 21 vezes maior que o dióxido de carbono no que se refere ao efeito estufa, sendo que sua utilização na geração de energia leva a uma redução do potencial de poluição ambiental (COELHO et al., 2006; BACKES, 2011). Comparado com os combustíveis fósseis, a queima do metano gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, e portanto, é considerado um combustível limpo e o seu uso tende a aumentar (BEUX, 2005; BACKES, 2011). Tal processo representa importante papel para tratamento inicial dos resíduos provenientes da agropecuária (LUCAS 1994). Além de permitir redução do potencial poluente e recuperação da energia, a transformação do efluente é altamente viável, tendo em vista as unidades de produção se localizarem no meio rural (FERREIRA, 2013).

O biogás pode ser usado para a geração de energias elétrica, térmica e mecânica. A principal intenção no uso do biogás é substituir os gases de origem fóssil como o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), usado como gás de cozinha, GN (Gás Natural) usado em equipamentos domésticos e GNV (Gás Natural Veicular). O biogás pode ser empregado nos mais variados tipos de produtos, como em fogões domésticos, lampiões, motores de combustão interna (automóveis) e motogeradores para produção de energia elétrica, geladeiras, chocadeiras, secadores de grãos ou secadores diversos e aquecimento (SILVA, 2011).

A cogeração de energia elétrica se destaca entre as formas de utilização do biogás, devido a sua versatilidade ela pode ser utilizada em todos os equipamentos elétricos de uma propriedade rural, gerando economia e até mesmo autossuficiência.

### 2.1.1 BOVINOS LEITEIROS

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 microrganismos, produzindo ácidos graxos voláteis (AVG) e biomassa

bacteriana, aproveitáveis como energia e proteína (CABRAL et al., 2004; MACHADO, 2011).

O rebanho médio de vacas por propriedade em Minas Gerais é de 25 animais. Considerando-se que cada unidade animal produz 0,98 m<sup>3</sup> de biogás/dia, isto representa 24,5 m<sup>3</sup>/dia/fazenda, gerando 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. 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 tempo de retorno do investimento pode variar de 2,6 até 5,4 anos. Observando os ganhos deste processo, constatou-se que além da economia de energia, há o valor gerado pela produção de biofertilizantes, o qual pode ser utilizado como adubo orgânico nas plantações de diversos alimentos (COLDEBELLA, 2006).

Os resíduos finais da digestão são as fezes e urina, que contém quantidades consideráveis de nutrientes, além de restos de alimentos. Composto os resíduos da produção inclui-se a cama dos animais, solo, água de lavagem ou da chuva, pelos, e outros, constituído como dejetos pela utilização da limpeza hidráulica dos pisos, quase sempre. Esses resíduos precisam ser manejados e tratados corretamente para que os riscos de poluição e contaminação sejam minimizados (MACHADO, 2011).

O dejetos bovinos é um bom substrato para o desenvolvimento da biodigestão anaeróbica, por conter carboidratos, proteínas, gorduras e os microrganismos necessários para dar a partida no processo (AHRING et al., 2001). Estes constituintes serão hidrolisados e fermentados até que ocorra a produção de ácidos graxos de cadeias curtas (como acetato, propionato, butirato, isobutirato entre outros), álcoois e hidrogênio, que na sequência serão convertidos em metano e dióxido de carbono. Os dejetos de ruminantes possuem naturalmente uma maior presença de microrganismos que atuam na biodigestão anaeróbia tornando o processo mais rápido (LUCAS, 1994; FERREIRA, 2013).

### 2.1.2 SUÍNOS

Na atividade pecuária brasileira muitos indicadores econômicos e produtivos apontam para uma maior concentração na produção de suínos, sobretudo na região Sul. A concentração das unidades produtoras em uma mesma região (característica do sistema de integração) e a grande densidade de animais dentro das mesmas representam um desafio que tende a se agravar na suinocultura (AHNA et al., 2006). Os problemas ambientais relacionados com a atividade também se expressam de forma mais intensa em algumas regiões, porém a questão ambiental relacionada com o manejo de dejetos apresenta características que afetam toda e qualquer granja produtora (JÚNIOR et al., 2009).

LUCAS JR (1994) estimou o potencial de produção de biogás a partir de dejetos suínos, usando dados referentes ao plantel da suinocultura no Brasil, em biodigestores modelo batelada, com tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Concluiu que eram produzidos 53.875.092 kg de dejetos por dia, com potencial de produção de 0,1064 m<sup>3</sup> de biogás por kg de dejetos, o que resultou num potencial diário de produção de 5.732.310 m<sup>3</sup> de biogás, equivalente a 191.077 botijões de 13 kg de gás GLP.

O conhecimento das características dos dejetos dos animais é essencial para o projeto dos sistemas de tratamento e para a avaliação das consequências negativas do manejo e da disposição inadequados desse resíduo, como o lançamento direto em cursos d'água, tendo em vista que um apreciável volume produzido e lançado resulta em consequências danosas. Por exemplo, o conjunto das concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P) nos resíduos é o maior responsável pela eutrofização dos cursos d'água, fenômeno que corresponde ao aumento da atividade vegetal aquática com alta demanda de oxigênio (LUCAS JR, 1994; SOUZA et al., 2009).

A suinocultura é reconhecida como atividade de grande potencial poluidor, em razão de gerar efluentes geralmente na forma líquida, com elevada carga de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados, como cobre (Cu) e zinco (Zn) (STEINMETZ et al., 2009). A concentração destes poluentes varia de acordo com o sistema de manejo adotado e, se destinados incorretamente, podem

causar problemas ambientais (PERDOMO et al., 2003; KUNZ, OLIVEIRA 2006; VIVAN et al., 2010).

Com base nas características quantitativas e qualitativas, torna-se evidente a necessidade de tratamento prévio dos resíduos produzidos por suínos para posterior aplicação no solo. A biodigestão anaeróbica pode ser utilizada nesse tratamento, pois, além de reduzir o poder poluente e os riscos sanitários dos dejetos, também gera como subprodutos o biogás e o biofertilizante (ALVAREZ, GUNNAR, 2008). O processo de biodigestão anaeróbica consiste na otimização da degradação da matéria orgânica contida nos dejetos, permitindo, também, a redução das demandas química e bioquímica de oxigênio e de sólidos voláteis, tornando os nutrientes mais disponíveis para as plantas (CÔTÉ et al., 2006; ORRICO et al., 2007; JÚNIOR et al., 2009).

## **2.2 PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIO**

Em 1776 Alessandro Volta, físico Italiano, descobriu o “ar combustível”, formado em sedimentos no fundo de lagos e rios. Oitenta anos mais tarde Reiset, detectou a formação de metano em estrumeiras e propôs o estudo desse tipo de manejo de resíduos para explicar o processo de decomposição anaeróbica. Bechamp, em 1868, concluiu que o gás metano é formado por microrganismos, sendo que em 1875, Popoff, investigou a formação de metano a partir de vários substratos. Em 1890, Van Sensus verificou que a decomposição anaeróbica era feita por vários microrganismos, o mesmo, isolou organismos que produziam hidrogênio, ácido acético e butírico, a partir da celulose. Deduziu também que o metano seria produzido a partir da redução do gás carbônico por hidrogênio (SALOMON, 2007).

No Brasil, não era uma preocupação comum o manejo dos dejetos, porém, recentemente, observa-se um aumento do número de produtores preocupados com a questão. A preocupação ocorre não somente impulsionada pela política do “poluidor pagador” em que são aplicadas multas severas para que sejam adotadas atitudes corretas de manejo, mas também pela política do “protetor recebedor”, que atualmente tem recebido incentivos fiscais, maior visibilidade do mercado mundial, facilidade de obtenção de crédito rural, entre outros benefícios (SILVA, 2009).

A biodigestão anaeróbica é o processo biológico no qual a matéria orgânica é degradada, em condições de anaerobiose e na ausência de luz, até a forma de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Essa mistura de gases é denominada de biogás e pode ser coletada e usada como energia em substituição aos combustíveis fósseis, diminuindo o impacto ambiental causado tanto pela utilização dos combustíveis fósseis quanto pela emissão do CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> na atmosfera (AUGUSTO, 2007).

A digestão anaeróbica é um dos vários processos existentes para tratamento dos resíduos e representa um método atraente por promover a produção do biogás, como fonte de energia alternativa, e do biofertilizante. Além disso, a prática contribui para o saneamento, reduzindo o número de patógenos circulantes no ambiente de produção e no biofertilizante gerado (ORICO et al., 2007).

Durante o processo de degradação de matéria orgânica em condições anaeróbicas, entre 30 e 80% dos sólidos digeríveis são convertidos em biogás que constitui um recurso energético de grandes potencialidades de valorização (SOARES, 2007).

A transformação das macromoléculas orgânicas complexas do dejetos em metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ocorre por várias reações sequenciais e requer a mediação de diversos grupos de microrganismos, os quais desenvolvem metabolismos coordenados e independentes, e contribuem para a estabilidade do sistema, encontrando como substrato, os sólidos voláteis dos dejetos. Este processo desenvolve-se em quatro estágios principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que para cada estágio estão envolvidas diferentes populações microbianas (STEIL, 2001; AUGUSTO, 2007).

Inúmeras espécies bacterianas participam do processo de fermentação da matéria orgânica, desde as etapas da hidrólise até a oxidação dos intermediários. Por fim, a formação de metano é obtida, principalmente, a partir de acetato e H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> por *Arqueas* metanogênicas. Assim, o equilíbrio da interação entre os microrganismos dessa cadeia de degradação é fundamental para a transformação contínua dos intermediários formados e eficiente produção de biogás (SUNDBERG et al., 2013; RESENDE, 2013).

O processo de degradação da matéria orgânica inicia-se com a hidrólise do material presente no efluente, gerando-se compostos mais simples, que possam ser assimilados pelos microrganismos, esta etapa também é chamada de despolimerização (PALMISANO, 2003). Normalmente os compostos orgânicos complexos (polímeros orgânicos) são transformados a monômeros ou dímeros, como açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, etc. Esta conversão é executada por enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas hidrofílicas, chamadas hidrolasas. Na degradação de muitos compostos poliméricos há possibilidade da etapa hidrolítica ser mais lenta que as demais etapas, sendo esta a que limita o processo global de digestão anaeróbica. Os principais fatores que influenciam na hidrólise são: pH, temperatura, tempo de retenção, tamanho e distribuição das partículas (SALOMON, 2007).

Na segunda etapa, a acidogênese, os compostos dissolvidos gerados na hidrólise são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e excretados como substâncias orgânicas simples (ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico e compostos minerais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.). As bactérias envolvidas na acidogênese são importantes na remoção de oxigênio dissolvido, presente no material em fermentação (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; AUGUSTO, 2007).

Na acetogênese os produtos formados anteriormente são oxidados para acetato, hidrogênio e gás carbônico, com o objetivo de fornecer substrato apropriado aos microrganismos metanogênicos. Em geral isto acontece a partir de dois mecanismos: o primeiro a acetogênese de hidrogenação que produz ácido acético como um só produto final de fermentação de hexose ou de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  e, o segundo chamado de acetogênese de desidrogenação que converte os ácidos graxos de cadeia curta e longa em ácido acético por um grupo de bactérias acetogênicas. O grupo bacteriano desta etapa tem um crescimento relativamente lento, tempo de duplicação mínimo de 1,5 a 4 dias. As reações que produzem são muito mais complexas energeticamente e são interrompidas facilmente por acúmulo de gás hidrogênio dissolvido no meio (SALOMON, 2007).

No último estágio da biodigestão anaeróbica, a metanogênese, ocorre a formação de metano a partir da redução de ácido acético e hidrogênio pelas bactérias metanogênicas. As bactérias metanogênicas dividem-se em decorrência da afinidade entre o substrato e a produção de metano em: metanogênicas acetoclásticas, aquelas utilizadoras de acetato; e metanogênicas hidrogenotróficas, utilizadoras de hidrogênio (AUGUSTO, 2007). As etapas do processo de biodigestão demonstram-se sequenciais como nos mostra a figura 1.

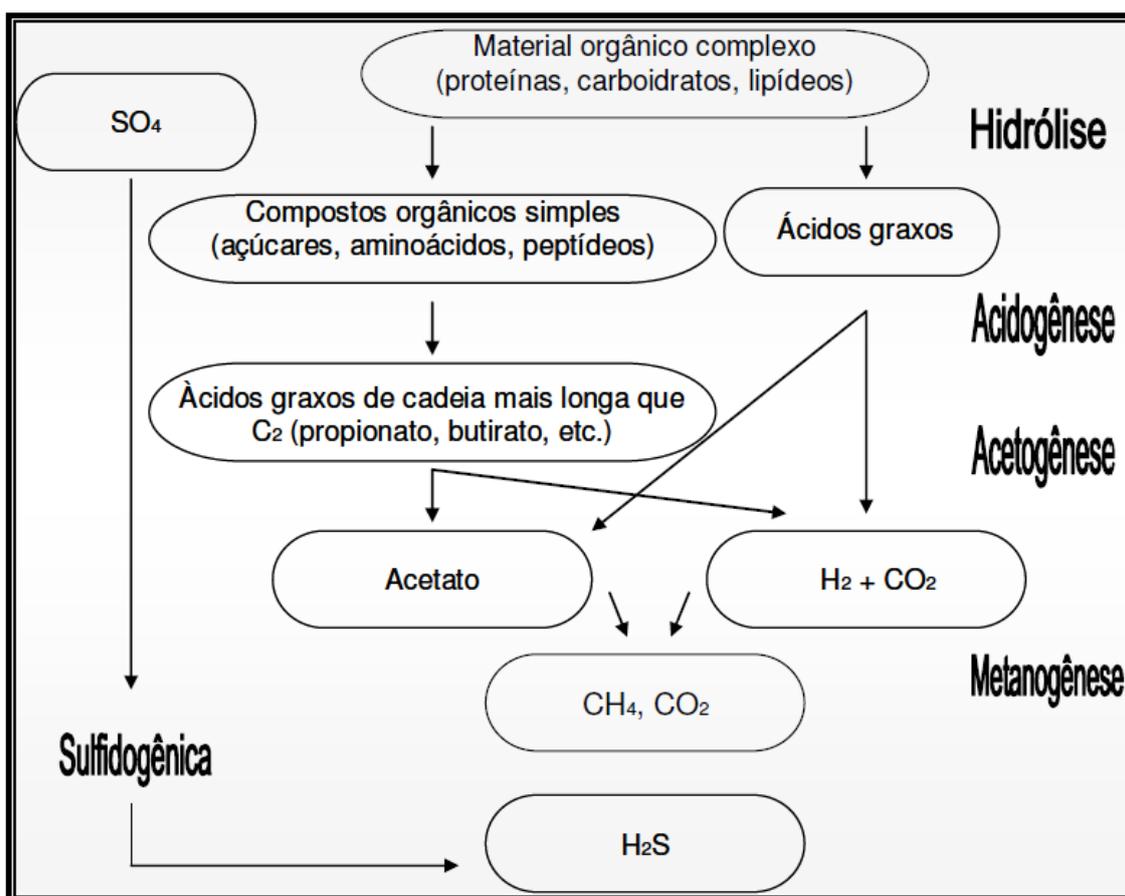


Figura 01 - Sequencia metabólica e grupos microbianos da biodigestão anaeróbica (adaptado de FORESTI et al., 1999; Rivera-Ramirez et al. citado por IAMAMOTO, 1999)

Todos estes estágios anteriores começam na obtenção do gás metano em torno de 50 a 70% do total de biogás, o gás carbônico em torno de 25 a 45%, 5% dos demais gases como hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e gás sulfídrico, entre outros gases, além do biofertilizante.

## **2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA**

A biodigestão anaeróbica, como em qualquer processo biológico, depende de alguns fatores que, se não forem respeitados, podem levar ao fracasso do sistema e consequentes perdas dos potenciais energéticos contidos nos dejetos. Em se tratando dos dejetos de animais, a preocupação principal durante muito tempo era com relação às condições do meio, tempo de retenção e os teores de sólidos aos quais estes biodigestores eram submetidos. Com o passar do tempo, surgiu a necessidade de se conhecer também a qualidade do sólido e como isto pode interferir no desempenho dos reatores. Alguns estudos, entre os quais o de Orico et al. (2007), demonstram que existe relação direta entre a qualidade dos dejetos gerados pelos animais e a produção de biogás, evidenciando que somente a quantidade de fração volátil (ou orgânica) não se mostrou suficiente para determinar a qualidade dos substratos. Dessa forma, torna-se necessária uma avaliação mais profunda dos diversos constituintes dos resíduos, pois cada um apresenta diferentes taxas de degradação, de forma a acelerar a produção de biogás, quando de degradação rápida, ou retardando, quando de difícil degradação.

A dieta a que os animais são submetidos é a principal responsável pela grande variação existente entre os potenciais de produção encontrados nos experimentos de biodigestão, onde, na maioria das vezes, o ingrediente de maior proporção da dieta é o que determina a qualidade final do resíduo (JÚNIOR et al., 2010).

Os processos anaeróbios sofrem interferências de mudanças ambientais, sendo necessário controlar os fatores que afetam a atuação das bactérias envolvidas no processo de degradação, possibilitando, dessa forma a otimização da eficiência do sistema de tratamento dos resíduos orgânicos. Quando esses fatores são devidamente monitorados, podem contribuir para a otimização da atividade bacteriana, aumentando assim a produção de metano. Dentre os fatores de interferência na digestão anaeróbica pode-se destacar, o pH, a alcalinidade, os ácidos voláteis e a composição do resíduo - presença de nutrientes e a ausência de materiais tóxicos (VERSIANI, 2005; OLIVEIRA, 2012).

A temperatura também influencia diretamente na produção de biogás e por consequência a velocidade das reações no biodigestor. As bactérias envolvidas no processo são em sua maioria mesofílicas com sua temperatura ótima entre 30 e 35°C. Segundo SOUSA et al (2007), em seu experimento em ambiente controlado com temperaturas de 25, 35, 45 e 50°C, a temperatura na qual houve maior produção de biogás foi de 35°C. Ainda para estes autores o tempo de retenção hidráulico também influencia na produção do biogás, a maior produção foi verificada com 25 dias de retenção hidráulica.

Agentes químicos, físicos e orgânicos, como antibióticos dificultam o processo de fermentação pela sua ação bactericida, assim como agentes de limpeza, detergentes e sanitizantes, pesticidas agem sobre as bactérias envolvidas no processo. Todos os resíduos inibidores dos microrganismos envolvidos no processo, que por ventura possam ir para o biodigestor devem ser evitados, afim de não prejudicar o processo de fermentação.

## **2.4 DINÂMICA BACTERIANA**

Na biodigestão anaeróbia os protagonistas deste processo são os microrganismos dos dejetos da pecuária, os quais agem nas diversas etapas do processo como, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Para a obtenção do CH<sub>4</sub> as principais responsáveis são as arqueas metanogênicas que agem na metabolização do acetato, hidrogênio (H<sub>2</sub>) e CO<sub>2</sub>.

No processo de biodigestão existem quatro etapas, na primeira etapa a hidrólise, bactérias fermentativas hidrofílicas excretam enzimas extracelulares que degradam compostos mais complexos em monômeros ou dímeros ácidos orgânicos, açúcares, aminoácidos etc.

Na segunda etapa a acidogênese, existe um grupo de bactérias as acidogênicas além de outros microrganismos como protozoários e fungos. As bactérias possuem um tempo de geração rápido de 30 minutos. Os monômeros e dímeros são metabolizados em CO<sub>2</sub>, álcoois, H<sub>2</sub>, ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico e ácidos graxos voláteis.

Na acetogênese, terceira etapa, as bactérias acetogênicas, possuem um ciclo de duplicação de 1,5 a 4 dias, sendo considerado seu tempo de

crescimento relativamente lento, realizam a conversão de ácidos graxos de cadeia curta e longa, hexose, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em ácido acético.

A última etapa a metanogênese ocorre em dois processos, um feito pelas arqueas hidrogenotróficas, que se desenvolvem rapidamente, com ciclo de crescimento de 6 horas, fazendo a metabolização do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> em CH<sub>4</sub>, o segundo passo feito pelas arqueas acetoclásticas que possuem um tempo de duplicação de 2 a 3 dias, sendo considerado de crescimento lento, as quais metabolizam o acetato produzindo CH<sub>4</sub> (SALOMON, 2007).

Na digestão anaeróbica de dejetos da pecuária a temperatura ambiente pode suportar uma ampla gama de microrganismos dos diferentes domínios (*Bactéria* e *Arqueas*). Assim, este potencial de variabilidade torna a identificação dos fatores que determinam a estrutura populacional um vasto campo a ser analisado. Para uma melhor compreensão da biomassa utilizada por meio da tecnologia de digestão anaeróbica, o conhecimento da estrutura, abundância e dinâmica das comunidades microbianas presentes são extremamente importantes para o aumento do conhecimento e da previsão dos processos de tratamento de dejetos de animais, permitindo aumentar assim o seu desempenho. A partir deste conhecimento é possível avaliar as possíveis interações cooperativas entre os diversos grupos de microrganismos responsáveis pelas distintas partes do processo de digestão anaeróbica e as possíveis mudanças durante a fermentação devido à variação das temperaturas ambientais (RESENDE, 2013).

A temperatura do processo de biodigestão tem interferência direta no equilíbrio bacteriano dentro do biodigestor e sua produção de metano. Quanto maior a temperatura maior a produção de gás, não sendo na mesma proporção o aumento. As bactérias metanogênicas são mais sensíveis a alteração de temperatura, no entanto possuem a capacidade de se adaptar a essas alterações, mantendo assim seu metabolismo (CHAE et al., 2008).

Analisando grupos de microrganismos envolvidos no processo de biodigestão anaeróbica em diversos países identificou-se 97,8% do domínio *Bactéria*, e 2,2% do domínio *Arqueas*. Na verificação entre as estações inverno e verão observou-se uma alteração no domínio *Bactéria* entre os filos encontrados, provavelmente pela variação de temperatura, podendo também

ser causado por nutrientes ou inibidores. No domínio *Arqueas* foram encontrados dois filos com maior abundância, um predominou no verão e no inverno houve um equilíbrio entre os mesmos (RESENDE, 2013).

Ao analisar microbiologicamente o biofertilizante de dejetos da pecuária, gerado por biodigestor com 30 dias de tempo de retenção hidráulico não foi encontrado reduções significativas de coliformes totais e coliformes termo tolerantes, necessitando assim de um tempo maior para que haja uma redução significativa (SOUZA et al., 2012).

Segundo Fernandes et al (2014), a fermentação anaeróbica de resíduos com tempo de retenção hidráulico de 60 dias, proporciona uma redução parcial na contagem bacteriana potencialmente patogênica dos resíduos, apontando ser necessário um aumento no tempo de retenção hidráulico objetivando a produção de um biofertilizante com contagem microbiana reduzida, podendo ser utilizado como adubo para cultivos e pastagens.

Deve-se ressaltar, que as pastagens ou cultivos onde for aplicado o efluente final utilizado como biofertilizante, deverá ser respeitado um período de quarentena, que consiste na pastagem ou cultivo ficar isolada por 20 dias para que não haja a contaminação dos animais ou pessoas que consumam do alimento produzido pelo cultivo o qual foi adubado pelo biofertilizante (DANIEL, 2015).

A modernização e o crescimento das atividades agropecuárias buscando atender a demanda de alimentos podem acentuar os impactos ambientais (ROVER et al., 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 e o nível de produção das vacas. 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 (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 (2012) complementa que altos níveis de nitrogênio e fósforo lançados em águas superficiais podem causar a eutrofização dos corpos hídricos, 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.

A adoção de práticas que reduzem ao mínimo a transferência de contaminantes é de importância fundamental em sistema de produção, pois estes dejetos podem conter diversas bactérias potencialmente patogênicas. Além disso, a existência 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 (SINTON, 2007). Sendo assim, os efluentes provenientes da pecuária podem oferecer grande risco a natureza e aos humanos se a sua carga microbiana potencialmente patogênica não for controlada adequadamente.

## **2.5 MODELOS DE BIODIGESTORES E SUA UTILIZAÇÃO**

Um biodigestor é uma câmara fechada, que não permite a entrada de ar, onde a biomassa sofre a digestão por microrganismos anaeróbios, produzindo gás. Pode ser construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é colocado o material a ser digerido (ALVES et al., 2010). Os biodigestores mais conhecidos e utilizados no Brasil são os modelos Indiano, Chinês e o Canadense.

O modelo de biodigestor Indiano pode ser considerado o modelo mais popular para resíduos rurais. Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula móvel como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação; e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, acarretando a movimentação do resíduo por todo o biodigestor. O modelo Indiano, possui pressão interna constante, pois quando o biogás é produzido e não é consumido, a campânula expande-se, aumentando o volume destinado para o armazenamento do biogás, garantindo que a pressão não se altere (DEGANUTTI et al., 2002; OLIVEIRA, 2012).

O modelo Chinês é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo pode ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobadado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (DEGANUTTI et al., 2002).

O biodigestor modelo canadense é um modelo tipo horizontal, com sentido de fluxo tubular, apresentando uma geometria retangular, construído em alvenaria ou lona vinílica 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 & 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; DANIEL, 2015).

Há uma carga contínua de resíduos e também uma produção constante de biofertilizante e biogás. Este modelo possui uma caixa de entrada de resíduos e uma caixa de saída do biofertilizante e o próprio substrato contido no biodigestor é responsável por parte da vedação do sistema. É indicado quando se possui uma quantidade de resíduos produzida de forma mais constante na propriedade (dejetos suíno e bovino, por exemplo) (ALVES et al., 2010).

No Brasil, o modelo de biodigestor mais utilizado atualmente é o modelo Canadense (HAACK, 2009; KARQUÍDIO, 2009). Esse modelo com cobertura de lona vinílica, em substituição às campânulas (metálica ou de fibra de vidro), vem sendo o mais implantado comparado aos outros modelos, devido aos menores custos e facilidade de implantação (LINDEMEYER, 2008; OLIVEIRA, 2012).

Todos os modelos de biodigestores são utilizados a fim de implementar saneamento rural, com conseqüente ganhos para as propriedades, como consumo direto do biogás e a gerações de energia elétrica e de biofertilizante.

## **2.6 BIOFERTILIZANTE: NUTRIENTES E FORMAS DE APLICAÇÃO**

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 sofrer o processo de fermentação anaeróbica, é utilizada novamente para a mesma lavagem, maximizando a concentração dos nutrientes no efluente (SANTOS, 2001)

No Brasil, estudos envolvendo o uso de biodigestores têm sido utilizados em duas principais vertentes: tratamento de efluentes e uso energético do biogás. Existe uma terceira vertente importante relacionada ao uso do efluente para melhorar a fertilidade de solo e, com isso, aumentar a sustentabilidade do sistema produtivo (SILVA et al., 2012).

Os biofertilizantes possuem compostos bioativos, resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são encontradas células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo aeróbico, anaeróbico (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) e também metabólitos e quelatos organominerais em solutos aquosos. Segundo

Santos, Akiba (1996), os metabólitos são compostos de proteínas, enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres e ácidos, inclusive de ação fito-hormonal produzidos e liberados pelos microrganismos (MEDEIROS, LOPES, 2006).

O biofertilizante produzido nos biodigestores anaeróbicos é um efluente líquido que, após a fermentação das bactérias no interior do equipamento, pode alterar benéficamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Pode, ainda, melhorar a capacidade de retenção de água, por ser uma matéria orgânica, além de possuir macronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Como forma de adequação e utilização do biofertilizante nas diversas culturas agrícolas, Konzen (2009), ressaltou que é imprescindível o conhecimento da sua qualidade a partir da sua composição, pois o “conhecimento destes valores permite calcular a adubação para cada cultura a ser feita, baseando-se na produtividade pretendida” (NASCIMENTO, 2010).

Os efeitos do biofertilizante no controle de pragas e doenças de plantas têm sido bem evidenciados. Efeitos fungistático, bacteriostático e repelente sobre insetos já foram constatados. Santos, Sampaio (1993), verificaram uma propriedade coloidal do biofertilizante que provoca a aderência do inseto sobre a superfície do tecido vegetal. Os autores destacaram também o efeito repelente de alimentação contra pulgões e mosca-das-frutas. Medeiros, Lopes (2006) verificaram que o biofertilizante a base de conteúdo de rúmen bovino e composto orgânico Microgeo® reduziram a fecundidade, período de oviposição e longevidade de fêmeas do ácaro-da-leprose dos citros, *Brevipalpus phoenicis*, quando pulverizado em diferentes concentrações. O estudo comprovou que o biofertilizante agiu por contato direto e residual e também funcionou de forma sistêmica na planta. Esses mesmos autores comprovaram que este biofertilizante agiu sinergicamente com *Bacillus thuringiensis* e o fungo *Beuveria bassiana*, reduzindo a viabilidade dos ovos e sobrevivência de larvas do bicho-furão-dos-citros (*Ecdyolopha aurantiana*) (MEDEIROS, LOPES, 2006).

A aplicação de biofertilizante líquido, via foliar, reduz em grande parte, os problemas fitossanitários atuando em várias pragas e moléstias. Ao utilizar biofertilizante líquido em condição de laboratório, verificou-se que o mesmo

inibiu a germinação de esporos de fungos fitopatogênicos como *Colletrotrichum gloesporioides*, *Thielaviopsis paradoxa*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus sp*, *Cladosporium sp* e *Fusarium*. Observou-se também o controle de *Thielaviopsis paradoxa* em toletes de cana e o controle da fusariose em abacaxizeiro (COLLARD, 2008).

Uma das principais vantagens do uso de biofertilizantes na agricultura é o baixo custo. Estes não geram problemas quanto à acidez e degradação do solo, como ocorre com o uso de fertilizantes de origem química. Barreira (2003) comenta que o pH médio do biofertilizante é de 7,5, ou seja, levemente alcalino, fator que pode reduzir a acidez do solo e ajudar no aumento da produtividade (BARBOSA, LANGER, 2011).

Por outro lado é necessário ter um cuidado especial com a utilização de biofertilizantes oriundos de biodigestores anaeróbicos, pois os mesmos podem conter patógenos com resistência antimicrobiana, por ventura causando contaminação do solo e da pastagem (RESENDE et al., 2014).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar físico-química e microbiologicamente os afluentes e efluentes no processo de biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos e de bovinos leiteiros considerando o tempo de fermentação e a estação do ano.

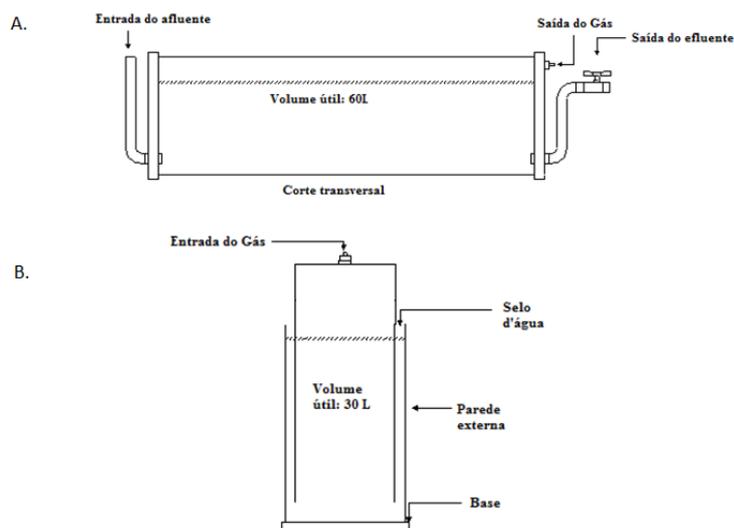
#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar as variáveis microbiológicas dos afluentes e efluentes de biodigestores em escala piloto operados com dejetos de suínos e de bovinos.
- Avaliar as variáveis físico-químicas dos afluentes e efluentes de biodigestores em escala piloto operados com dejetos de suínos e de bovinos.
- Verificar a interferência do tempo de biodigestão anaeróbica na prevalência de grupos microbianos identificados envolvidos no processo de fermentação.
- Verificar a interferência da sazonalidade (inverno / verão) na biodigestão anaeróbica na prevalência de grupos microbianos identificados envolvidos no processo de fermentação.
- Comparar as diferenças e prevalência de grupos microbianos na biodigestão anaeróbica dos dejetos de suínos e de bovinos.
- Verificar a comparar a produção de biogás, dos dejetos nas estações inverno e verão.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

Foram utilizados biodigestores confeccionados em PVC, formato cilíndrico e com volume médio de 60L. Para condicionamento do gás foi utilizado gasômetros individuais, com volume de 30L, funcionavam em conjunto com os biodigestores unidos por mangueira plástica. Foram utilizados um total de oito biodigestores, sendo quatro para os dejetos de bovinos e quatro para dejetos suínos, que foram acondicionados ao ar livre na sede da EMBRAPA Gado de leite no município de Juiz de Fora, agrupados lado a lado de forma que a luz solar fosse a mais homogeneia o possível em todos. Os ensaios foram realizados em dois períodos do ano de 2014, inverno e verão, as amostras foram coletadas a cada 15 dias para realização das análises. O tempo total do experimento em cada estação foi de 60 dias. O biodigestor utilizado no experimento segue o modelo expresso na figura 2.



**Figura 2.** Representação dos biodigestores (A) de escala piloto e dos gasômetros (B) usados para avaliação do processo de digestão anaeróbia, operados a temperatura ambiente.

Os dejetos utilizados para abastecimento dos biodigestores, foram coletados no Instituto Federal Sudeste de Minas, Campus Rio Pombo, no Departamento de Zootecnia, acondicionados em tambor plástico revestido internamente por saco plástico e transportado até a sede da EMBRAPA gado de leite, onde foram diluídos em água e peneirados para remover as partículas não diluídas e corpos estranhos, com a finalidade de obter um dejetos com em

torno de 6% de sólidos totais. O material foi acondicionado sob refrigeração para posteriormente ser utilizado para o abastecimento diário dos biodigestores. Os dejetos de bovinos leiteiros foram provenientes de 40 vacas leiteiras no inverno e 40 no verão, os de suínos eram provenientes de 20 matrizes no inverno e 20 no verão. A coleta dos dejetos, diluição e peneiramento foram realizados conforme as figuras 3 e 4.



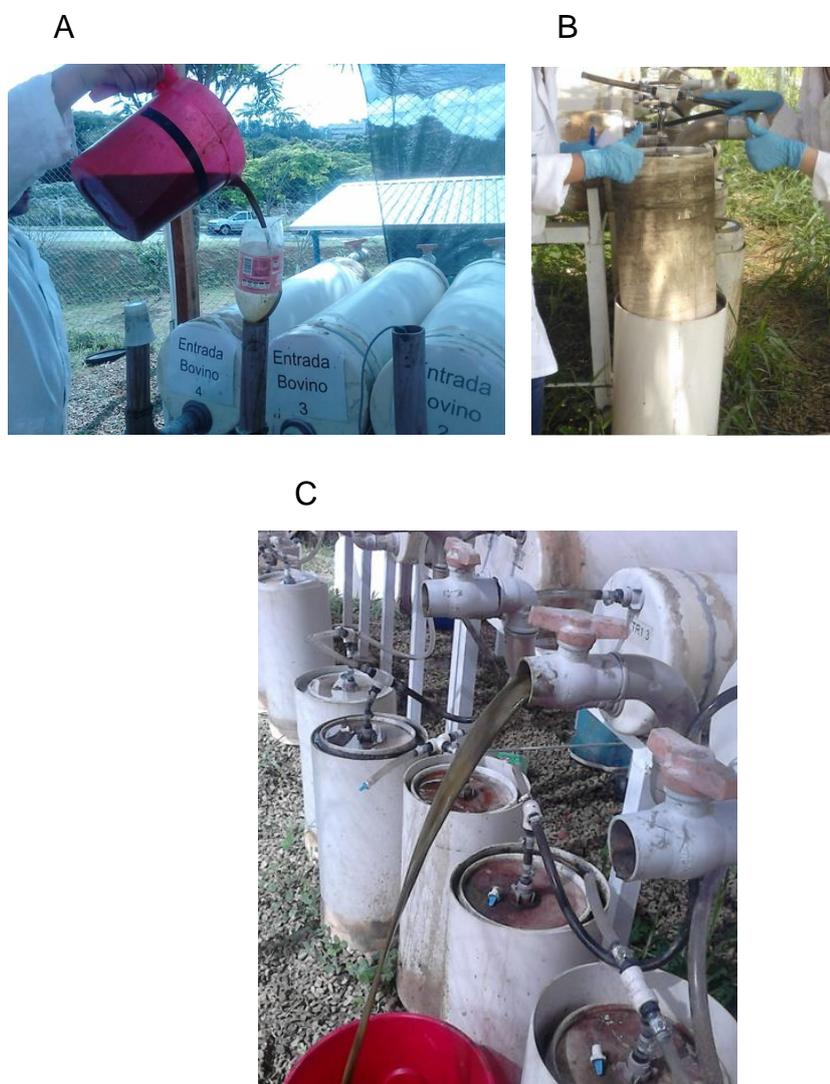
**Figura 3.** Coleta dos dejetos bovinos A e coleta dos dejetos suínos B.



**Figura 4.** Realização da diluição C e separação de sólidos/peneiramento dos dejetos D.

Os biodigestores foram abastecidos com dejetos diluídos até preencher quase todo o recipiente, mantendo um espaço para o biogás. Coletou-se uma amostra composta do afluente de cada dejetos para realização das análises físico-químicas e microbiológicas. Após 15 dias e a partir do teste de chama positivo, iniciou-se o abastecimento diário de 2L em cada biodigestor, e a retirada do efluente. Foi coletada amostra composta de cada dejetos para

análise, assim como a medida do gás produzido no gasômetro e o esgotamento do mesmo. O processo de abastecimento decorreu durante 60 dias assim como a medida e esgotamento do gás produzido. As análises dos dejetos foram realizadas uma na entrada do biodigestor (afluente) tempo 1, após 15 dias na saída do biodigestor (efluente) tempo 15, e assim sucessivamente a cada 15 dias. Portanto amostras compostas dos efluentes dos biodigestores foram coletadas nos tempos 30, 45 e 60 dias. A última coleta, totalizou 60 dias de tempo de retenção hidráulico (TRH). Os procedimentos de abastecimento, coleta do gás produzido e coleta do efluente foram realizados conforme a figura 5.



**Figura 5.** Abastecimento A, medida e esgotamento do biogás B e coleta do efluente C.

## 4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As amostras compostas dos afluentes e dos efluentes dos biodigestores em escala piloto nas estações (inverno e verão) foram coletadas e processadas.

As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Rúmen na sede da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora-MG.

Foram realizadas diluições seriadas das amostras de  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  em solução salina (0,9%NaCl), as diluições foram fixadas nestes valores por atender os objetivos do experimento. Estas foram homogeneizadas e, a partir destas diluições, alíquotas de 0,1 ml foram semeadas com auxílio de alça de Drigalski, em duplicata e realizadas a contagem padrão de microrganismos nos seguintes meios de cultura seletivos aeróbios: Ágar Eosina Azul de Metileno (EMB), para contagem total de colônias fermentadoras (família *Enterobacteriaceae*) - e não fermentadoras de lactose (ENT e BGN NF, respectivamente), Ágar Hipertônico Manitol (MAN), para contagem de cocos Gram-positivos/catalase positivo (CGP/C+), como *Staphylococcus* spp. e em Ágar Bile Esculina (BE), 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).

### 4.2.1 GRUPOS MICROBIANOS

Foram analisados alguns grupos microbianos para o isolamento de potenciais patógenos humanos de interesse, como *Enterococcus*, bastonetes Gram-negativos anaeróbios facultativos da família *Enterobacteriaceae* (ENT), bastonetes Gram-negativos não fermentadores e anaeróbios estritos (BGN NF),

Cocos Gram-positivo Catalase Positiva (CGP/C+), Cocos Gram-positivo Catalase Negativa (CGP/C-) dos gêneros *Staphylococcus* e *Streptococcus*.

#### 4.2.1.1 ENTEROBACTÉRIAS E BASTONETES GRAM-NEGATIVOS NÃO FERMENTADORES

Para a verificação dos grupos microbianos de interesse, foram realizadas diluições  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ . As diluições foram realizadas em capela de fluxo laminar VECO®, onde foram adicionadas nas placas de petri Sterile® contendo o meio EMB preparado anteriormente e esterilizado da HIMEDIA®. Foram adicionados um microlitro de cada diluição em duplicata nas placas, posteriormente acondicionadas em estufa TECNAL® a 37°C por 24h. O meio EMB foi utilizado com o objetivo de identificar os grupos ENT e BGN NF da família *Enterobacteriaceae*,

Após o período de incubação, foi realizada a contagem das colônias nas placas, com o auxílio do contador de colônias Pholenix®, os resultados obtidos foram convertidos em UFC/ml e log de UFC/ml.

#### 4.2.1.2 COCOS GRAM-POSITIVOS CATALASE POSITIVA

Com intuito de verificar o grupo microbiano CGP/C+, foram realizadas diluições  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ . As diluições foram realizadas em capela de fluxo laminar VECO®, onde foram adicionadas nas placas de petri Sterile® contendo o meio MAN HIMEDIA® preparado anteriormente e esterilizado. Foram adicionados um microlitro de cada diluição em duplicata nas placas, posteriormente acondicionadas em estufa TECNAL® a 37°C por 24h. O meio MAN foi utilizado com o objetivo de identificar o grupo CGP/C+ como *Staphylococcus* spp.

Após o período de incubação, foi realizada a contagem das colônias nas placas, com o auxílio do contador de colônias Pholenix®, os resultados obtidos foram convertidos em UFC/ml e log de UFC/ml.

#### 4.2.1.3 COCOS GRAM-POSITIVOS CATALASE NEGATIVA

Objetivando a identificação do grupo microbiano CGP/C-, foram realizadas diluições  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ . As diluições foram realizadas em capela de fluxo laminar VECO®, onde foram adicionadas nas placas de petri Sterile® contendo o meio BE preparado anteriormente e esterilizado da HIMEDIA®. Foram adicionados um microlitro de cada diluição em duplicata nas placas, posteriormente acondicionadas em estufa TECNAL® a 37°C por 48h. O meio BE foi utilizado com o objetivo de identificar os grupos CGP/C- como *Enterococcus* spp.

Após o período de incubação, foi realizada a contagem das colônias nas placas, com o auxílio do contador de colônias Pholenix®, os resultados obtidos foram convertidos em UFC/ml e log de UFC/ml.

### 4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Foram coletadas amostras compostas de cada dejetos no afluente dos biodigestores durante o primeiro dia de abastecimento. Após 15 dias foram feitas coletas de amostras compostas do efluente dos 4 biodigestores de cada dejetos. As amostras de efluentes foram coletadas quinzenalmente até completar 60 dias de tratamento dos dejetos.

As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do rúmen na sede da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora-MG. Foram realizadas as análises de DBO, DQO, teores de sólidos voláteis, sólidos totais, pH, alcalinidade e acidez volátil.

#### 4.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A determinação da demanda bioquímica de oxigênio foi realizada nos afluentes e efluentes de ambos dejetos. Foram feitas as diluições 1:25 e 1:30 em frascos Hach®. As amostras foram incubadas em BOD digital Cielab®, nos frascos sob agitação no equipamento BODTraK® por 5 dias a 20°C. Após este período, foi efetuada a leitura do oxigênio dissolvido nas amostras pelo equipamento BODTraK® e multiplicada pelo valor da diluição. O valor da DBO foi determinado segundo a metodologia descrita por APHA (2005).

#### 4.3.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

O parâmetro da demanda química de oxigênio foi determinada nos afluentes e efluentes de ambos dejetos. Foram utilizados equipamentos e reagentes HANNA®, foram feitas diluições de 1:50 e 1:100 das amostras adicionadas em tubos de ensaio já com o reagente. A mistura foi aquecida no equipamento Termo Reator a 150°C por 2h, após o resfriamento das amostra a 120°C efetuou-se a leitura no equipamento Fotômetro Multiparâmetro. O valor da DQO foi determinado segundo a metodologia descrita por APHA (2005).

#### 4.3.3 SÓLIDOS TOTAIS (ST) E SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV)

Para determinação do teor de sólidos totais, as amostras dos afluentes e efluentes de ambos dejetos foram acondicionadas em recipientes de vidro, previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (PU) do material. Após a pesagem, as amostras foram acondicionadas 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 inseridas 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-cinzas

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

PU = peso úmido da amostra (g)

Pm = peso obtido após queima (mufla) (g)

#### 4.3.4 ALCALINIDADE

O parâmetro alcalinidade foi verificado por meio de titulação das amostras de ambos os dejetos com solução de ácido sulfúrico 1N até pH 4,30. Esta análise foi realizada 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 à presença de ácidos voláteis.

No qual:

$A = N \times V_1 \times 50000 / V_2$

A = Alcalinidade

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

V<sub>1</sub> = Volume gasto da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

V<sub>2</sub> = Volume da amostra

Valor final expeço em mg CaCO<sub>3</sub>/L

#### 4.3.5 ACIDEZ VOLÁTIL

A determinação de ácidos voláteis foi realizada nos afluentes e efluentes por titulometria. Esta análise foi baseada no volume de hidróxido de sódio 1N consumido para elevar o pH da amostra até 8,3.

No qual:

$$A = N \times V_1 \times 50000 / V_2$$

A = Acidez volátil

N = Normalidade da solução NaOH

V<sub>1</sub> = Volume gasto da solução NaOH

V<sub>2</sub> = Volume da amostra

Resultado final expeço em mg CaCO<sub>3</sub>/L

#### 4.3.6 TEMPERATURA

A determinação das temperaturas durante todo processo fermentativo nos dejetos bovinos e suínos nas duas estações, foi realizada em diferentes pontos. A temperatura foi determinada dentro de um biodigestor de cada dejetos e externa aos biodigestores. Estas medidas foram realizadas utilizando o equipamento data logger onset®, com sensores ligados em três pontos distintos, dentro de um dos biodigestores com dejetos bovinos, outro dentro de um dos biodigestores com dejetos suíno e o terceiro ponto externo aos biodigestores, conectados ao equipamento sendo realizado em um intervalo de tempo de 2h. Após o decorrer, todo o TRH os dados coletados e armazenados pelo equipamento, foram transferidos do mesmo para o computador, sendo utilizado um programa específico chamado *HOBOWare*®, que permitiu a verificação da leitura das temperaturas coletadas em graus Célsius (°C).

#### 4.3.7 BIOGÁS

Para verificar o volume de gás produzido, utilizou-se um equipamento chamado de gasômetro, o qual consiste em um êmbolo imerso em água

(Figura 5). A medida que o gás era formado o êmbolo se deslocava para cima, a medida do volume foi realizada por uma régua acoplada ao êmbolo, havendo uma correlação em cada centímetro medido a litro (L) de gás contido no recipiente, com posterior conversão para metros cúbico (m<sup>3</sup>) as medidas foram realizadas diariamente antes do abastecimento dos biodigestores.

No qual:

$$V = V_T \times D_m / C_T \qquad V = \text{volume em litros}$$

$V_T$  = volume total do êmbolo

$D_m$  = deslocamento da régua medido.

$C_T$  = Comprimento total da régua.

#### **4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Com intuito de analisar a produção de biogás em biodigestores de escala piloto abastecidos com dejetos de bovinos leiteiros e de suínos, foram coletadas amostras do gás formado em oito biodigestores, sendo quatro bovinos e quatro suínos, nas estações inverno e verão no decorrer de 60 dias de TRH. Cada ponto de coleta foi tratado independentemente.

Os dados foram analisados pelo programa SISVAR-UFLA (FERREIRA, 2003), e foram comparados utilizando o delineamento em Esquema Fatorial e o teste T LSD para comparação das medias. Foram comparados os volumes produzidos de cada dejetos nas estações inverno e verão, comparado a evolução da produção de cada dejetos no decorrer das semanas e entre os dejetos dentro da mesma estação.

O nível de significância estabelecido no teste foi de  $p < 0,05$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS DEJETOS BOVINOS E SUÍNOS NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIO

Os microrganismos são os atores principais do processo de biodigestão anaeróbio, agindo em diferentes fases do processo, como hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, completando assim todo o processo de biodigestão, com diferentes grupos microbianos como ENT, BGN NF, CGP/C+, CGP/C- (Tabela 1).

**Tabela 1:** Perfil dos grupos microbianos, Enterobactérias (ENT), Bacilos Gram-Negativos não Fermentadores (BGN NF), Cocos Gram-Positivos Catalase Positiva (CGP/C+), Cocos Gram-Positivos Catalase Negativa (CGP/C), em log UFC/ml, comparativo ente afluente e efluente, durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos, nas estações inverno e verão.

	Inverno				Verão			
	ENT	BGN/NF	CGP/C+	CGP/C-	ENT	BGN/NF	CGP/C+	CGP/C-
Afluente	8,38	5,93	7,23	7,31	10,2	10,5	7,09	6,95
Efluente	5,48	5,06	4,08	5,38	2,3	5,65	4,08	4,19

Com os resultados constatou-se observar que houve redução em todos os grupos microbianos nas duas estações entre os efluentes e afluentes durante os 60 dias de TRH. O grupo microbiano ENT no verão obteve a maior redução, conforme (Tabela 1).

Em todos os biodigestores durante todo processo de biodigestão, foram encontrados maiores abundância do filo firmicutes (bactérias Gram-positivas), comparando as estações inverno e verão, no verão representado 51,9 a 57,2% do total de bactérias encontrada nos biodigestores e no inverno 48,0 a 45,5% (RESENDE et al, 2015)

Trabalho realizado por Daniel (2015) mostrou diferença significativa na redução dos grupos microbianos ao comparar afluente e efluente no inverno e verão.

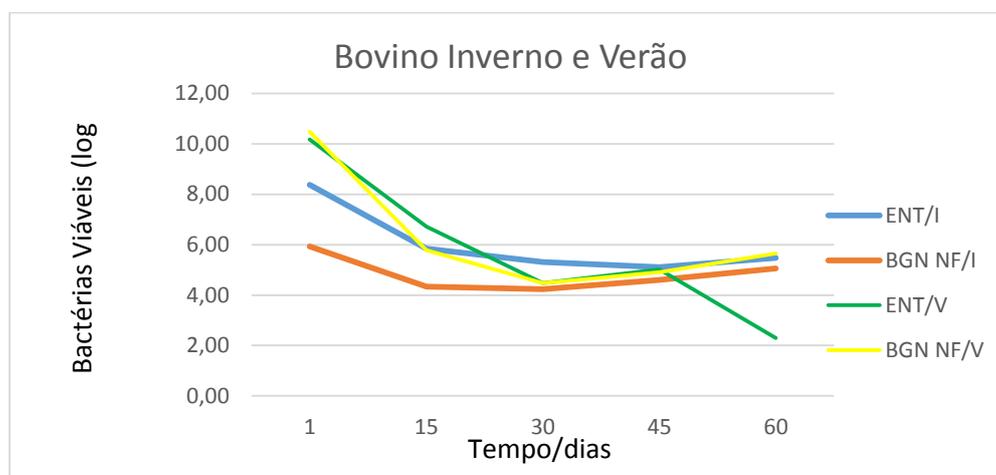
Perfil dos grupos microbianos nos dejetos suínos (Tabela 2).

**Tabela 2:** Perfil dos grupos microbianos, Enterobactérias (ENT), Bacilos Gram-Negativos não Fermentadores (BGN NF), Cocos Gram-Positivos Catalase Positiva (CGP/C+), Cocos Gram-Positivos Catalase Negativa (CGP/C), em log UFC/ml e comparativo ente afluente e efluente, durante o processo de biodigestão dos dejetos suínos, nas estações inverno e verão.

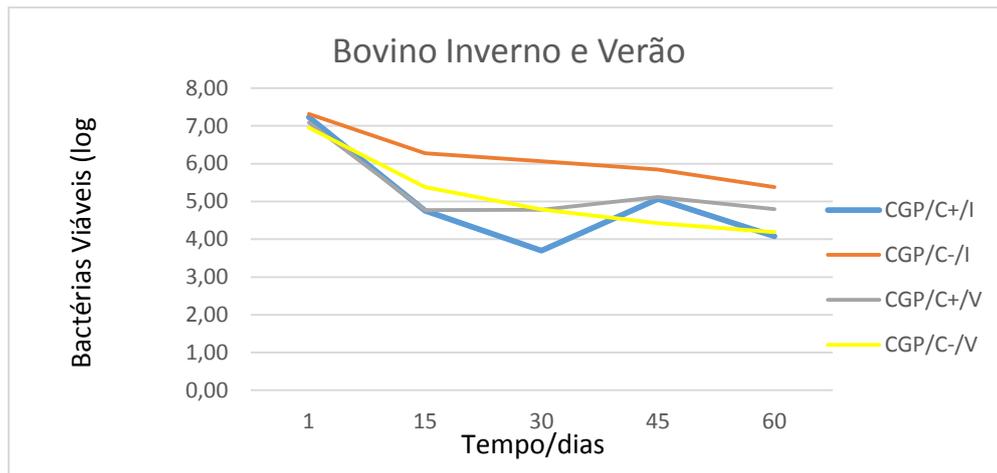
	Inverno				Verão			
	ENT	BGN/NF	CGP/C+	CGP/C-	ENT	BGN/NF	CGP/C+	CGP/C-
Afluente	6,74	5,1	5,88	5,29	6,48	7,26	6,85	7,26
Efluente	4,12	4,3	3,48	4,3	4,4	5,13	3,29	5,04

Com os resultados obtidos pode-se observar que houve uma redução em todos os grupos microbianos nas duas estações entre os efluentes e afluentes durante os 60 dias de TRH. O grupo microbiano ENT no verão obteve a maior redução.

Observando as estações dentro do mesmo dejetos podemos observar uma maior redução dos grupos microbianos no verão do que no inverno, no grupo ENT verão podemos observar a maior redução, como nos mostra as figuras 6 e 7.



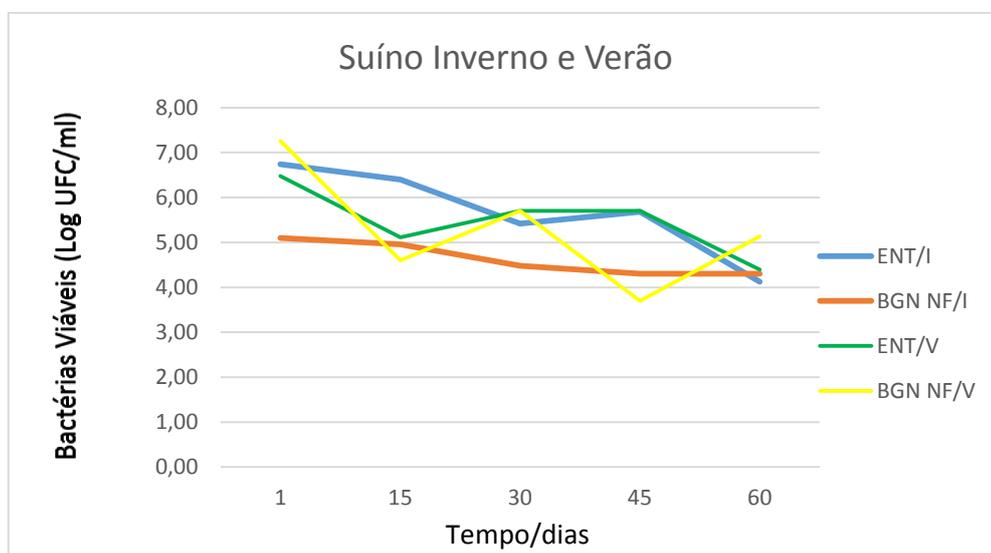
**Figura 6.** Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos, nas estações inverno (I) e verão (V) em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.



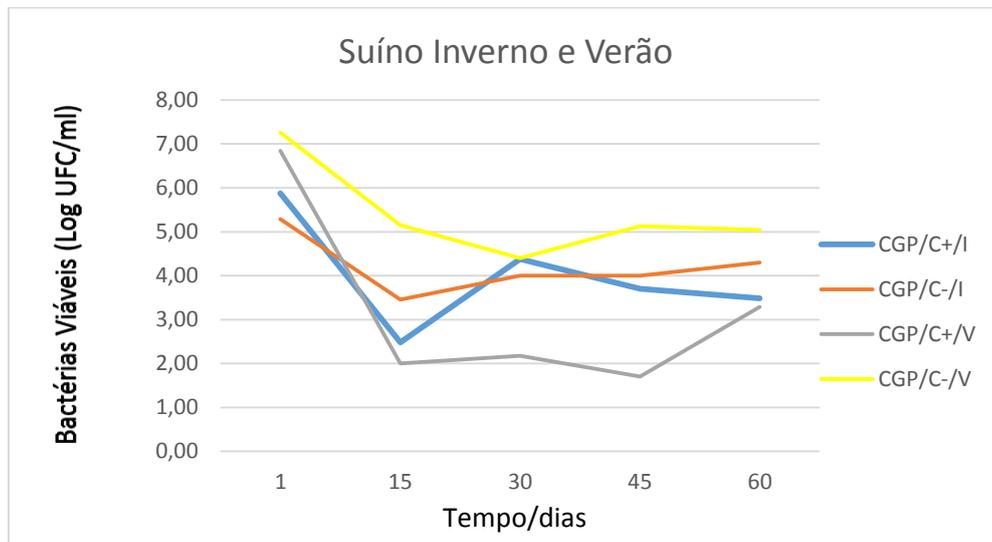
**Figura 7.** Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos, nas estações inverno (I) e verão (V) em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.

Nos resultados obtidos por Resende et al. (2015) não houve diferença significativa entre os grupos microbianos nas estações, as populações microbianas se mantiveram com uma semelhança na dinâmica e abundância nos 60 dias de TRH. No trabalho de Daniel (2015) não foram encontradas diferenças estatísticas significativas ( $p > 0,05$ ) dos grupos microbianos CGP/C+, CGP/C- e ENT, BGN NF entre as estações inverno e verão.

Observando as estações dentro do mesmo dejetos podemos observar uma maior redução dos grupos microbianos no verão do que no inverno, no grupo CGP/C+ verão podemos observar a maior redução, como nos mostra as figuras 8 e 9.

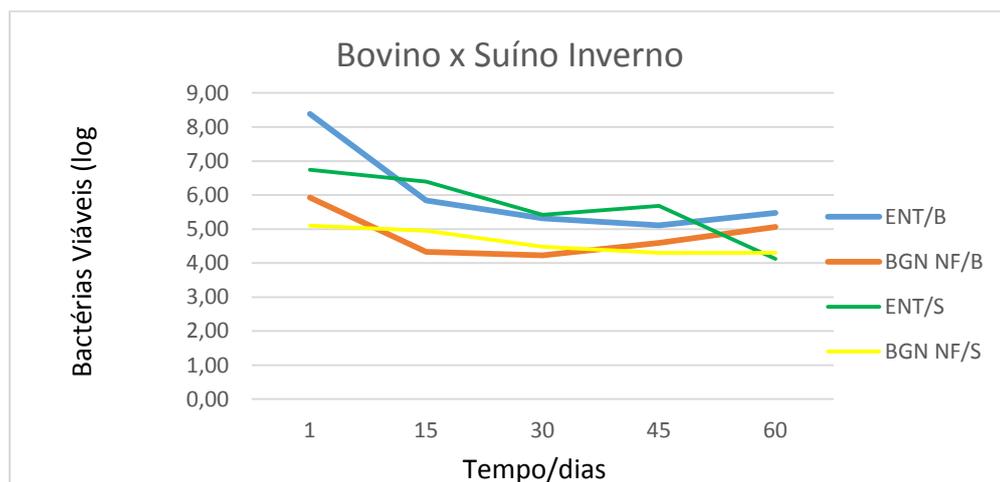


**Figura 8.** Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos suínos, nas estações inverno (I) e verão (V) em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.

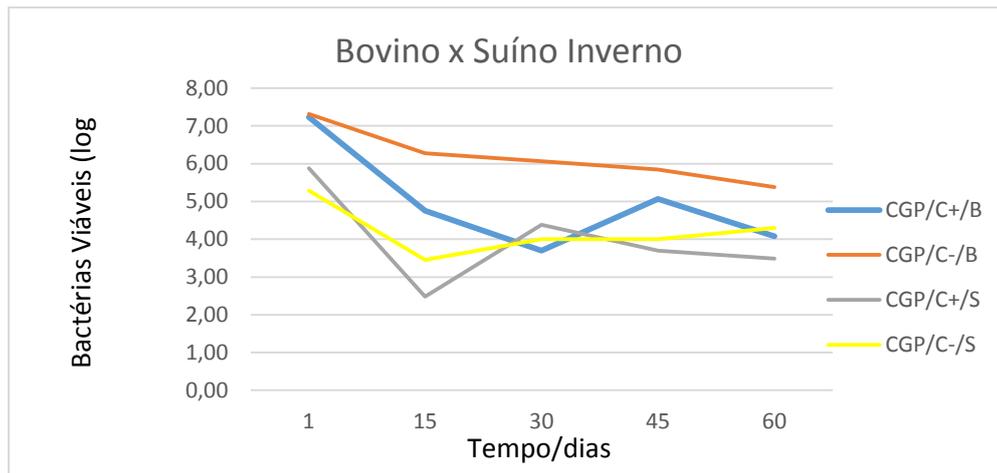


**Figura 9.** Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos suínos, nas estações inverno (I) e verão (V) em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.

Observando os dejetos dentro da mesma estação podemos verificar uma maior redução dos grupos microbianos nos dejetos bovinos do que nos suínos. O grupo microbiano CGP/C+ dos dejetos bovinos obtive a maior redução, como nos mostra as figuras 10 e 11.



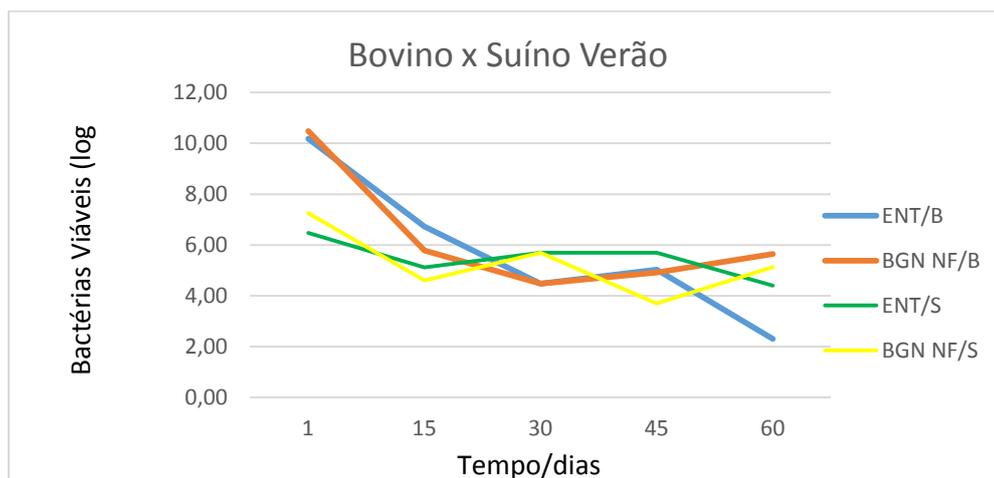
**Figura 10.** Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos (B) e suínos (S), na estação inverno em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.



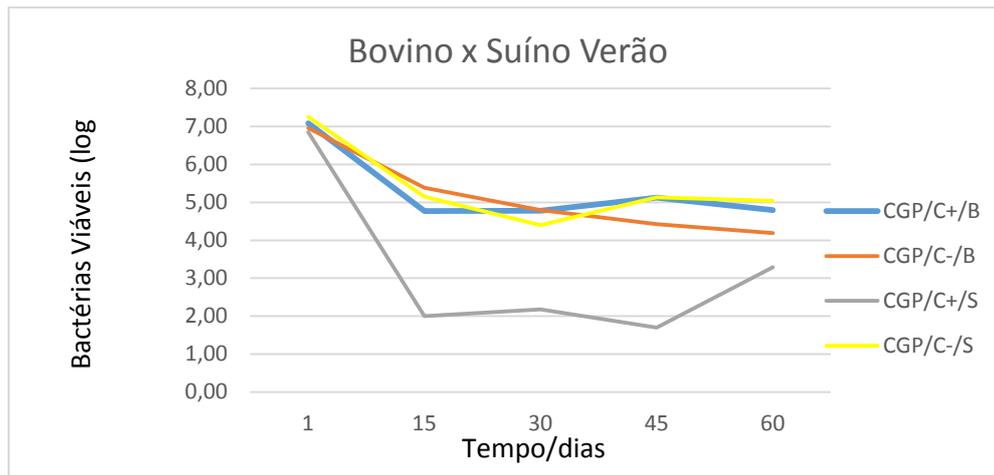
**Figura 11.** Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos (B) e suínos (S), na estação inverno em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.

Analisando as sequencias de genes em amostras coletadas em biodigestor anaeróbio THEUERL (2015) constatou que 99% dos genes encontrados foram de bactérias e 1% de arqueas metanogênicas.

Observando os dejetos dentro da mesma estação verificou-se uma maior redução dos grupos microbianos nos dejetos bovinos do que nos suínos. O grupo microbiano ENT dos dejetos bovinos apresentou a maior redução, como nos mostra as figuras 12 e 13.



**Figura 12.** Comportamento dos grupos microbianos ENT e BGN NF, nos dejetos bovinos (B) e suínos (S), na estação verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.



**Figura 13.** Comportamento dos grupos microbianos CGP/C+ e CGP/C-, nos dejetos bovinos (B) e suínos (S), na estação verão em 5 coletas durante os 60 dias de TRH.

Em todos os dejetos e nas duas estações constatou-se um número maior de microrganismos no afluente que no efluente. Corroborando com MAGRINI (2009), que constatou uma maior presença destes microrganismos nos afluentes do que os efluentes em perfis de bactérias, fungos e leveduras em biodigestores.

Para SAHLSTRÖM (2004), as condições ambientais, tipos de dejetos e as práticas de manejo podem influenciar as composições das comunidades microbianas, como a presença de estafilococos coagulase negativo ou de BGN NF. Estudos realizados por SAWANT (2007) em biodigestores abastecidos com dejetos e operados a temperaturas mesófilas demonstraram a predominância dos grupos microbianos ENT e CGP/C-.

Segundo COSTA (2013), devido à tolerância a vários fatores como situação de estresse e/ou em ambientes hostis, temperatura, pH e outros fatores ocorrido nos biodigestores, os grupos microbianos ENT e CGP/C- foram os microrganismos com maior contagem. Estes são de ampla atuação no ambiente e oportunista, se desenvolvem naturalmente no intestino de humanos e de animais.

Apesar da redução ocorrida nos grupos microbianos em ambos os dejetos e ambas as estações, verificou-se que o efluente final após 60 dias de TRH ainda apresentou contagens microbianas expressivas de grupos microbianos encontrados enterobactérias, bacilos Gram-negativos e *Pseudomonas* spp, sugerindo assim um pós-tratamento ou tratamento

secundário, por exemplo em lagoas de estabilização, buscando uma redução destes microrganismos, tornando o biofertilizante adequado para aplicação direta em diversas culturas.

## 5.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS DEJETOS BOVINOS E SUÍNOS NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIO

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas dos dejetos de bovinos e suínos reproduzem o comportamento dos dejetos durante o processo de biodigestão, os quais permitem analisar e comparar os dados (Tabela 3).

**Tabela 3:** Perfil dos parâmetros físico-químicos de pH, acidez e alcalinidade em mg/L, encontrados nas amostras de afluente (entrada do biodigestor) e efluente (saída do biodigestor) durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.

		Inverno		Verão	
Pontos de coleta		Bovino	Suíno	Bovino	Suíno
pH	Afluente	6,70	6,77	6,96	6,73
	Efluente	6,35	6,26	6,26	6,26
Acidez mg/L	Afluente	639,00	828,00	300,00	820,00
	Efluente	961,60	1660,60	1568,80	1867,50
Alcalinidade mg/L	Afluente	6532,00	7762,50	5453,00	7590,50
	Efluente	6868,40	8061,50	6438,60	8227,00

O pH se manteve ligeiramente ácido mas próximo da neutralidade (pH 7,0) durante as duas estações em ambos dejetos. Estes resultados mostram uma ligeira acidificação dos biodigestores tanto os abastecidos com dejetos bovinos quanto os abastecidos com dejetos suínos. Os dejetos bovinos apresentaram uma redução na escala de pH de 0,35 no inverno e de 0,70 no verão, já os dejetos suínos de 0,51 no inverno e de 0,47 no verão. De acordo com CAMPOS (2006), uma parcela significativa de bactérias possuem pH ótimo entre 6,5 e 7,5. Portanto mesmo com a ligeira acidificação, os valores de pH se mantiveram em nível ótimo para o desenvolvimento bacteriano nos biodigestores.

Os autores Anderson, Yang (1992) relatam que em condições normais os dejetos no biodigestor possuem pH próximo da neutralidade, eles relatam como faixa ótima entre 6,4 a 7,6.

Os ácidos voláteis são de grande importância para o bom funcionamento do biodigestor, valores elevados aceleram a atuação de bactérias acidogênicas. Eles também podem causar desequilíbrio na fase metanogênica, pois inibem o crescimento das bactérias que atuam nesta fase. Os valores coletados no inverno demonstram que os dejetos suínos apresentaram uma maior variação da acidez volátil que os dejetos bovinos. No verão ocorreu o contrário, a variação maior foi dos dejetos bovinos. Comparando as estações dentro do mesmo dejetos, observou-se que ambos obtiveram uma maior variação no verão que no inverno. Apesar dos valores estarem bem acima do recomendado, não houve desequilíbrio no sistema detectado pelos testes de chama positivos.

Conforme GASPAR (2003), os valores recomendados de acidez volátil estão na faixa de 50 a 500 mg/L.

Os resultados obtidos de alcalinidade dos afluentes e efluentes dos dejetos bovinos e suínos com sazonalidade indicam, 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.

Comparando os dejetos bovinos e suínos, constatou-se que os dejetos bovinos, nas estações inverno e verão apresentaram um aumento maior que o suíno da alcalinidade entre afluentes e efluentes, como nos mostra a (Tabela 4).

**Tabela 4:** Perfil dos parâmetros físico-químicos de DBO, DQO, sólidos totais e sólidos voláteis em mg/L, encontrados nas amostras de afluente (entrada do biodigestor) e efluente (saída do biodigestor) durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.

Pontos de coleta	Inverno		Verão	
	Bovino	Suíno	Bovino	Suíno

DBO mg/L	Afluente	16.875	23.775	21.325	24.700
	Efluente	13.118	16.112	9.593	14.925
DQO mg/L	Afluente	93.150	33.500	133.850	176.000
	Efluente	42.437	23.050	38.850	52.462
Sólidos totais mg/L	Afluente	54	43	56	68
	Efluente	43,45	33,25	46,25	35,5
Sólidos voláteis mg/L	Afluente	40	42	44	47
	Efluente	32,35	24,75	36	27,5

CORTEZ et al. (2008) definem Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) como a quantidade de oxigênio requerida para se estabilizar bioquimicamente um composto orgânico pela ação de microrganismos em condições anaeróbias. Conforme SILVA (2003) foram encontrados valores de DBO em dejetos suínos em torno de 2.241,73 mg/L.

Os dados coletados de DBO dos dejetos suínos no inverno apresentaram uma redução maior que os dejetos bovinos, já no verão os dejetos bovinos apresentaram uma redução maior que os suínos. Nas estações, no verão obteve-se uma maior redução que no inverno. Ambos os dejetos nas duas estações demonstraram resultados maiores que 2.241,73 mg/l descritos por (SILVA, 2003).

Segundo MONTEIRO (2005), a DQO é uma análise importante para avaliar a eficiência da redução da biomassa pelo biodigestor, pois é um parâmetro que descreve a concentração de carbono na matéria orgânica descrevendo a situação do dejetos. Para DQO em biodigestores abastecidos com dejetos suínos, Oliveira (2012) encontrou valores de concentração mínima de 15.817 mg/L.

Os valores DQO de ambos os dejetos com sazonalidade, ficaram acima dos valores mínimos encontrados por Oliveira (2012). Os dejetos bovinos no inverno apresentaram uma maior redução do que os suínos, já no verão os suínos apresentaram uma maior redução que os bovinos. Comparando as estações o verão mostrou uma maior redução que o inverno.

Para CORTEZ et al. (2008), o conteúdo de sólidos é o parâmetro físico-químico mais importante para a caracterização de um resíduo obtido no meio rural, pois determinará a necessidade ou não de diluição dos dejetos.

Os teores de sólidos totais e sólidos voláteis dos dejetos nas duas estações apresentaram redução do valor do afluente para o efluente. Os ST no inverno os dejetos bovinos apresentaram uma redução maior que os suínos, já no verão os suínos apresentaram uma redução maior que os bovinos. Os SV dos dejetos suínos apresentaram uma maior redução que os bovinos, em ambas as estações. Para Yadvika (2004), pode ocorrer a inibição do processo de fermentação caso os dejetos apresentem valores de ST demasiadamente altos ou baixos.

A temperatura é um fator que influencia diretamente na produção de biogás como nos mostra a (Tabela 5).

**Tabela 5:** Perfil dos parâmetros físico-químicos, Volume de gás em m<sup>3</sup>, temperatura média de cada estação interna e externa ao biodigestor em °C, encontrados durante o processo de biodigestão dos dejetos bovinos e suínos, com variação sazonal.

	Inverno		Verão	
	Bovino	Suíno	Bovino	Suíno
Volume de gás m <sup>3</sup>	0,18	1,21	2,21	1,48
Temperatura interna do bio. °C	18,03±3	18,91±3	21,77±2	21,58±2
Temperatura externa ao bio. °C	16,18±7	16,96±7	20,39±5	20,39±5

Fatores como temperatura, pH, acidez, alcalinidade, sólidos voláteis interferem diretamente na produção de biogás. Para a produção de biogás Santos (2000) refere que um animal leiteiro de 600 kg produz em média 0,98 m<sup>3</sup> de biogás por dia. Agonese (2006) em seu experimento demonstrou que suínos com 20 a 110 kg produzem em média 0,048 m<sup>3</sup> de biogás por dia. O volume total de biogás produzido pelos dejetos bovinos no inverno foi de 0,304 m<sup>3</sup> e no verão foi de 3,322 m<sup>3</sup>, os dejetos bovinos produziram no inverno 1,811m<sup>3</sup> e no verão 2,220 m<sup>3</sup>, demonstrando assim uma maior variação nos

dejetos bovinos entre as estações, já os dejetos suínos mantiveram-se mais estáveis em ambas as estações.

A temperatura é um dos parâmetros de grande importância para o bom funcionamento do biodigestor, pois a maioria das bactérias que agem durante o processo são mesófilas (OLIVEIRA, 2012). As temperaturas internas dos biodigestores apresentaram valores máximos de 27,825°C no verão e de 13,700°C no inverno. Estas temperaturas nos dejetos bovinos e suínos no inverno estiveram próximo da faixa de crescimento bom para mesófilos, já no verão ambos os dejetos obtiveram temperaturas médias dentro da faixa onde os mesófilos se multiplicam bem, que varia em torno de 20 a 40°C.

### **5.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

O biogás é um dos principais produtos do processo de biodigestão anaeróbia, possuindo diversas possibilidades de utilização na propriedade rural. Das formas de utilização do biogás destaca-se a cogeração de energia elétrica, a qual pode levar a uma autossuficiência da propriedade rural.

Segundo Castanón (2002), de acordo com o peso da matéria orgânica utilizada no processo a quantidade de biogás produto da biodigestão anaeróbia corresponde somente a 2,0 a 4,0%.

Na comparação entre as estações dentro do mesmo dejetos, os de bovinos nas semanas I, II, III, IV e V não apresentaram diferenças médias significativas ( $p < 0,05$ ). Na semana VI os dejetos bovinos apresentaram diferença média significativa entre as estações inverno e verão, sendo esta última com um volume de produção maior que a primeira, como nos mostra a (Tabela 6).

**Tabela 6:** Comparação estatística entre os resultados do volume em m<sup>3</sup> de biogás produzido, nas linhas horizontais com letras minúsculas a comparação entre os dejetos dentro da mesma estação, e nas linhas verticais com letras maiúsculas a comparação das estações dentro do mesmo dejetos.

Estações	SEMANA I		SEMANA II	
	BOVINO	SUÍNO	BOVINO	SUÍNO
Inverno	0.011750 a A	0.026500 a A	0.005750 a A	0.041500 a A
Verão	0.016333 a A	0.030250 a A	0.017500 a A	0.038000 a A
Estações	SEMANA III		SEMANA IV	
	BOVINO	SUÍNO	BOVINO	SUÍNO
Inverno	0.004250 a A	0.085000 b B	0.008500 a A	0.056750 b A
Verão	0.039000 a A	0.039500 a A	0.057000 a B	0.063000 a A
Estações	SEMANA V		SEMANA VI	
	BOVINO	SUÍNO	BOVINO	SUÍNO
Inverno	0.006000 a A	0.038750 a A	0.014000 a A	0.053250 b A
Verão	0.064333 a B	0.067500 a A	0.107125 b B	0.061750 a A

Na comparação entre as estações dentro do mesmo dejetos, os dejetos bovinos nas semanas I, II, III, IV e V não apresentaram diferenças medias significativas ( $p < 0,05$ ). Na semana VI os dejetos bovinos apresentaram diferença media significativa entre as estações inverno e verão, sendo esta ultima com um volume de produção maior que a primeira.

Constatou-se observar que a estação verão por apresentar temperaturas medias mais elevadas, provavelmente influenciou em uma maior produção de biogás ( $p < 0,05$ ) dos dejetos bovinos na ultima semana de coleta dos dados.

Os dados coletados para os dejetos suínos demonstraram que nas semanas I, II, IV, V e VI não apresentaram diferenças estatísticas entre as estações. A semana III apresentou diferença media significativa na sazonalidade, sendo o invernos com uma produção maior que o verão.

Analisando os resultados obtidos, os mesmos demonstram que houve uma redução da produção de gás no verão ocasionada possivelmente por algum inibidor da ação microbiana no dejetos. Por outro lado, também ocorreu um aumento da produção do biogás no inverno, provavelmente causado por uma elevação na temperatura, pois as demais semanas se mantiveram estáveis não apresentando diferenças media significativas.

Observando a interferência da temperatura na produção de biogás em biodigestores abastecidos com vinhaça, a temperatura de 35°C apresentou o melhor desempenho tanto na produção quanto na qualidade do biogás, demonstrando a influencia da temperatura no processo de biodigestão anaeróbio (SALOMON, 2007).

Ao comparar os dejetos dentro da mesma estação, os de bovinos apresentaram uma maior produção com diferenças medias significativas para os dejetos suínos apenas na semana VI na estação verão. Já os dejetos suínos apresentaram maior produção ( $p < 0,05$ ) nas semanas III, IV e VI na estação inverno.

Com estes resultados constata-se que os dejetos bovinos apresentaram uma maior variação na produção de biogás que os dejetos suínos, que mantiveram sua produção mais constante independente da estação.

A evolução da produção de biogás pode-se observar como nos mostra (Tabela 7).

**Tabela 7:** Comparação estatística entre os resultados do volume em  $m^3$  de biogás produzido, nas linhas horizontais com letras minúsculas a comparação entre os dejetos dentro da mesma semana, e nas linhas verticais com letras maiúsculas a comparação das semanas dentro do mesmo dejetos.

Semanas	INVERNO		VERÃO	
	BOVINO	SUÍNO	BOVINO	SUÍNO
I	0,011750 a A	0,026500 a A	0016333 a A	0,030250 a A
II	0,005750 a A	0,041500 a A	0,017500 a A	0,038000 a AB
III	0,004250 a A	0,085000 b B	0,039000 a AB	0,039500 a AB
IV	0,008500 a A	0,056750 b AB	0,057000 a B	0,063000 a AB
V	0,006000 a A	0,038750 a A	0,064333 a B	0,067500 a B
VI	0,014000 a A	0,053250 b AB	0,107125 b C	0,061750 a AB

Comparando-se as semanas dentro do mesmo dejetos observou-se que os de bovinos não apresentaram diferenças médias significativas no inverno, já no verão houve diferenças medias significativas a partir da semana III, a qual ainda apresentou semelhanças com as semanas anteriores, pois nos cálculos de diferença media significativa DMS, a mesma não possui diferença das semanas anteriores obtendo o marcador A, com as semanas IV e V também não apresentou DMS sendo considerada semelhante às mesmas, portanto recebeu também o marcador B. As semanas IV e V não apresentaram diferenças entre si, mas apresentaram entre elas e as I, II e VI. A semana VI apresentou o maior resultado de produção de biogás, a qual diferiu ( $p < 0,05$ ) para as demais.

Verificou-se que os dejetos bovinos demonstraram uma produção crescente de biogás da primeira semana para a última semana, a qual apresentou o maior pico de temperatura interna do biodigestor, que foi de 27,702°C, sendo um provável fator para o aumento da produção.

As estações, primavera, verão, outono e inverno, na produção de biogás em biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de caprinos, observou-se que no verão houve maior produção (AMORIM et al., 2004).

Os dejetos suínos apresentaram diferenças médias significativas entre as semanas tanto no verão quanto no inverno, apresentando oscilações, no inverno a semana IV e VI apresentaram semelhanças com as demais semanas e com a semana III, que apresentou a maior produção ( $p < 0,05$ ). No verão as semanas II, III, IV e VI apresentaram semelhanças com a primeira semana e com a V, a qual apresentou a maior produção com diferença média significativa apenas com a primeira semana.

Os dados obtidos dos dejetos suínos no decorrer das semanas, demonstram uma variação entre as semanas tanto no inverno quanto no verão, sendo inconstante sua produção.

Para ORICO JÚNIOR (2010), analisando o TRH dos dejetos suínos, na produção de biogás, constatou-se que 60 dias de TRH apresentam a maior produção com melhor qualidade do biogás.

Para a utilização do biogás é necessário fazer uma limpeza, removendo assim compostos indesejáveis contidos no mesmo, antes de sua queima, dado este fato o uso do biogás em tecnologias avançadas ainda vem sendo bastante discutido e avaliado. A forma mais adequada depende da aplicação energética pretendida, dos custos envolvidos e da composição do gás (SALOMON, 2007).

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É válido ressaltar que o processo de biodigestão anaeróbio é uma alternativa para melhoria do saneamento rural, gerando o biogás e o biofertilizante, os quais podem ser utilizados para a redução dos custos de produção de uma propriedade e para o meio ambiente, ajudando assim para um desenvolvimento sustentável.

Os resultados obtidos mostram que os dejetos apresentaram reduções significativas para os parâmetros avaliados tanto para variáveis físico-químicas, dos afluentes para os efluentes, demonstrando assim a eficiência do sistema, levantando questionamentos sobre o risco sanitário da utilização direta do dejetos sem um tratamento secundário.

Os grupos microbianos apresentaram redução significativa nos dejetos bovinos leiteiros e suínos na biodigestão anaeróbia, sendo eficiente também na redução da carga orgânica, tornado este sistema atrativo ambientalmente e economicamente, com a geração do biogás e do biofertilizante.

## 7 CONCLUSÃO

- As variáveis microbiológicas tanto no dejetos de bovinos leiteiros quanto de suínos demonstraram reduções significativas, diminuindo-se os patógenos de interesse para a saúde humana e dos animais, que por ventura poderiam ser contaminados pelos dejetos sem tratamento.
- Os parâmetros físico-químicos dos afluentes para os efluentes nos dejetos de bovinos leiteiros e suínos apresentaram reduções significativas, demonstrando assim a redução da carga orgânica em biodigestores.
- Constatou-se com a sazonalidade que apesar de haver uma maior redução no verão em todos os grupos microbianos estudados, entre as estações não houve diferença significativa.
- O comportamento dos grupos microbianos, apresentaram uma variação entre os mesmos, com destaque para as enterobactérias que indicaram uma redução maior. Os dejetos bovinos indicaram uma contagem microbiana maior que os suínos nas duas estações, contudo sua redução durante o processo de biodigestão indicou ser mais significativa.
- Constatou-se que os dejetos bovinos apresentaram uma maior variação entre as estações que os dejetos suínos, na estação verão observou-se uma produção maior que na estação inverno, na evolução das semanas, as últimas semanas de coletas apresentaram maiores produções que as primeiras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHNA, J.; DOA, T. H.; KIMB, S.D.; HWANG, S. **The effect of calcium on the anaerobic digestion treating swine wastewater.** *Biochemical Engineering Journal*, Manchester, v.30, n.1, p.33-38, 2006.
- AHRING, B. K.; IBRAHIM, A. A.; MLADENOVSKA, Z. **Effect of temperature increase from 55 to 65° C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure.** *Water Research*, v 35, n. 10, p. 2246-2452, 2001.
- ALVAREZ, R.; GUNNAR, L. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste.** *Renewable Energy*, Great Britain, v.33, n.2, p.726-734, 2008.
- ALVES. E. E. N.; INOUE. K. R. A. ; BORGES. A. C. **Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais.** II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA. 2005. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21th ed. Washington: APHA, 2005.
- AMORIM, A. C.; JÚNIOR, J. de L; RESENDE, K. T. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano.** *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2004.
- ANDERSON, G. K.; YANG, G. **Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration.** *Water Environment Research*, Alexandria, v. 64, n.1, p. 53-59, 1992.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S.; CUNHA F. **Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.
- AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. de; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. **Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 17, n. 4, p. 456-462, 2013.

BACKES, G. M. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) Centro universitário UNIVATES Lajeado 2011.

BARBOSA, G.; LANGER, M. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.** Unoesc & Ciência-ACSA, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural.** São Paulo: Ícone, 106 p, 2003.

BEUX, S. **Avaliação do tratamento efluentes de abatedouro em digestores anaeróbios de duas fases.** 2005. 99p. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos – UEPG/PR, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

CABRAL, L. S.; FILHO, S. D. C. V.; DETMANN, E.; MALAFAIA, P. A. M.; ZERVOUDAKIS, J. T.; de SOUZA, A. L.; VELOSO, R. G.; NUNES, P. M. M. **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.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. **Development and operation of the up flow anaerobic sludge blanked reactor 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.**

CASTANÓN, N.J.B., (2002), **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais, Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização,** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

- CÔTÉ, C.; MASSÉ, I.D.; QUESSY, S. **Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries.** Bioresource Technology, Oxford, v.97, n.3, p.686-691, 2006.
- CHAE, K.J.; JANG, A.; YIM, S.K.; KIM, I.S. 2008. **The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure.** Bioresource technology, 99(1): 1–6, 2008.
- COELHO, S.T.; VELÁZQUES, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; ABREU, F. C. **Geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um grupo gerador de 18 KW.** V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília-DF, 2006.
- 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.
- COLLARD, F. H. ALMEIDA, A. de; COSTA, M. C. R.; ROCHA, M. C.. **Efeito do uso de biofertilizante Agrobio na cultura do maracujazeiro-amarelo.** (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg) Revista Biociências, p. 15-21, 2008.
- CUNHA, L. D. **Uso do biodigestor para tratamento de dejetos suínos:** estudo de caso na empresa Sadia SA, 2007.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia.** Campinas: UNICAMP, 2008.
- 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.
- DANIEL T. da R. **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 (Mestrado Profissional em C&T do Leite e Derivados)-Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*, 2002.

- ESPERANCINI, M. S.; COLEN, F.; BUENO, O. D. C. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo.** *Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, jan./abr, 2007.*
- FERNANDES, D. M. **Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suíno.** *Ambiência Guarapuava (PR) v.10 n.3 p. 741 - 754 Set/Dez. 2014.*
- FERREIRA, D. F. *Sisvar versão 4.2. Lavras: UFLA, 2003.*
- FERREIRA, L. M. S. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros com e sem separação da fração sólida.** *Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.*
- 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.*
- HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano.** 2009. 215f. *Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.*
- IBGE. **Estatística da Produção Pecuária Julho de 2015**, disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.
- JÚNIOR, M. A. P. O.; ORRICO, A.; JÚNIOR, JR. DE L. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica.** *Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.3, p.474-482, jul./set. 2009.*
- JÚNIOR, M. A. P. O.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. DE L. **Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos,** *Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.3, p.386-394, maio/jun. 2010.*
- KARQUÍDIO, R. B. **Estudo da viabilidade técnica da implantação de uma empresa prestadora de serviço de instalação e manutenção em biodigestores nas granjas de suínos do entorno da região do Distrito Federal.** *Boletim Técnico. Planaltina, 2009.*
- KONZEN, E. A. **Uso sustentável de nutrientes na cafeicultura.** In: Encontro Nacional de Irrigação da Cafeicultura no Cerrado, Araguari. *Palestra FENICAFÉ, 2009.*

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás**. Revista de Política Agrícola, v.15, n.3, p.28-35, 2006.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. 2008. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

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

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MAGRINI F. E.; SARTORI V. C.; 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.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Bahia Agríc., v.7, n.3, nov, 2006.

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.

NASCIMENTO, R. C. **O uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do alto Paranaíba (MG)**. Boletim Goiano de Geografia, v. 30, n. 2, p. 55-66, 2010.

OLIVEIRA, M. M. **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS, J. J.; ORRICO, M. A. P. J. **Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.639-647, 2007.

- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J de L. **Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo**. Engenharia Agrícola, p. 600-607, 2010.
- PALMISANO, A., “**Desarrollo de un modulo para la simulación de digestores anaerobios acoplado al simulador hysys 3.1**”, Trabalho de Diploma para o Título de Engenheiro químico, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2003.
- PEDROMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos**. Concórdia: Embrapa CNPSA. n.332, 2003. 6p. Comunicado Técnico, 2003.
- 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: 21 de outubro de 2015.
- RESENDE, J. A. **Avaliação da diversidade microbiana e do risco clínico-microbiológico de sistemas de biorreatores para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.
- RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; OTENIO, M. H.; BONNAFOUS, A.; ARCURI, P. B.; GODON, J. J. **Dynamics of antibiotic resistance genes and presence of putative pathogens during ambient temperature anaerobic digestion**. Journal of applied microbiology, v. 117, n. 6, p. 1689-1699, 2014.
- RESENDE, J. A.; GODON, J. J.; BONNAFOUS, A.; ARCURI, P. B.; SILVA, V. L.; OTENIO, M. H.; DINIZ, C. G.. **Seasonal Variation on Microbial Community and Methane Production during Anaerobic Digestion of Cattle Manure in Brazil**. Microbial ecology, p. 1-12, 2015.
- 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.; AKIBA, F. **Biofertilizantes líquidos: uso correto na agricultura alternativa**. Seropédica: Imprensa Universitária/UFRRJ. 35p, 1996.

SANTOS, A. C.; SAMPAIO, H. N. **Efeito do biofertilizante líquido obtido da fermentação anaeróbica do esterco bovino, no controle de insetos prejudiciais à lavoura citros**. In: SEMINÁRIO BIENAL DE PESQUISA, 6., 1993, Rio de Janeiro. Resumos. Seropédica: UFRRJ, 1993.

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, P. **Guia técnico de biogás**. Centro para a Conservação de Energias. Portugal, 2000.

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.

SILVA, A. de A. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da biodigestão anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas**. Tese de Doutorado (Doutorado em Zootecnia)–Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

SILVA, D. J. A. da. **Biogás – uma energia limpa**. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, v. 13, n. 13, p. 142-149, 2011.

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.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI JR, L. **Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola**. *Química Nova*, v.35, São Paulo, 2012.

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.

SOARES, H. M. **Tratamento de efluentes.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SOUZA, C. de F.; CAMPOS, J. A. **Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos.** Rev. Bras. Agroecologia, v.2, n.1, 2007.

SOUZA C. de F.; CARVALHO, C. D. C. S.; CAMPOS, J. A.; MATOS, A. T.; FERREIRA, W. P. M. **Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação.** Revista Ceres, v. 56, n. 2, p. 128-133, 2009.

SOUZA, J. E.; CAPPI, N. **Qualidade microbiológica e mineral de biofertilizantes de dejetos de vacas leiteiras com diferentes aditivos.** Anais do Encontro de Iniciação Científica-ENIC, v. 1, n. 4, 2012.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** 2001. 109f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A.; DRESSLER, F. E. M. M.; MARTINS, A. F. **Study of metal distribution in raw end screened swine manure.** CLEAN – Soil, Air, Water, v.37, n.3, p.239-244, 2009.

SUNDBERG, C.; AL-SOUD, W.A.; LARSSON, M.; ALM, E.; YEKTA, S. S.; SVENSSON, B. H.; SØRENSEN, S. J.; KARLSSON, A. 2013. **454 Pyrosequencing analyses of bacterial and archaeal richness in 21 full-scale biogas digesters.** FEMS microbiology ecology, 85(3): 612-626, 2013.

THEUERL, S. **Community shifts in a well-operating agricultural biogas plant: how process variations are handled by the microbiome.** Applied microbiology and biotechnology, v. 99, n. 18, p. 7791-7803, 2015.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: manual para regiões de clima quente.** Campina Grande, 1994.

VERSIANI, B. M. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ.** 2005.

88f. Dissertação (Mestrado Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. **Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

YADVIKA, S.; SREEKRISHNANB, T.R.; KOHLIC, S.; RANAA, V. **Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review.** Bioresource Technology, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10. 2004.