PATRÍCIA CAROLINE KOSTANESKI

# COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E BIODIGESTORES NO MANEJO E TRATAMENTO DE DEJETOS EM EMPREENDIMENTOS DA SUINOCULTURA NO MUNICÍPIO DE TOLEDO - PR

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2018

PATRÍCIA CAROLINE KOSTANESKI

# COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E BIODIGESTORES NO MANEJO E TRATAMENTO DE DEJETOS EM EMPREENDIMENTOS DA SUINOCULTURA NO MUNICÍPIO DE TOLEDO - PR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Armin Feiden
COORIENTADOR: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE)

K88c

Kostaneski, Patrícia Caroline.
Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo – PR / Patrícia Caroline Kostaneski. --- Cascavel (PR), 2018.
100 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden.
Coorientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2018, Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura.
Inclui Bibliografia

1. Biomassa. 2. Suínos – Eliminação de resíduos - Tratamento. 3. Metano. I. Feiden, Armin. II. Souza, Samuel Nelson Melegari de. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título

CDD 665.7

Rosângela A. A. Silva – CRB 9ª/1810

**PATRÍCIA CAROLINE KOSTANESKI**

# COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E BIODIGESTORES NO MANEJO E TRATAMENTO DE DEJETOS EM EMPREENDIMENTOS DA SUINOCULTURA NO MUNICÍPIO DE TOLEDO - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biocombustíveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Coorientador(a) Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Luciene Kazue Tokura
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Carlos Roberto Moreira
Faculdade Assis Gurgacz – Cascavel (FAG)

Cascavel, 07 de março de 2018

*Dedico este trabalho aos meus pais pelo incentivo e apoio incondicional no alcance de mais essa conquista.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todas as bençõe concedidas e pela força que me destes para superar os momentos difíceis.

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, aos professores e colaboradores pelos conhecimentos e instruções oferecidas durante esse período.

Meus agradecimentos em especial aos professores Dr. Armin Feiden e Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza pela orientação para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e por todas as contribuições oferecidas, obrigada.

Um muito obrigada a Profa. Luciene, do qual tive a oportunidade de conhecer e não mediu esforços, estando sempre disposta a me instruir e auxiliar nos momentos que precisei, onde considero além de uma excelente profissional, uma grande amiga.

Aos meus familiares, em especial ao meu pai Antonio e minha mãe Shirley, do qual sempre pude contar e estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando todos os dias, muito obrigada, amo vocês.

Agradeço ao meu namorado e companheiro Marcos pela paciência, apoio e colaboração.

Aos amigos, em que mesmo eu estando ausente sei que torceram por mim e quando precisei estavam dispostos a me ajudar, obrigada.

Àqueles do qual tive o prazer de conhecer durante esta caminhada e puderam compartilhar seus conhecimentos, auxiliando e incentivando o desenvolvimento do trabalho, em especial um muito obrigada ao Felippe Damaceno pela paciência e o tempo despendido a me ajudar.

Á todos os proprietários dos empreendimentos de suinocultura que me permitiram realizar o estudo, onde fui muito bem recebida, obrigada.

Agradeço a CAPES, pela concessão da bolsa durante o período de estudo.

Enfim, todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o alcance e realização desse sonho, muito obrigada.

## LISTA DE UNIDADES E ABREVIATURAS

ºC - grau Celsius

ABC - Agricultura de Baixo Carbono

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal

ANOVA - Análise de Variância

APHA - American Public Health Association

AT - Alcalinidade Total

AV - Acidez Volátil

AV/AT - Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total

$CaCO_3$ - Carbonato de Cálcio

CCE - Centro para a Conservação de Energia

CER - Certificados de Emissões Reduzidas

$CH_3COOH$ - Ácido Acetico

$CH_4$ - Metano

CO – Monóxido de Carbono

$CO_2$ - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

$Cr^{3+}$ - Cromo Trivalente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DLAE - Dispena de Licenciamento Ambiental Estadual

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

GEE - Gases do Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

g $mL^{-1}$ - gramas por mililitro

$H_2$ - Gás Hidrogênio

$H_2S$ – Sulfeto de Hidrogênio

$H_2SO_4$ - Ácido Sulfúrico

IAP - Instituto Ambiental do Paraná

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

K – Potássio (elementar)

kcal $m^{-3}$ – quilocalorias por metro cúbico

kg $dia^{-1}$ - quilograma por dia

kg $m^{-3}$ - quilograma por metro cúbico

kWh - Quilowatt-hora

$K_2Cr_2O_7$ - Dicromato de Potássio

LAS - Licença Ambiental Simplificada

LI - Licença de Instalação

LO - Licença de Operação

LP - Licença Prévia

m – metro

$m^3$ biogás $kg^{-1}$ SV removidos – metro cúbico de biogás por quilograma de sólidos voláteis removidos

mm – milímetro

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

mg $L^{-1}$ – miligramas por Litro

MMA – Ministério do Meio Ambiente

N – Nitrogênio (elementar)

$N_2$ – Gás nitrogênio

$NH_3$ - Amônia

$O_2$ – Gás Oxigênio

P – Fósforo (elementar)

PET - Politereftalato de Etileno

pH - Potencial Hidrogeniônico

RCE - Redução Certificada de Emissões

SAAE/IRA - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira

SF - Sólidos Fixos

$SO_2$ - Dióxido de Enxofre

ST - Sólidos Totais

SV - Sólidos Voláteis

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica

UASB - UpFlow Anaerobic Sludge Blanket

UCT – Unidade de Crescimento e Terminação

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira. .....5
Figura 2 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia da matéria orgânica. .....12
Figura 3 - Biodigestor modelo indiano. .....21
Figura 4 - Biodigestor modelo chinês. .....21
Figura 5 - Modelo esquemático da estrutura do reator UASB. .....22
Figura 6 - Biodigestor modelo canadense. .....23
Figura 7 - Localização dos empreendimentos da suinocultura estudados pertencentes ao município de Toledo – PR. .....30
Figura 8 – Estruturas de alguns sistemas de tratamento de empreendimentos suinícolas estudados - caixa de passagem de dejetos (A); lagoa de estabilização (B) e biodigestor (C). .....31
Figura 9 - Coleta das amostras. .....32
Figura 10 - Medição do pH das amostras. .....33
Figura 11 - Análise de DQO pelo método colorimétrico de refluxo fechado .....34
Figura 12 - Equipamentos e procedimentos para análise de sólidos - balança analítica modelo BP 221S marca Sartorius (A); forno mufla Quimis (B); cadinhos calcinando (C); cadinhos no dessecador para posterior pesagem (D) estufa com circulação e renovação de ar modelo TE – 394/1 marca TECNAL (E) e cadinhos para secagem em estufa (F). .....36
Figura 13 - Análise de N, P e K - bloco digestor com amostras para análise de N (A); amostras preparadas para análise de P e K (B); Destilador de Nitrogênio modelo TE – 0363 marca TECNAL (C); Espectrofotômetro modelo 700 Plus marca para leitura da absorbância para análise de Fósforo (D) e Fotômetro de chama modelo DM – 62 marca DIGIMED para análise de K (E). .....38
Figura 14 - Análise de AV e AT. .....39
Figura 15 - Obtendo a densidade da amostra. .....39
Figura 16 - Analisador de gases portátil da marca LANDTEC, modelo GEM 5000 para medições pontuais (A) e ponto de amostragem de biogás no biodigestor (B). .....42
Figura 17 - Precipitações diárias nos meses de coleta das amostras. .....44

Figura 18 - Teste de médias e significância para ST. .....48
Figura 19 - Teste de médias e significância para SF. .....50
Figura 20 - Teste de médias e significância para SV. .....51
Figura 21 - Teste de médias e significância para pH. .....52
Figura 22 - Teste de médias e significância para a relação AV/AT. .....53
Figura 23 - Teste de médias e significância para D. .....54
Figura 24 - Teste de médias e significância para remoção de ST, SF e SV. .....56
Figura 25 - Produção estimada de biogás e metano por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização .....58

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Sólidos Totais (mg $L^{-1}$) ..... 35
Equação 2 - Sólidos Fixos (mg $L^{-1}$) ..... 37
Equação 3 - Sólidos Voláteis (mg $L^{-1}$) ..... 37
Equação 4 - Remoção ST (%) ..... 40
Equação 5 - Remoção SF (%) ..... 40
Equação 6 - Remoção SV (%) ..... 40
Equação 7 - SV removidos (kg $dia^{-1}$) ..... 41
Equação 8 - Produção de biogás ($m^3$ biogás $dia^{-1}$) ..... 41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modalidades de licenciamento para a suinocultura conforme sistema e quantidade de matrizes ou animais ..... 8
Tabela 2 - Produção média de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos ... 11
Tabela 3 - Equivalência do biogás comparado a outros combustíveis ..... 25
Tabela 4 - Caracterização físico-química de dejetos suínos segundo alguns autores ..... 26
Tabela 5 - Valores obtidos da análise físico-química na saída de sistemas de manejo e tratamento de dejetos suínos segundo alguns autores ..... 27
Tabela 6 - Localização e identificação dos sistemas de manejo e tratamento dos dejetos suínos na área de estudo ..... 30
Tabela 7 - Caracterização dos dejetos brutos da suinocultura de crescimento e terminação ..... 45
Tabela 8 - Análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis ST, SF, SV, pH, AV/AT e D ..... 47
Tabela 9 - Análise de variância contendo o valor de F e significância para Remoção de ST, SF e SV ..... 55
Tabela 10 - Quantidade de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ nos biodigestores ..... 57

KOSTANESKI, Patrícia Caroline. Ma. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março, 2018. **Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo – PR.** Professor Orientador Dr. Armin Feiden. Professor Coorientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

## RESUMO

Na medida que ocorre a expansão do setor suinícola, cresce da mesma maneira ou até mais a quantidade de resíduos gerados, principalmente na área da produção de animais. Desta maneira, surge então o desafio para a sociedade, que consiste no aumento da produção de suínos sem perder a qualidade ambiental. Este trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa de dados obtidos através do manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura que utilizam lagoas de estabilização e biodigestores localizados no município de Toledo - PR. Os empreendimentos estudados foram de Unidades de Crescimento e Terminação com plantel animal variando entre 800 a 1200 suínos. Foram analisados doze empreendimentos, sendo seis com lagoas de estabilização e seis com biodigestores em operação. Foram analisadas as eficiências de remoção de ST, SF e SV, a estimativa do estado do processo de biodigestão, a variabilidade de massa, o teor de gases do biogás dos biodigestores e a produção estimada de biogás por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização. Observou-se maiores eficiências de remoção de sólidos nos biodigestores. O estado do processo de biodigestão anaeróbia apresentaram valores satisfatórios principalmente nos biodigestores, mas ambos os tratamentos indicaram distúrbios nos processos. Houve maior variabilidade de massa nas entradas e saída de biodigestores. Os maiores teores de $CH_4$ e $CO_2$ encontrados foram de 63,10 e 38,60%, respectivamente. A produção estimada de biogás por SV removidos apresentou rendimento médio de 63,23 $m^3$ $dia^{-1}$ para os biodigestores e 26,44 $m^3$ $dia^{-1}$ para as lagoas de estabilização. Com o estudo realizado verificou-se que ocorreram maiores eficiências no manejo e tratamento de dejetos da suinocultura por meio dos biodigestores.

**PALAVRAS-CHAVE:** biomassa residual animal, sistemas de tratamento, metano.

KOSTANESKI, Patrícia Caroline. Ma. State University of the West of Paraná, March, 2018. **Comparison of the efficiency of stabilization ponds and biodigesters in the management and treatment of manure in swine enterprises in the city of Toledo – PR.** Advisor: Dr. Armin Feiden. Co-advisor: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

## ABSTRACT

As the expansion of the swine sector occurs, the amount of residues generated increases, in the same way or even more, mainly in the animal production area. In this way, appears the challenge for society, which consists in increasing the swine production without losing the environmental quality. This work aims to make a comparative analysis of data obtained through the management and treatment of manure in swine enterprises that use stabilization ponds and biodigesters located in the city of Toledo – PR. The enterprises to be studied have a production system determined as Growth and Termination Unit with animal stock ranging from 800 to 1200 swines. Twelve enterprises of the swine industry will be analyzed, six of which use stabilization ponds and six that have biodigestors in operation. The removal efficiencies of TS, FS and VS were analyzed, the estimation of the state of the biodigestion process, the mass variability, the biogas gas content of biodigesters and estimated biogas production by VS removed from biodigesters and stabilization ponds. Greater efficiencies of solids removal were observed in biodigesters. The state of the anaerobic biodigestion process presented satisfactory values mainly in the biodigesters, but both treatments indicated disturbances in the processes. There was greater mass variability in the inlet and outlet of biodigesters. The highest levels of $CH_4$ and $CO_2$ found were 63.10 and 38.60%, respectively. The estimated biogas production by VS removed had a mean yield of 63.23 $m^3$ $day^{-1}$ for the biodigesters and 26.44 $m^3$ $day^{-1}$ for the stabilization ponds. With the study, it was verified that greater efficiencies occurred in the handling and treatment of swine manure through the biodigesters.

**KEYWORDS:** animal biomass residue, treatment systems, methane.

## ÍNDICE

**1. INTRODUÇÃO ..... 1**
1.1 Objetivos ..... 2
1.1.1 Objetivo geral ..... 2
1.1.2 Objetivos específicos ..... 3
**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 4**
2.1 A diversificação da matriz energética e elétrica mundial e nacional ..... 4
2.2 Suinocultura: dados e características ..... 5
2.2.1 Aspectos legais para a suinocultura ..... 7
2.2.2 Programas de incentivo ao uso de biodigestores na suinocultura e o mercado do crédito de carbono ..... 8
2.3 Biomassa residual ..... 10
2.4 Biodigestão anaeróbia ..... 11
2.4.1 Fatores que influenciam na biodigestão anaeróbia ..... 15
2.4.1.1 Temperatura ..... 15
2.4.1.2 Acidez volátil, alcalinidade total e potencial hidrogeniônico (pH) ..... 15
2.4.1.3 Nutrientes ..... 16
2.4.1.4 Tempo de retenção ..... 16
2.5 Formas de manejo e tratamento de dejetos suínos ..... 17
2.5.1 Esterqueiras e bioesterqueiras ..... 18
2.5.2 Lagoas de estabilização ..... 18
2.5.3 Biodigestores anaeróbios ..... 19
2.6 Biogás ..... 23
2.7 Biofertilizante ..... 25
2.8 Parâmetros de análise da qualidade de dejetos de suínos: antes e após manejo ..... 26
2.8.1 Demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio ..... 27
2.8.2 Sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis ..... 28
2.8.3 Densidade ..... 28
**3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 29**
3.1 Localização e caracterização da área de estudo ..... 29

3.1.1 Identificação e características dos empreendimentos da suinocultura na área de estudo ....29
3.2 Procedimentos de coleta das amostras e local de realização das análises ....32
3.3 Caracterização geral da biomassa ....33
3.3.1 Temperatura ....33
3.3.2 pH ....33
3.3.3 DQO ....34
3.3.4 ST, SF e SV ....34
3.3.5 N, P e K ....37
3.3.6 AV e AT ....38
3.3.7 Densidade (D) ....39
3.4 Parâmetros analisados para comparação das técnicas de manejo e tratamento de dejetos ....40
3.4.1 Concentração de sólidos, análise de remoção de ST, SF e SV e produção de biogás por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização ....40
3.4.2 Determinação da estimativa do processo de biodigestão anaeróbia através do pH e a relação AV/AT ....41
3.4.3 Análise da variabilidade de massa dos dejetos através da densidade ....42
3.4.4 Quantificação do teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás produzido pelos biodigestores ....42
3.5 Análise estatística dos dados ....42
**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ....44**
4.1 Dados da caracterização geral da biomassa ....45
4.2 Análise de variância dos dados para ST, SF, SV, pH, AV/AT e D ....47
4.3 Concentração de ST, SF e SV nos sistemas de tratamento ....48
4.4 Estimativa do estado do processo de biodigestão anaeróbia nos sistemas de tratamento ....51
4.5 Variabilidade de massa dos dejetos nos sistemas de tratamento ....54
4.6 Análise de variância para as eficiências de remoção de ST, SF e SV ....55
4.7 Análise de Remoção de ST, SF e SV nos sistemas de tratamento ....55
4.8 Teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás produzido pelos biodigestores ....57
4.9 Produção estimada de biogás por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização ....58

**5. CONCLUSÕES ..... 60**
**6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 61**
**APÊNDICE A – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS ..... 75**
**APÊNDICE B – pH, ACIDEZ VOLÁTIL, ALCALINIDADE TOTAL E RELAÇÃO AV/AT ..... 77**
**APÊNDICE C – RESULTADOS DA ANÁLISE DE DENSIDADE ..... 79**
**APÊNDICE D – REMOÇÃO DE SÓLIDOS ..... 80**
**APÊNDICE E – PRODUÇÃO ESTIMADA DE BIOGÁS ..... 82**
**APÊNDICE F – LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E BIODIGESTORES ..... 83**

# 1. INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande importância social e econômica, principalmente nos estados da região sul do Brasil, promovendo a geração de empregos diretos e indiretos, além de grandes transações no mercado nacional e internacional (VIVAN et al., 2010). Nesse contexto, a região oeste do estado do Paraná ganha destaque devido aos incentivos promovidos ao setor suinícola por meio de sistemas de cooperativas instaladas na região que promovem o desenvolvimento do setor.

Essa atual expansão foi provocada por meio da adoção de sistemas confinados que possuem como característica a alta concentração de animais por área, que colaboram com a maior produção, consequentemente uma maior movimentação financeira através da comercialização da carne suína (LEITE; CUNHA NETO; RESENDE, 2009).

Entretanto, na medida que o setor aumenta, cresce da mesma maneira ou até mais, a quantidade de resíduos gerados, principalmente na área da produção de animais que é responsável por grandes quantidades de dejetos. Quando os resíduos gerados não são tratados ou dado um destino adequado, essa atividade pode poluir as águas, o solo, a qualidade do ar por meio da emissão de maus odores, além de provocar a proliferação de insetos, permitindo assim a existência de um ambiente insalubre e prejudicial ao ser humano (BARRETO; CAMPOS, 2009).

Desta maneira, surge então o desafio para a sociedade, que consiste no aumento da produção de suínos sem perder a qualidade ambiental, além de atender e estar em conformidade com os requisitos dispostos pela legislação ambiental brasileira.

Uma das maneiras encontradas para que ocorra a redução do potencial poluidor da atividade, concentra-se nas diferentes estratégias de manejo dos dejetos que são ricos em matéria orgânica, nutrientes e patógenos, onde entre as tecnologias existentes destaca-se o uso de esterqueiras, bioesterqueiras, lagoas de estabilização e biodigestores (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009).

O princípio dessas técnicas consistem no processo de biodigestão anaeróbia, que é responsável pela remoção da carga orgânica através da fermentação da

biomassa, realizado através da ação de microrganismos anaeróbios em quatro etapas, que são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Contudo, essas técnicas possuem objetivos, aspectos técnicos, tempo de duração e eficiências distintas, onde acrescenta-se aos biodigestores, além da redução da carga orgânica e obtenção do biofertilizante a possibilidade de geração de energia por meio do biogás produzido que pode ser coletado, armazenado e utilizado na forma elétrica, térmica ou veicular, ao contrário das demais técnicas que liberam metano ($CH_4$) e dióxido de carbono ($CO_2$) para a atmosfera.

O biogás, resultado da biodigestão anaeróbia da biomassa residual da suinocultura, é considerado uma fonte com elevado potencial para a produção de energia, sendo uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética brasileira que proporciona a redução da dependência de combustíveis fósseis, além de contribuir para a mitigação do efeito estufa que poderá originar créditos de carbono que podem ser comercializados gerando retorno financeiro ao produtor (AVACI et al., 2013; LUO; VAN DER VOET; HUPPES, 2009).

Assim, a escolha da técnica de manejo de dejetos a ser utilizada nos empreendimentos suinícolas, constitui em uma alternativa interessante que assegura nas zonas de produção intensiva, a sobrevivência e a sustentabilidade da atividade em suas três esferas: social, econômica e ambiental (CAMPOS et al., 2012).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Através da abordagem do tema exposto, este trabalho tem como objetivo fazer uma análise comparativa de dados obtidos através do manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura que utilizam lagoas de estabilização e biodigestores localizados no município de Toledo - PR, avaliando as eficiências e suas contribuições reais e possíveis para a sustentabilidade ambiental.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar os dejetos da suinocultura de crescimento e terminação;
- Determinar e avaliar a remoção de sólidos totais, fixos e voláteis;
- Analisar a estimativa do estado do processo de biodigestão anaeróbia;
- Avaliar a variabilidade de massa dos dejetos;
- Analisar o teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente nos biodigestores;
- Calcular a produção estimada de biogás por sólidos voláteis removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 A diversificação da matriz energética e elétrica mundial e nacional

O cenário energético mundial tem apresentado aumentos significativos na demanda de energia devido ao crescimento econômico e populacional já que consiste no principal insumo da indústria, bem como de grande parte das atividades humanas (SUGANTHI; SAMUEL, 2012).

Os combustíveis fósseis representam a maior parcela de fontes de energia, entretanto, são limitadas e diminuem gradativamente, estimulando os países a reduzirem seu uso e investirem no aumento da contribuição das fontes renováveis de energia (DESTOUNI; FRANK, 2010).

As fontes renováveis de energia estão ganhando espaço na matriz energética pois, além de possuírem características ambientalmente favoráveis, podem promover a independência energética dos países (OKAMURA, 2013).

Neste contexto, a matriz energética brasileira está se mostrando um exemplo na baixa emissão de carbono, sendo a sexta economia do mundo e a 18º no ranking das nações referentes as emissões de gases do efeito estufa devido a produção e ao uso de energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2012).

A participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira em 2016 esteve entre as mais elevadas do mundo, apresentando cerca de 43,5%. Na matriz elétrica brasileira, destacaram-se a energia hidráulica, gás natural e a biomassa, com 68,1%, 9,1% e 8,2%, respectivamente, como pode ser visto na Figura 1 (EPE, 2017).

Entre as formas de energia citadas, a energia provinda da biomassa vêm se destacando fortemente no Brasil, pois é identificada como a região do planeta mais propensa à produção de biomassa, seja ela de origem animal ou vegetal, reflexo da ampla presença das atividades agrícolas e agropecuárias em todo país (TOLMASQUIM, 2012).

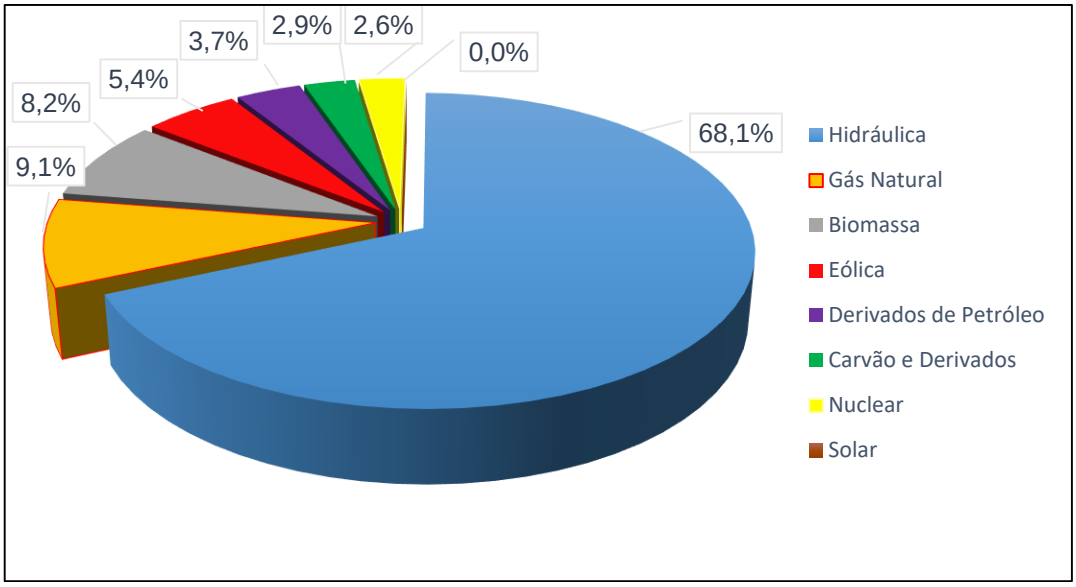


Figura 1 - Matriz elétrica brasileira.
Fonte: Adaptado de EPE (2017)

Por outro lado desafios para a maior participação da biomassa como fonte de energia elétrica ainda se impõem de modo geral e especificamente a cada tipo de biomassa, relacionados à sua produtividade, qualidade, tecnologias empregadas e custos (TOLMASQUIM, 2016).

## 2.2 Suinocultura: dados e características

A carne suína é considerada uma das principais fontes de proteína animal produzida e consumida no mundo, conforme dados de 2014, os maiores produtores consistem em China, União Europeia, Estados Unidos e Brasil (AGROCOTAÇÕES, 2017).

Nesse mesmo ano, a produção mundial de carne suína atingiu cerca de 110,6 milhões de toneladas, onde o Brasil representou o quarto maior exportador da carne, com 505 mil toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, União Europeia e Canadá (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2015).

O Brasil é responsável por produzir anualmente cerca de 3,2 milhões de toneladas de carne suína, onde destaca-se a região sul como maior produtor e exportador do país, possuindo quase 50% do rebanho pertencente ao território nacional, além de grande responsável pela geração de empregos em toda cadeia suinícola (CENTRO SEBRAE DE SUSTENTABILIDADE, 2016; VIVAN et al., 2010).

Essa atividade é desenvolvida principalmente em propriedades rurais de pequeno porte e situa-se como de grande importância para o complexo agropecuário brasileiro (DUDA; OLIVEIRA, 2011).

A adoção de confinamentos de suínos faz com que esses empreendimentos ocupem pequenas áreas, paralelamente, a geração de resíduos provocados pela atividade também necessitam ocupar pequenos espaços, porém, são gerados altos volumes de águas residuárias, principalmente devido a higienização das instalações, possuindo elevadas concentrações de sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), agentes patogênicos, além de metais pesados e sais diversos, contribuindo com a poluição ambiental (MAGALHÃES et al., 2006; OLIVEIRA; SANTANA, 2011; STEINMETZ et al., 2009).

Assim, os dejetos quando não manejados adequadamente, são fontes potenciais de degradação ambiental, além de poderem ocasionar riscos à saúde humana (ZANIN; BAGATINI; PESSATTO, 2010).

Em decorrência desses grandes volumes gerados, ocorre muitos problemas relacionados ao manejo, armazenamento, tratamento ou disposição no solo, o que pode refletir no aumento dos custos operacionais da atividade (BRANDÃO et al., 2000).

Entretanto, a esfera industrial da suinocultura vem promovendo, além do desenvolvimento econômico, o desenvolvimento social de muitos municípios brasileiros, através da geração de empregos em seus diversos setores, isso devido aos avanços tecnológicos e a organização do setor suinícola, chamado de integração (GARTNER; GAMA, 2005; MIELE; WAQUIL, 2007).

Nesse mesmo sentido, os sistemas intensivos de produção onde há a concentração de rebanhos em unidades confinadas vem ganhando espaço, em que a presença da indústria nesse setor influencia positivamente na sua expansão, contribuindo no emprego da tecnologia nos sistemas de manejo para ampliação da produção e modernização de instalações, além da aplicação de medidas de nutrição e sanidade (CABRAL, et al., 2011; CAMPOS et al., 2012).

Nos últimos anos, esse tipo de organização trouxe consigo através de programas de fomento e contratos, a coordenação da transação entre as agroindústrias e os suinocultores nos principais países produtores da carne (MIELE; WAQUIL, 2007).

### 2.2.1 Aspectos legais para a suinocultura

Os problemas ambientais provindos dos resíduos da atividade representam um enorme desafio para a suinocultura, devido ao crescimento e expansão do setor (BARRETO; CAMPOS, 2009; DAGA et al., 2007).

Assim, a adequação nas formas de manejo dos sistemas produtivos da atividade suinícola se tornam necessários para que ocorra a compatibilidade com a legislação ambiental vigente (DAGA et al., 2007).

No Brasil, a legislação ambiental é composta por leis, decretos, portarias e resoluções em nível federal, estadual e municipal, entretanto, não há uma legislação específica para a atividade suinícola. No entanto, esse setor deve cumprir alguns instrumentos legais que ordenem sua atividade (PALHARES, 2007).

As legislações ambientais brasileiras que relacionam-se à suinocultura estão citadas e descritas a seguir:

- Lei Federal nº 6.938 de 21 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981);
- Resolução Conama nº 01 de 23 de janeiro de 1986, dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, 1986);
- Resolução Conama nº 237 de 19 de dezembro de 1997, dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental (CONAMA, 1997);
- Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2005).

O Código Florestal que estabelece como o manejo de recursos da flora deve ser feito na zona rural e urbana, determinando metragens e áreas que devem ser preservadas e protegidas, sendo assim, também relaciona-se com os instrumentos legais à serem cumpridos pela atividade suinícola (PALHARES, 2007).

Desta maneira, o licenciamento ambiental estabelecido para a suinocultura objetiva em curto prazo a redução do seu potencial poluidor, minimizando prováveis impactos negativos que possa proporcionar ao ambiente.

A modalidade do licenciamento para a suinocultura é definido pelo tipo de sistema e a quantidade de matrizes ou animais, como pode ser visto na Tabela 1 (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP, 2017).

Tabela 1 - Modalidades de licenciamento para a suinocultura conforme sistema e quantidade de matrizes ou animais

| Modalidade de Licenciamento | Sistema 1 (matrizes) | Sistema 2 (matrizes) | Sistema 3 (animais) |
|---|---|---|---|
| DLAE | 1 – 3 | 1 - 3 | 1 – 10 |
| LAS | 4 – 50 | 4 - 20 | 11 – 200 |
| LP/LI/LO | ≥ 51 | ≥ 21 | ≥ 201 |

Legenda: DLAE - Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual; LAS - Licença Ambiental Simplificada; LP - Licença Prévia; LI - Licença de Instalação; LO - Licença de Operação; Sistema 1 – Produção de Leitões = tem matrizes e a fase termina quando os leitões atingem o tamanho ideal para venda (25 kg); Sistema 2 - Ciclo Completo = tem matrizes que produzem os leitões os quais permanecem na granja até atingirem o peso de serem levados para o abate; Sistema 3 – Crescimento e Terminação = é comprado o leitão e ele permanece até atingir o peso ideal para ser levado ao abate
Fonte: Adaptado de IAP (2017).

### 2.2.2 Programas de incentivo ao uso de biodigestores na suinocultura e o mercado do crédito de carbono

A possibilidade de tornar a atividade suinícola mais sustentável, tanto no aspecto econômico, como no ambiental, surge com a obtenção de receitas por meio de créditos de carbono através da redução de emissão de GEE, desde que adotadas as alternativas tecnológicas adequadas para concretizar essa meta (ANGONESE; CAMPOS; WELTER, 2007; KONZEN, 2006).

O mercado de créditos de carbono foi criado a partir da assinatura do Protocolo de Quioto em 1997, do qual constitui um tratado complementar à Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, definindo metas de redução de emissões (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2017).

Os créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de GEE, em que uma tonelada de $CO_2$ equivale a um crédito de carbono, onde se é dado um valor monetário à redução da poluição, podendo os países participantes a compra dos créditos de carbono de outras nações, como o Brasil que também é signatário do acordo

(SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE, 2017).

A utilização de biodigestores com a geração de biogás nos empreendimentos suinícolas, seja ele para geração de eletricidade ou para simples queima é uma atividade que permite a obtenção dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER), conhecidos como créditos de carbono, isso porque, mesmo produzindo o $CO_2$ durante a queima, que também é um gás na lista dos gases causadores do efeitos estufa, o $CH_4$ deixado de emitir para a atmosfera possui um impacto de efeito estufa cerca de 21 vezes maior que o $CO_2$ (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010; GILROYED et al., 2010).

No Brasil, surgiram então programas de incentivo ao uso de biodigestores em propriedades, objetivando além da redução da poluição emitida pelas atividades, o comércio no mercado de crédito de carbono.

Em 2010, com a determinação da Política sobre Mudanças Climáticas e dos compromissos brasileiros estabelecidos no Acordo de Copenhague, o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) foi desenvolvido na busca pela sustentabilidade rural, como a implementação, manutenção e melhoramento de sistemas de tratamento de dejetos e resíduos provenientes da produção de animais a fim de gerar energia (ECYCLE, 2016).

Em dezembro de 2004, a Sadia criou o Instituto Sadia de Sustentabilidade com o intuito de estruturar seus investimentos e inciativas nas esferas sociais e ambientais, que fez com que no ano de 2005 fosse implementado o Programa Suinocultura Sustentável Sadia (3S), que teve como objetivo o envolvimento dos suinocultores ligados a empresa na redução das emissões de gases do efeito estufa e a participação na comercialização de créditos de carbono por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (SUINO, 2005).

O programa consistia na implantação de biodigestores e *flares* nos empreendimentos suinícolas integrados da Sadia, grande parte com produtores de pequeno ou médio porte, visando que o retorno das vendas de crédito de carbono seriam todos revertidos nas próprias granjas, tornando a iniciativa uma fonte de recursos para os produtores, atingindo as três esferas: social, econômica e ambiental (SUINO, 2005).

## 2.3 Biomassa residual

A biomassa é considerada como toda matéria orgânica, de origem animal, vegetal ou de microrganismos, constituída de elementos como carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e pequenas proporções de enxofre passível de ser transformada em uma fonte de energia (GUEDES et al., 2010; VIEIRA et al., 2014). Pode ser derivada de efluentes e resíduos originários de cadeias produtivas rurais, agroindustriais e urbanas.

Os resíduos provenientes da biomassa animal são considerados fonte potencial de energia disponível, em contrapartida, são extremamente poluentes ao ambiente quando não manejados adequadamente (AVACI et al., 2013).

Neste mesmo sentido, Esperancini et al. (2007), relatam que a geração de energia por meio da tecnologia referente ao aproveitamento da biomassa residual animal estimula o uso racional dos recursos provenientes da exploração agrícola, além de favorecer a diminuição do consumo e gastos com outras fontes energéticas.

A biomassa animal proveniente da bovinocultura e da avicultura é muito utilizada e quando em grandes quantidades, representa importante fonte de energia. Porém, de acordo com Pereira, Maia e Camilot (2008), a biomassa residual animal proveniente da suinocultura tem maior importância, devido ao maior confinamento e concentração animal nesta atividade, além de favorecer o equilíbrio da balança comercial brasileira.

A biomassa residual da atividade suinícola, denominada também como dejetos líquidos de suínos é caracterizada como sendo a mistura de urina, fezes, restos de ração, pelos, poeira, água desperdiçada dos bebedouros e da higienização (KONZEN et al., 1997). A Tabela 2 expressa a quantidade dessa geração em termos de massa sólida e líquida de acordo com as categorias de classificação das fases produtivas.

Esses dejetos podem apresentar elevados teores de sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, manganês, ferro, zinco, cobre e agentes patogênicos (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; MAGALHÃES et al., 2006).

Tabela 2 - Produção média de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos

| Categoria | Esterco (kg animal.dia$^{-1}$) | Esterco + Urina (kg animal.dia$^{-1}$) | Dejetos líquidos (L animal.dia$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| Suínos (25 – 100kg) | 2,30 | 4,90 | 7,00 |
| Porcas Gestantes | 3,60 | 11,00 | 16,00 |
| Porcas Lactantes | 6,40 | 18,00 | 27,00 |
| Machos | 3,00 | 6,00 | 9,00 |
| Leitões desmamados | 0,35 | 0,95 | 1,40 |

Fonte: OLIVEIRA (1993).

Os dejetos suínos líquidos provindos da suinocultura podem alterar a capacidade de retenção e filtração de nutrientes do solo, favorecer a emissão de gases tóxicos, poluentes e odores desagradáveis ao ar, provocar o excesso de nitrogênio e fósforo na água, contribuir para o desaparecimento de espécies vegetais e animais encontrados no ambiente, além de favorecer a proliferação de insetos e a disseminação de doenças (BARRETO; CAMPOS, 2009; PEREIRA; MAIA; CAMILOT, 2008).

## 2.4 Biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia consiste no processo de tratamento de uma variedade de resíduos orgânicos provindos da produção animal e de alimentos, que constituem a chamada biomassa residual (NIELSEN; ANGELIDAKI, 2008; XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

O processo de biodigestão anaeróbia ocorre através da degradação da biomassa residual por reações bioquímicas provocadas por diferentes microrganismos que transformam compostos orgânicos complexos em compostos mais simples na ausência de oxigênio (FANTOZZI; BURATTI, 2009).

O processo de biodigestão anaeróbia ocorre através de quatro etapas denominadas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e a metanogênese, com atuação de microrganismos distintos em cada uma que auxiliam na degradação do substrato (ZHENG et al., 2009).

O fluxograma com as sequências do processo de biodigestão anaeróbia e os microrganismos envolvidos estão representados na Figura 2.

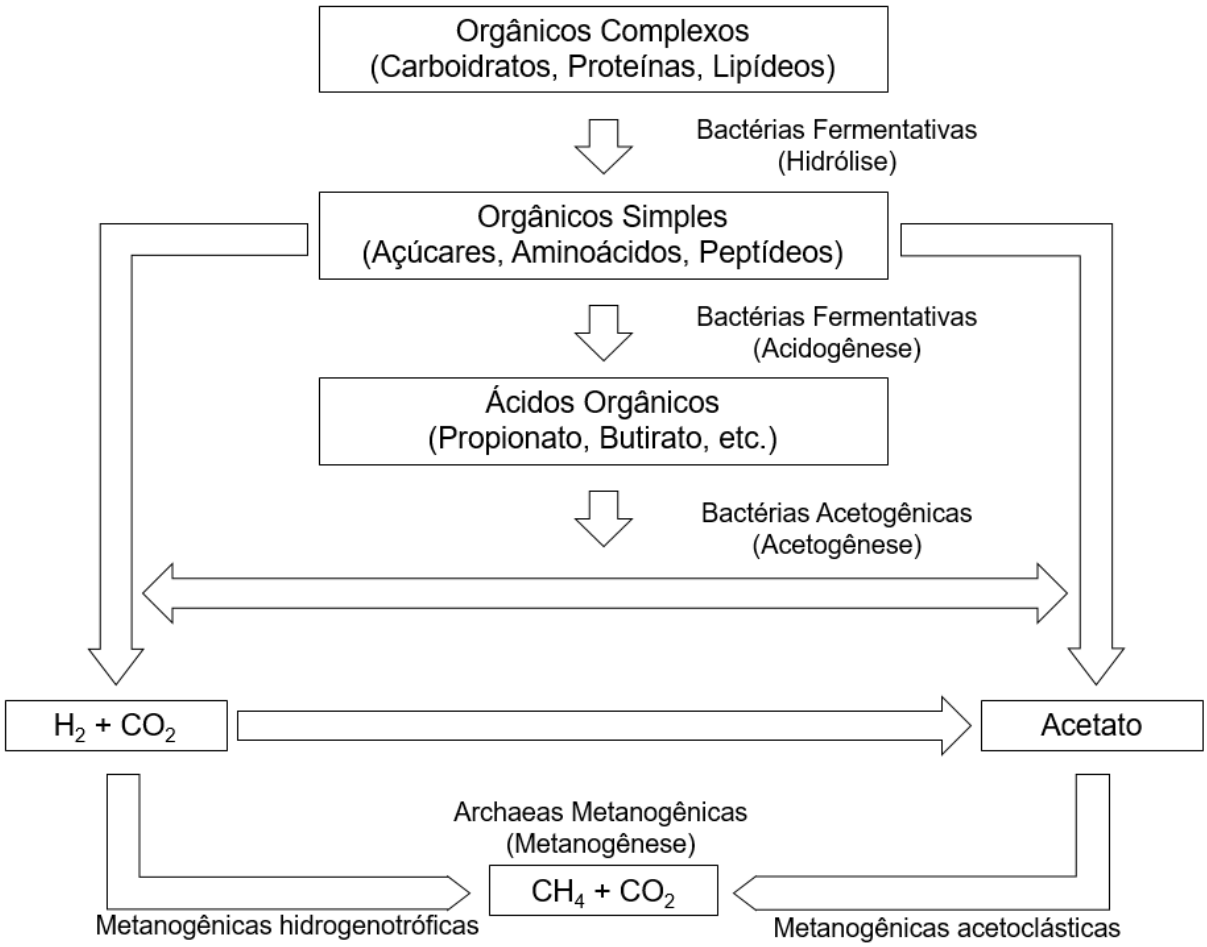


Figura 2 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia da matéria orgânica.
Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

As descrições das etapas do processo de biodigestão anaeróbia estão descritas a seguir:

1) Hidrólise

Constitui-se na primeira etapa do processo da digestão anaeróbia, responsável pela quebra da matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas, lipídeos) em materiais dissolvidos mais simples (açúcares, aminoácidos, peptídeos) através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (CHERNICHARO, 1997).

Essa etapa é limitante para o processo de digestão anaeróbia e pode ocorrer de forma lenta, pois requer um tempo de retenção longo e depende de vários fatores

que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado (LETTINGA; REBAC; ZEEMAN, 2001).

Os organismos que atuam nessa etapa são decorrentes do tipo de substrato que será digerido, onde pode-se destacar entre os gêneros de bactérias hidrolíticas (ANDERSON; SALLIS; UYANIK, 2003):

- Gêneros produtores de amilases que degradam polissacarídeos à açúcares menores: *Clostridium, Staphylococcus, Acetivibrio celluliticus*;
- Gêneros produtores de lipases que degradam lipídeos à ácidos graxos: *Clostridium, Micrococcus, Staphylococcus*;
- Gêneros produtores de proteases que degradam proteínas à aminoácidos: *Bacteroides, Vibrio, Clostridium, Proteus vulgaris, Peptococcus, Bacillus*.

2) Acidogênese

Nessa etapa, por meio das bactérias fermentativas acidogênicas, os compostos resultantes da etapa anterior são metabolizados, excretando substâncias mais simples**,** como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 1997).

Os gêneros mais comuns de bactérias acidogênicas atuantes na etapa da acidogênese são: *Clostridium, Bacteroides, Ruminococcus, Butyribacterium, Propionibacterium, Eubacterium, Lactobacillus, Streptococcus, Pseudomonas, Desulfobacter, Micrococcus, Bacillus* e *Escherichia* (ANDERSON; SALLIS; UYANIK, 2003).

3) Acetogênese

A terceira etapa do processo é caracterizada pela transformação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato para os microrganismos responsáveis pela metanogênese, que são o gás hidrogênio ($H_2$), o dióxido de carbono ($CO_2$) e o acetato (CHERNICHARO, 1997).

São encontrados no processo anaeróbio as bactérias acetogênicas *Syntrophobacter, Syntrophomonas, Acetobacterium, Acetoanaerobium, Acetogenium, Butribacterium, Clostridium* e *Pelobacter* (ANDERSON; SALLIS; UYANIK, 2003).

4) Metanogênese

A última etapa da degradação anaeróbia da matéria orgânica consiste na metanogênese, onde ocorre a produção de $CH_4$ e $CO_2$ por meio das archaeas metanogênicas, que se dividem dois grupos (CHERNICHARO, 1997; ANDERSON; SALLIS; UYANIK, 2003):

- Metanogênicas hidrogenotróficas que utilizam o $CO_2$ e o hidrogênio para formação do $CH_4$, onde os gêneros mais encontrados são o *Methanobacterium, Methanospiprillum* e *Methanobrevibacter*; e
- Metanogênicas acetoclásticas que utilizam o acetato como fonte de energia e carbono, responsáveis por cerca de 60 a 70% de toda a produção de $CH_4$, destacando-se os gêneros *Methanosarcina* e *Methanosaeta*.

A degradação da matéria orgânica proporcionada pelo processo de biodigestão anaeróbia favorece para que ocorra também a diminuição da demanda química e bioquímica de oxigênio, da quantidade de sólidos totais e voláteis, além do número de patógenos, contribuindo com o saneamento da área (ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007).

Desta maneira, a biodigestão anaeróbia é vista como uma tecnologia ambiental sustentável e atrativa no setor agrícola e agropecuário devido as enormes gerações de resíduos produzidos nessas atividades, em que se propicia a estabilização da matéria orgânica e geração de energia renovável, além de um digestato rico em nutrientes que pode ser utilizado como biofertilizante (KAPARAJU; RINTALA, 2011).

Alvarez e Gunnar (2008), também relatam que a biodigestão anaeróbia pode contribuir de forma favorável com a redução da poluição advinda da biomassa residual animal, além de gerar subprodutos como o biogás e o biofertilizante.

Através da biodigestão anaeróbia, ressalta-se ainda a redução dos teores de $CH_4$ que seriam emitidos para a atmosfera, proporcionando a redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE) (BAYLIS; PAULSON, 2011).

É assim que o interesse por esse tratamento de dejetos animais vêm aumentando devido a mitigação da poluição que proporciona, além de benefícios sociais e econômicos trazidos pela possibilidade de geração de fonte renovável de energia (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

### 2.4.1 Fatores que influenciam na biodigestão anaeróbia

A análise de parâmetros físico-químicos é importante para o monitoramento das condições ambientes do processo de biodigestão anaeróbia e para a produção qualiquantitativa do biogás (GALBIATTI et al., 2010).

#### 2.4.1.1 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importante nas diferentes etapas da biodigestão anaeróbia, isso porque os microrganismos não possuem meios de controlar sua temperatura interna, onde se a temperatura estiver acima ou abaixo de sua faixa ótima que permite seu desenvolvimento, pode ocorrer a inibição desses microrganismos (CHERNICHARO, 1997).

A maioria das bactérias metanogênicas são ativadas em duas faixas de temperatura, a faixa mesofílica, que varia entre 30 e 35 ºC e a faixa termofílica, que varia entre 50 e 60 ºC, sendo que condições ótimas são obtidas com temperaturas próximas a 35 ºC (CHERNICHARO, 1997).

#### 2.4.1.2 Acidez volátil, alcalinidade total e potencial hidrogeniônico (pH)

A acidez volátil mede a concentração de radicais ácidos que a amostra possui, assim demonstrando sua resistência em permitir a elevação do pH. Já a alcalinidade total é a capacidade de uma amostra em neutralizar ácidos, devido a concentração de radicais alcalinos presentes.

A alcalinidade atua como um tampão que impede alterações bruscas de pH, sendo importante seu monitoramento, já que a atividade enzimática sofre influência do pH, portanto, é necessário manter uma faixa adequada que possibilite o desenvolvimento máximo dos microrganismos envolvidos, uma vez que o pH está diretamente relacionado com as concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, o que resulta no equilíbrio entre microrganismos e a alcalinidade total do sistema (PEREIRA; CAMPOS; MONTERANI, 2009).

Para as bactérias acidogênicas, a atividade enzimática acontece com pH acima de 5,0, em contrapartida, para as bactérias metanogênicas a atividade

enzimática não ocorre com pH inferior a 6,2, onde a operação normal consiste com um pH entre 6,8 e 7,2, no entanto, esse valor tende a diminuir durante a formação de ácidos voláteis, porém, conforme ocorre o consumo deles pelos microrganismos metanogênicos, é produzida alcalinidade, tendendo o pH à estabilização (GERARDI, 2003).

A relação AV/AT é utilizada como uma estimativa do estado do processo de digestão, que segundo Silva (1977), é a chave para o sucesso de uma boa digestão anaeróbia, onde enquanto essa relação variar entre 0,1 e 0,5, a digestão está ocorrendo sem problemas, mas quando ultrapassar 0,5, mostra que está ocorrendo algum distúrbio ou sobrecarga do processo.

#### 2.4.1.3 Nutrientes

Concentrações adequadas de macro e micronutrientes são necessárias para que os processos através de microrganismos possam ocorrer de forma adequada, sem afetar suas taxas de crescimento e inibir suas atividades.

Para Chernicharo (1997) são necessários alguns nutrientes para o crescimento da massa microbiana que são: os macronutrientes inorgânicos (nitrogênio (N) e fósforo (P)) e os micronutrientes inorgânicos (principais: potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), sódio (Na) e cloro (Cl); secundários: zinco (Zn), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), cobalto (Co), cobre (Cu), níquel (Ni), vanádio (V) e tungstênio (W)).

Após o carbono, o nitrogênio é o nutriente mais importante para a execução do processo de biodigestão anaeróbia, em que para a produção de biogás, uma relação carbono/nitrogênio (C/N) de pelo menos 25:1 é necessária (GERARDI, 2003).

#### 2.4.1.4 Tempo de retenção

O tempo de retenção é considerado o tempo necessário para que um substrato possa ser totalmente digerido, ou seja, refere-se ao tempo entre a entrada do efluente a ser tratado e a saída dele após passar pelo processo de biodigestão anaeróbia, dependendo do tipo de biodigestor e da biomassa a ser tratada, assim, o

tempo de retenção é definido pela relação entre o volume da carga diária e do reator onde será realizado o processo (SALOMON, 2007).

## 2.5 Formas de manejo e tratamento de dejetos suínos

O tratamento de resíduos provindos das atividades suinícolas capazes de reduzir a carga poluidora podem consistir nos processos físicos, químicos e/ou biológicos (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009). Todavia, no Brasil, as condições ambientais mostram-se favoráveis a aplicação de tratamentos biológicos para dejetos, em decorrência dos custos baixos de operação, alta eficiência, geração de subprodutos com grande aplicabilidade e retorno econômico (VIVAN et al., 2010).

A limpeza das instalações de suínos em propriedades rurais são responsáveis pela geração de grandes volumes de efluentes, onde se torna viável a aplicação de tratamentos anaeróbios (ORRICO JÚNIOR, ORRICO, LUCAS JÚNIOR, 2009).

Produtores observando o aumento de sua produção e consequente geração de resíduos, reconheceram a importância de dar um destino correto à eles, adotando esterqueiras, bioesterqueiras, lagoas de estabilização e/ou biodigestores para armazenar e tratar os efluentes provindos da atividade (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2011; VIVAN et al., 2010).

As formas de manejo dos resíduos da suinocultura mais utilizadas são através do armazenamento em lagoas de estabilização ou esterqueiras por períodos determinados pela legislação vigente no local, utilizando posteriormente como fertilizante nas lavouras e condicionador do solo (HIGARASHI et al., 2008; VIVAN et al., 2010).

Porém, essas práticas utilizadas vêm perdendo espaço devido a necessidade de grandes áreas para implantação dos sistemas de tratamento, do dimensionamento errado que não permite espaço e tempo adequado, além da poluição ambiental através das emissões de amônia, odores e patógenos presentes em regiões com intensa produção (ANGONESE; CAMPOS; WELTER, 2007; MASSÉ; TALBOT; GILBERT, 2011).

Assim, surge o interesse em tecnologias consideradas mais ambientalmente sustentáveis que possam substituir o uso de lagoas para o tratamento dos resíduos dessa atividade (VANOTTI et al., 2009).

Diante disso, a biodigestão anaeróbia por meio de biodigestores é a tecnologia que aparece como meio de viabilizar o manejo adequado dos resíduos gerados, isso porque, além de gerar um biofertilizante mais rico em nutrientes, possibilita também a geração e aplicação energética do gás que seria emitido para a atmosfera (ESPERANCINI et al., 2007).

### 2.5.1 Esterqueiras e bioesterqueiras

O sistema de esterqueira consta com apenas uma câmara com função de armazenar e estabilizar os dejetos de suínos com estrutura escavada na terra e impermeabilizada com lona plástica com no mínimo 2,5 m de profundidade e que deve possuir um tempo de retenção mínimo de cerca de 120 dias, onde não há separação de fases, deixando o biofertilizante mais concentrado (GOSMANN, 1997).

As bioesterqueiras são estruturas que possuem como finalidade o armazenamento e a estabilização de dejetos para uso fertilizante, construídas em alvenaria ou pedra com no mínimo de 2,5 m de profundidade, composta por duas câmaras, onde uma atua para a biodigestão anaeróbia com tempo de retenção teórico de 45 dias e a outra como armazenamento do biofertilizante entre 90 e 120 dias, totalizando de 135 a 165 dias de retenção, melhorando a eficiência do curtimento do dejeto e obtendo maior eficiência que os sistemas de esterqueiras (GOSMANN, 1997).

### 2.5.2 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização utilizadas para o tratamento de dejetos suínos são vistas como alternativas que apresentam baixo custo de implantação e manutenção, não apresentando exigências com cuidados operacionais (ESTRADA; HERNANDEZ, 2002). Além disso, demonstram-se eficazes na remoção da carga orgânica do efluente (DIAS; BITENCOURT; BEUX, 2006).

As lagoas de estabilização são estruturas escavadas, semi-enterradas ou térreas utilizadas no tratamento biológico de dejetos destacando-se as anaeróbias e facultativas dependendo do objetivo e que quando dimensionadas e manejadas corretamente fornecem um efluente final de boa qualidade (ALMEIDA, 2008).

As lagoas de estabilização anaeróbias são destinadas a redução e estabilização da matéria orgânica e na remoção de Coliformes fecais, além de boa eficiência na remoção de fósforo, apresentando uma estrutura retangular profunda com no mínimo 3,5 m de profundidade que é fundamental para que ocorra o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, além de ser revestida de lona plástica e dispor de caixas de distribuição e recolhimento de efluente tratado e dreno de gás, sendo considerada de fácil operação e com tempo de tratamento reduzido de 30 a 40 dias (OLIVEIRA, 2001; VITORATTO, 1998).

As lagoas de estabilização facultativas possuem como finalidade a redução da concentração de carbono, coliformes fecais, nitrogênio e fósforo por meio da atividade simbiótica com algas, e são estruturas consideradas rasas com 1,2 m de profundidade apenas (MEDRI, 1997).

A aplicação desses sistemas de tratamentos para dejetos animais contribuiu com a redução da poluição do solo e da água, porém, apresenta como desvantagem a emissão do gás metano para a atmosfera, um dos principais responsáveis do aquecimento global (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2011).

### 2.5.3 Biodigestores anaeróbios

Os biodigestores são estruturas físicas onde é inserido em solução aquosa o material orgânico, o qual fornece um ambiente favorável para os microrganismos responsáveis pelo processo de biodigestão que formará o biogás que será acumulado na parte superior ao líquido, retido através da campânula e um efluente final rico em nutrientes, chamado de biofertilizante (RICARDO, 2012; LANSING; BOTERO; MARTIN, 2008).

Recentemente, a biodigestão anaeróbia realizada através de biodigestores têm se destacado por ser uma técnica que contribui para o saneamento ambiental e a geração de energia renovável (GALBIATTI et al., 2010). Onde, dejetos animais, considerados com alto potencial poluidor para o ambiente, estão sendo amplamente utilizados como matéria-prima em biodigestores para produção de biogás (WU et al., 2010).

Entretanto, tomar conhecimento das características do resíduo da suinocultura a ser tratado a fim de se determinar os critérios técnicos necessários é

fundamental para se obter eficiência na redução do seu potencial poluidor (HIGARASHI; KUNZ; OLIVEIRA, 2007).

Os biodigestores sofrem alterações em suas estruturas em todo mundo devido ao material utilizado para sua construção e seus aspectos construtivos (RICARDO, 2012). Adaptações são realizadas nos modelos de biodigestores visando aumentar a eficiência do sistema (KUNZ; PERDOMO; OLIVEIRA, 2004).

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com sua alimentação em fluxo contínuo ou em batelada. Os biodigestores de fluxo contínuo referem-se àqueles em que são utilizados onde há a produção de resíduos diariamente (bovinocultura, suinocultura, entre outros). Já os biodigestores do tipo batelada são alimentados uma vez e possuem maior aplicação para resíduos produzidos em determinados intervalos de tempo (FLORENTINO, 2003).

O uso do biogás e do biofertilizante gerado através dos biodigestores permitem a amortização dos custos relacionados com a implantação da tecnologia e sua manutenção (PECORA, 2006).

Os modelos indiano, chinês, UASB (UpFlow Anaerobic Sludge Blanket) e canadense, representam os biodigestores de fluxo contínuo mais conhecidos e utilizados (RICARDO, 2012). São descritas algumas de suas características a seguir:

- Modelo indiano: caracteriza-se por possuir uma campânula que atua como um gasômetro de metal mergulhada sobre a biomassa ou em um selo d’água externo e uma parede central para permitir a circulação do material em seu interior (Figura 3), sendo considerado de fácil construção, contudo, pode ocorrer sua inviabilização econômica devido ao gasômetro de metal (FRIGO et al., 2015).

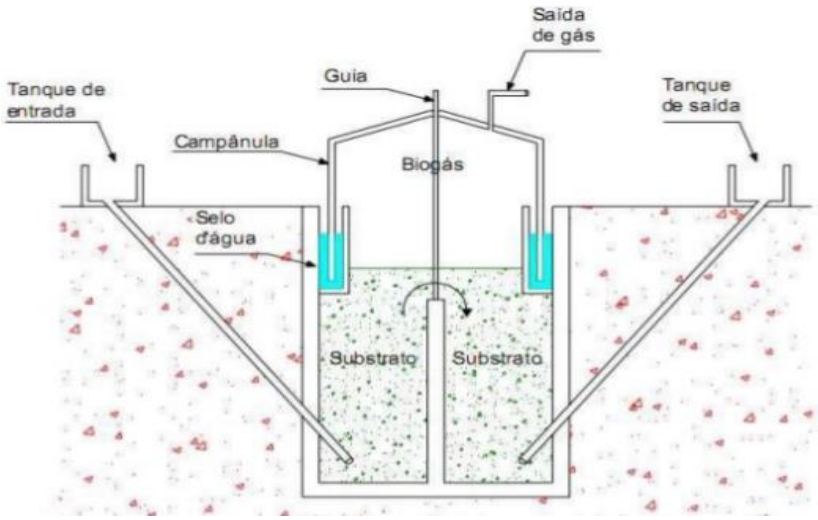


Figura 3 - Biodigestor modelo indiano.
Fonte: Verdério Júnior (2013)

- Modelo Chinês: constitui-se de uma câmara cilíndrica de alvenaria e um teto abaulado e impermeável (Figura 4), possuindo seu funcionamento no princípio de prensa hidráulica, e apresentando custos inferiores ao modelo indiano, porém, pode ocorrer vazamentos de biogás com uma vedação e/ou impermeabilização precária (FRIGO et al., 2015).

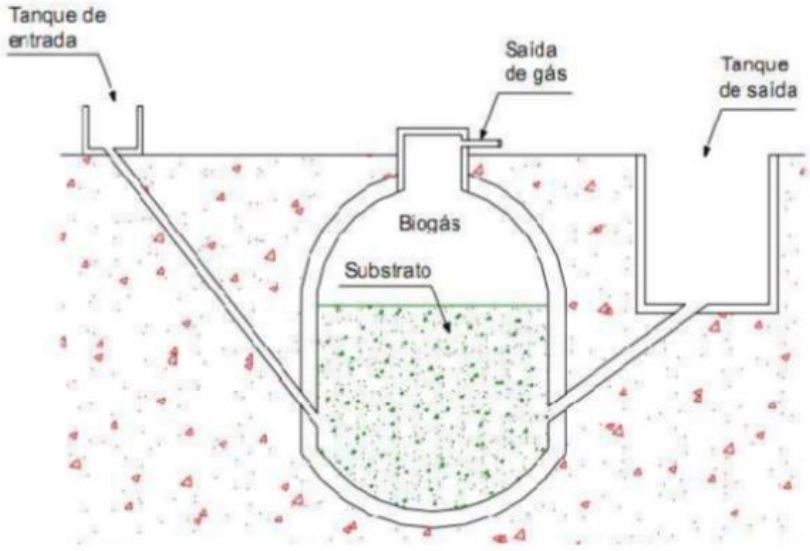


Figura 4 - Biodigestor modelo chinês.
Fonte: Verdério Júnior (2013)

- Modelo UASB: denominado como reator anaeróbio de fluxo ascendente (Figura 5), esse apresenta forma compacta, baixo tempo de retenção

hidráulica (TRH), mecanismos para retenção de sólidos, além de capacidade para altas cargas volumétricas, sendo indicado para uma variedade de águas residuárias (PRADO; CAMPOS; SILVA, 2010; VON SPERLING, 1996).

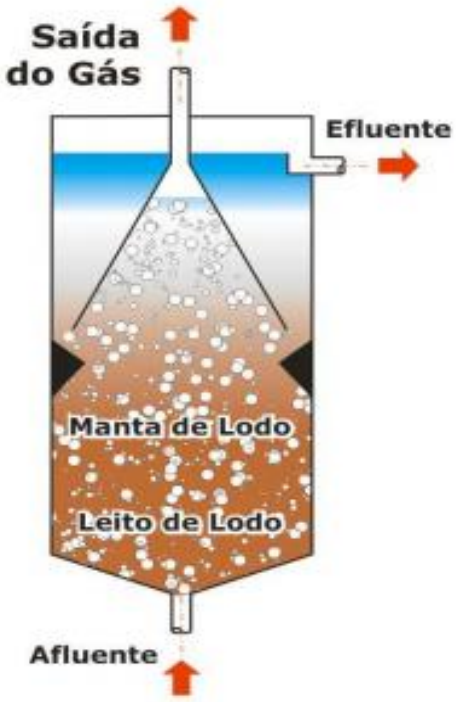


Figura 5 - Modelo esquemático da estrutura do reator UASB.
Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira - SAAE/IRA (2006)

- Modelo Canadense: é um biodigestor horizontal retangular, com sentido de fluxo tubular (Figura 6), possuindo a largura maior que a profundidade fornecendo uma grande área de exposição ao sol, construído em alvenaria, revestido com uma manta superior de lona plástica que é utilizada para reter o biogás produzido, atuando como uma campânula de armazenamento (FRIGO et al., 2015).

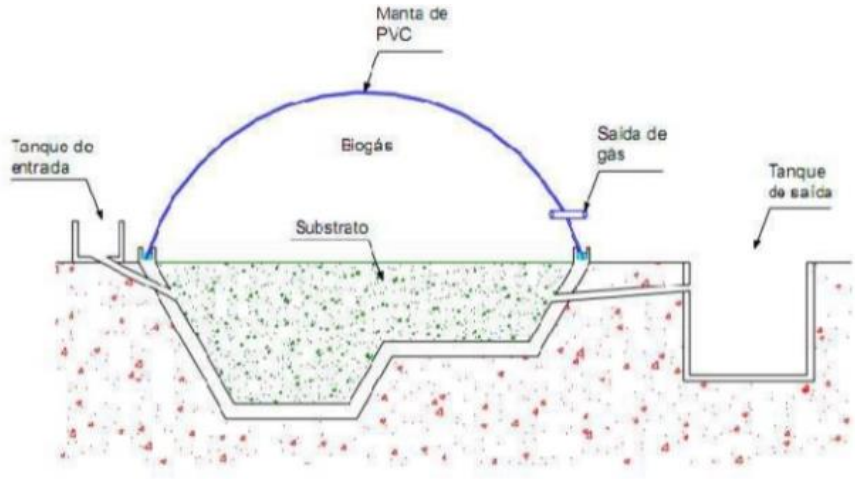


Figura 6 - Biodigestor modelo canadense.
Fonte: Verdério Júnior (2013)

Contudo, os biodigestores propiciam condições adequadas que promovem o pleno desenvolvimento dos microrganismos atuantes na biodigestão anaeróbia da biomassa como a temperatura, umidade, aeração e homogeneidade (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM, 2009).

Desta forma, promovem o tratamento do resíduo e retornam parte da energia que seria perdida de volta ao sistema produtivo (ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007).

## 2.6 Biogás

O biogás obtido através do processo de biodigestão anaeróbia em biodigestores é constituído de uma mistura com maiores quantidades de $CH_4$ e $CO_2$, além de quantidades menores de vapor de água e outros gases traços como o sulfeto de hidrogênio ($H_2S$), nitrogênio ($N_2$), oxigênio ($O_2$), hidrogênio ($H_2$), monóxido de carbono (CO), entre outros (PRADO; CAMPOS, 2008).

A mistura gasosa formada apresenta composição típica de $CH_4$ com cerca de 50 a 70%, $CO_2$ entre 25 e 45%, $H_2S$ numa proporção entre 0,005 e 2%, 1,0% de $H_2$, 0,5% $N_2$, 0,1% de CO e 0,1% $O_2$ (LANSING; BOTERO; MARTIN, 2008; MONTOYA et al., 2013).

Alguns fatores são fundamentais na influência da composição global do biogás e na concentração de metano encontrada, tais como: temperatura, pH, acidez,

alcalinidade, composição química do efluente a ser tratado e nutrientes, além de fatores que interferem em sua produção, como: o tipo de reator, a vazão, a carga, o tempo de retenção hidráulica, a velocidade do fluxo, entre outros (CHERNICHARO, 2007).

A qualidade do biogás é crucial tanto em seu conteúdo de $CH_4$, quanto de pureza, onde o constituinte principal da mistura é o $CH_4$ em que o poder calorífico do biogás será maior, conforme mais alto for sua porcentagem presente, sendo determinante para que ocorra a conversão do biogás em energia (PRADO; CAMPOS, 2008; WEISS et al., 2009).

Algumas características do $CH_4$ consistem em ser mais leve que o ar, inodoro, além de ter poder asfixiante, inflamável e explosivo, o que faz com que se necessite ter extremo cuidado no seu manejo (ANGONESE; CAMPOS; WELTER, 2007).

Com exceção do $CH_4$, os demais gases interferem negativamente no poder calorífico do biogás. O contaminante mais comum é o enxofre contido na forma de $H_2S$ que depende da composição do material orgânico fermentado (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009).

O $H_2S$ presente na mistura é o responsável por fornecer o odor característico, semelhante a ovo podre, quando ocorre a liberação do gás, além de proporcionar também a corrosão nas tubulações e peças metálicas utilizadas para sua condução ou em motores e equipamentos (MACHADO et al., 2015).

O contaminante, também não é desejável em processos de recuperação de energia, pois ele se converte na forma de dióxido de enxofre ($SO_2$) e ácido sulfúrico ($H_2SO_4$), que apresentam características corrosivas, insalubres e perigosas para o ambiente (GUERRERO, 2015).

Sendo assim, em função do uso pretendido do biogás, torna-se necessário a remoção de alguns componentes para potencializar seu poder calorífico e a vida útil e segurança de tubulações e equipamentos.

O biogás como fonte de energia possui diversas formas de utilizações e aplicações, dentre elas, a produção de calor, de eletricidade e como combustível veicular (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

De acordo com Zago (2003), o biogás pode ter seu poder calorífico oscilando de 5.000 a 6.000 kcal $m^{-3}$, com potencial para atingir 12.000 kcal $m^{-3}$.

Na Tabela 3, encontram-se valores correspondentes a equivalência do biogás, com 70% de $CH_4$ quando comparado à outros combustíveis.

Tabela 3 - Equivalência do biogás comparado a outros combustíveis

| **Equivalência de 1 m³ de Biogás** |
|---|
| 0,62 $m^3$ de gás natural |
| 0,26 $m^3$ de propano |
| 0,20 $m^3$ de butano |
| 1,6 kg de lenha |
| 0,6 L de gasolina |
| 6,5 kWh de eletricidade |

Fonte: Adaptado de Centro para a Conservação de Energia – CCE, 2000.

Martins e Oliveira (2011), relatam que a atividade da suinocultura está sujeita à volatilidade do mercado financeiro, assim, o biogás é uma opção de economia devido a sua aplicabilidade térmica, elétrica e/ou veicular para fins da própria propriedade suinícola, proporcionando a substituição ou redução de custos com as fontes energéticas normalmente utilizadas.

## 2.7 Biofertilizante

O biofertilizante é um subproduto da biodigestão anaeróbia da biomassa que é produzido em biodigestores e representa uma alternativa ambiental e economicamente interessante ao agricultor (CHICONATO et al., 2013).

Esse fato também é relatado por Medeiros et al. (2007) que explanam sobre a facilidade de se obter o biofertilizante, já que são compostos geralmente de excrementos de animais que sofrem o processo de biodigestão anaeróbia, assim substituem insumos importados necessários para a agricultura e, ainda promovem melhorias no saneamento ambiental de suas propriedades.

O biofertilizante atua nutricionalmente sobre o metabolismo vegetal das plantas, onde possui alta atividade microbiana e bioativa, proporcionando maior resistência e proteção contra agentes externos, além de contribuir com a ciclagem de nutrientes presentes no solo (MEDEIROS et al., 2003).

A aplicação do biofertilizante no solo promove ainda melhorias em suas propriedades físicas, estimulando as atividades biológicas, tornando-o mais solto, com menor densidade e reduzindo sua acidez (GALBIATTI et al., 1996).

## 2.8 Parâmetros de análise da qualidade de dejetos de suínos: antes e após manejo

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e densidade são consideradas como as principais variáveis que informam sobre a qualidade dos resíduos provindos da atividade suinícola, antes e após aplicação de tratamento para redução de seu potencial poluidor (SANTOS et al., 2007).

Na Tabela 4, encontra-se a caracterização físico-química de alguns parâmetros segundo alguns autores para dejetos suínos.

Tabela 4 - Caracterização físico-química de dejetos suínos segundo alguns autores

| Parâmetros físico-químicos | Autores | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Souza et al. (2009)[1] | | Gomes et al. (2009)[2] | | Vivan et al. (2010)[3] | Silva et al. (2015)[4] |
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | Média | Média |
| Temperatura (ºC) | - | - | 25,0 | 25,6 | - | - |
| pH | - | - | 7,32 | 7,39 | 7,12 | 7,16 |
| DQO (mg $L^{-1}$) | 61.972,36 | 112.800,00 | 29.599,00 | 31.440,00 | - | 30.800,20 |
| ST (mg $L^{-1}$) | 24.133,33 | 135.313,60 | 32.990,00 | 35.120,00 | 35.790,00 | 29.421,10 |
| SF (mg $L^{-1}$) | 2.609,67 | 27.648,33 | - | - | - | - |
| SV (mg $L^{-1}$) | 18.095,33 | 107.665,33 | 26.390,00 | 28.340,00 | 24.780,00 | 18.900,20 |
| N (mg $L^{-1}$) | 3.322,90 | 10.369,33 | 3.360,00 | 3.565,60 | 2.640,00 | - |
| P (mg $L^{-1}$) | 1.016,67 | 7.833,33 | 1.569,70 | 1.637,00 | 1.088,00 | - |
| K (mg $L^{-1}$) | 1.683,33 | 8.133,33 | - | - | - | - |

[1] Dejetos de suínos em fase de terminação, localizadas na região do Vale do Piranga, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais; [2] Unidade de terminação de suínos localizada no município de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul; [3] Estação de Tratamento de Dejetos Suínos (ETDS), unidade central para o tratamento de efluentes dos sistemas de produção de suínos da Embrapa Suínos e Aves; [4] granja de suinocultura com sistema de crescimento e terminação de suínos do munícipio de São Miguel do Iguaçu, estado do Paraná. DQO: Demanda Química de Oxigênio; ST: Sólidos Totais; SF: Sólidos Fixos; SV: Sólidos Voláteis; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio.

A Tabela 5 mostra a concentração de alguns parâmetros físico-químicos encontrados na saída de sistemas de manejo e tratamento de dejetos suínos obtidos por diferentes autores.

### 2.8.1 Demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio

A DBO caracteriza-se como sendo a quantidade de oxigênio consumida pelos microrganismos para decomporem apenas a porção biodegradável da matéria orgânica em um período pré-fixado, já a DQO representa a quantidade de oxigênio para oxidar toda a matéria orgânica (HIGARASHI; KUNZ; OLIVEIRA, 2007).

Um suíno, com relação a DBO, fazendo uso do conceito de equivalente populacional equivale a cerca de 3,5 pessoas (OLIVEIRA; DUDA, 2009). E sua capacidade poluente pode atingir até 4,6 vezes mais que a dos seres humanos (PERDOMO; LIMA, 1998).

Tabela 5 - Valores obtidos da análise físico-química na saída de sistemas de manejo e tratamento de dejetos suínos segundo alguns autores

| **Parâmetros físico-químicos** | **Autores** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Silva (1996)[1]** | | **Gomes et al. (2009)[2]** | | **Silva et al. (2015)[3]** | **Stival, Errera e Aisse (2017)[4]** | |
| | **Mínimo** | **Máximo** | **Mínimo** | **Máximo** | **Média** | **Mínimo** | **Máximo** |
| Temperatura (ºC) | - | - | 20,6 | 21,9 | - | | |
| pH | - | - | 6,50 | 8,40 | 7,59 | | |
| DQO (mg $L^{-1}$) | 11.530,20 | 38.448,00 | 2.662,10 | 2.722,50 | 12.492,60 | 3.367,00 | 5.433,00 |
| ST (mg $L^{-1}$) | 12.697,00 | 49.432,00 | 3.400,00 | 6.200,00 | 15.376,60 | | |
| SF (mg $L^{-1}$) | 4.268,00 | 10.408,00 | - | - | - | | |
| SV (mg $L^{-1}$) | 8.429,00 | 39.024,00 | 1.700,00 | 2.500,00 | 7.440,00 | 14.880,00 | 15.100,00 |
| N (mg $L^{-1}$) | 1.660,00 | 3.710,00 | 941,10 | 1.162,80 | - | | |
| P (mg $L^{-1}$) | 320,00 | 1.180,00 | 226,80 | 288,80 | - | | |
| K (mg $L^{-1}$) | 260,00 | 1.140,00 | - | - | - | | |
| AV/AT | - | - | - | - | 0,02 - 0,62 | 0,05 | 0,1 |

[1] Dejetos suínos com tratamento utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada; [2] Unidade de terminação de suínos localizada no município de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul com tratamento de dejetos com quatro lagoas de estabilização em série; [3] Estação de Tratamento de Dejetos Suínos (ETDS), unidade central para o tratamento de efluentes dos sistemas de produção de suínos da Embrapa Suínos e Aves com tratamento de dejetos através de dois biodigestores em série; [4] granja opera com suínos em terminação no município de Carambeí-PR com sistema de tratamento composto por um biodigestor seguido de duas lagoas de estabilização. DQO: Demanda Química de Oxigênio; ST: Sólidos Totais; SF: Sólidos Fixos; SV: Sólidos Voláteis; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Acidez Volátil/Alcalinidade Total.

### 2.8.2 Sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis

A matéria sólida sem umidade é constituída dos SF referentes a fração inorgânica e dos SV que representam a fração orgânica presente nos dejetos, onde juntos formam os ST (SANTOS et al., 2007). Os SV se caracterizam como sendo os responsáveis diretos pela produção de biogás por representarem a fração orgânica da biomassa.

O teste de ST é realizado para analisar quantitativamente a matéria sem a presença de água na forma de substâncias dissolvidas, coloidal e em suspensão através da pesagem do resíduo obtido após a evaporação (MELO et al., 2000).

Os SF são resultantes da submissão dos ST à ignição onde a fração orgânica é volatizada e a fração inorgânica permanece como SF na forma de cinzas, em contrapartida, os SV que correspondem ao conteúdo orgânico é obtido através da diferença entre os ST e SF, caracterizando a matéria biodegradável, onde quanto maior seu valor, maior o potencial de produção de biogás de determinada biomassa (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS BIOGÁS - CIBIOGÁS, 2017).

### 2.8.3 Densidade

A densidade é a relação entre a massa presente no dejeto e o volume por ele ocupado, assim, a densidade aferida antes de um tratamento tende a ser maior do que após, devido à redução de massa que deve ocorrer por meio do processo de biodigestão anaeróbia.

# 3. MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Nesse estudo foram analisados empreendimentos suinícolas localizados no município de Toledo – PR, situado no Terceiro Planalto Paranaense, na latitude de 24.7136º S e longitude de 53.7431º O, com uma altitude variando em torno de 560 metros. O clima é classificado como subtropical úmido mesotérmico segundo a classificação de Köeppen, caracterizada por verões quentes e geadas pouco frequentes, apresentando precipitação média anual de 1800 mm e temperatura média de 19ºC (PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO, 2011).

### 3.1.1 Identificação e características dos empreendimentos da suinocultura na área de estudo

Os empreendimentos que compreenderam esse estudo possuem sistema de produção determinado como Unidade de Crescimento e Terminação (UCT), com plantel animal que variou entre 800 a 1200 suínos, durante o período de coleta de dados. O ciclo compreendeu a engorda do animal de 20 kg até 110 kg aproximadamente, com tempo de alojamento variando de 110 a 115 dias, segundo informações obtidas nos locais de estudo.

A maioria desses empreendimentos já fizeram parte de programa de incentivo ao uso de biodigestores através de créditos de carbono, porém, atualmente alguns optaram pelo uso de lagoas de estabilização como técnica de manejo dos dejetos devido a interrupção de recursos dos investidores e os demais continuam operando biodigestores, porém, com recursos próprios. Assim, nesse estudo, foram analisados doze empreendimentos da suinocultura, sendo seis que utilizam lagoas de estabilização e seis que possuem biodigestores em operação, que se encontram distribuídos nos distritos de Três Bocas, Xaxim, Dez de Maio, Cerro da Lola, Novo Sobradinho e Linha Lajeado, pertencentes ao município de Toledo-PR.

Os empreendimentos identificados de 1 a 6 corresponderam as unidades que possuem biodigestores como técnica de manejo e tratamento dos dejetos. Já os empreendimentos de 7 a 12 corresponderam aos que utilizam lagoas de estabilização.

Essas informações e as coordenadas de localização de cada propriedade estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6 - Localização e identificação dos sistemas de manejo e tratamento dos dejetos suínos na área de estudo

| Propriedade | Latitudeº (S) | Longitudeº (O) | Sistema de manejo e tratamento |
|---|---|---|---|
| 1 | 24.5928 | 53.8492 | Biodigestor |
| 2 | 24.6091 | 53.7718 | Biodigestor |
| 3 | 24.7034 | 53.9362 | Biodigestor |
| 4 | 24.6319 | 53.8940 | Biodigestor |
| 5 | 24.6379 | 53.8969 | Biodigestor |
| 6 | 24.7160 | 53.8255 | Biodigestor |
| 7 | 24.6831 | 53.8031 | Lagoa de Estabilização |
| 8 | 24.6704 | 53.9251 | Lagoa de Estabilização |
| 9 | 24.6826 | 53.8213 | Lagoa de Estabilização |
| 10 | 24.6365 | 53.7357 | Lagoa de Estabilização |
| 11 | 24.6455 | 53.7483 | Lagoa de Estabilização |
| 12 | 24.6411 | 53.7381 | Lagoa de Estabilização |

Na Figura 7, é possível verificar a localização espacial no município de Toledo – PR dos empreendimentos suinícolas estudados.

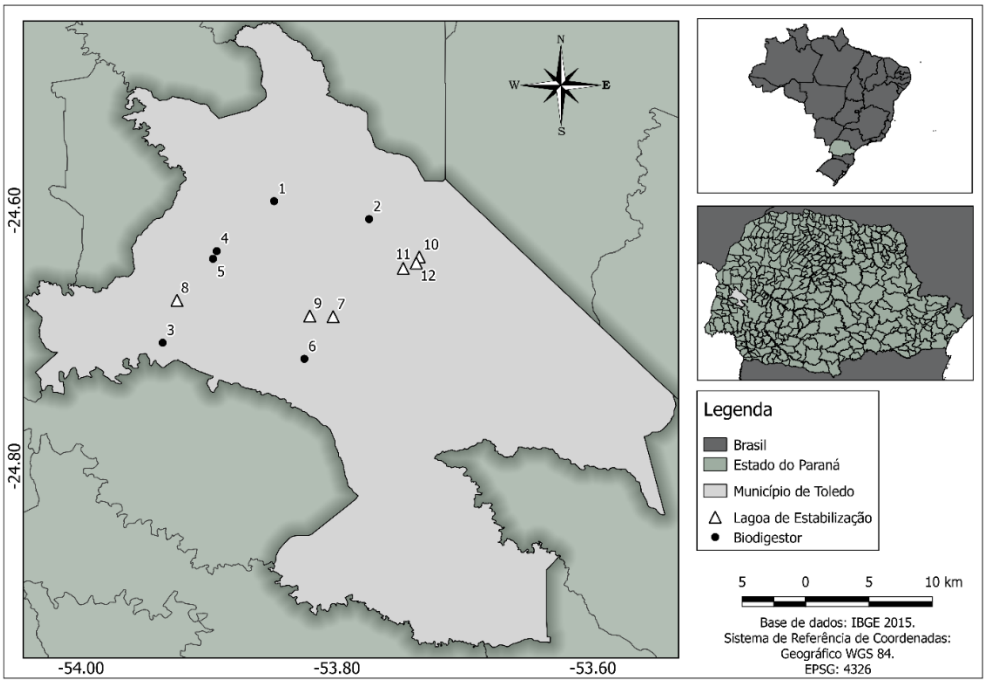


Figura 7 - Localização dos empreendimentos da suinocultura estudados pertencentes ao município de Toledo – PR.

A Figura 8 (A, B e C) mostra a estrutura de alguns dos sistemas de tratamento dos empreendimentos suinícolas estudados.

Figura 8 – Estruturas de alguns sistemas de tratamento de empreendimentos suinícolas estudados - caixa de passagem de dejetos (A); lagoa de estabilização (B) e biodigestor (C).

### 3.2 Procedimentos de coleta das amostras e local de realização das análises

Foram coletadas amostras em três meses distintos, no caso, setembro, outubro e novembro a fim de obter amostras representativas, durante mudança de estação climática, já que a temperatura influencia no processo de digestão anaeróbia.

Utilizou-se um coletor que foi adaptado para atender as necessidades dos ambientes de coleta e as amostras foram acondicionadas em garrafas PET (Politereftalato de Etileno) de 2 L (Figura 9), devidamente identificadas e armazenadas em congelador para posterior análise.

Os equipamentos e reagentes utilizados para realização das análises foram disponibilizados pelo Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) de Cascavel – PR.

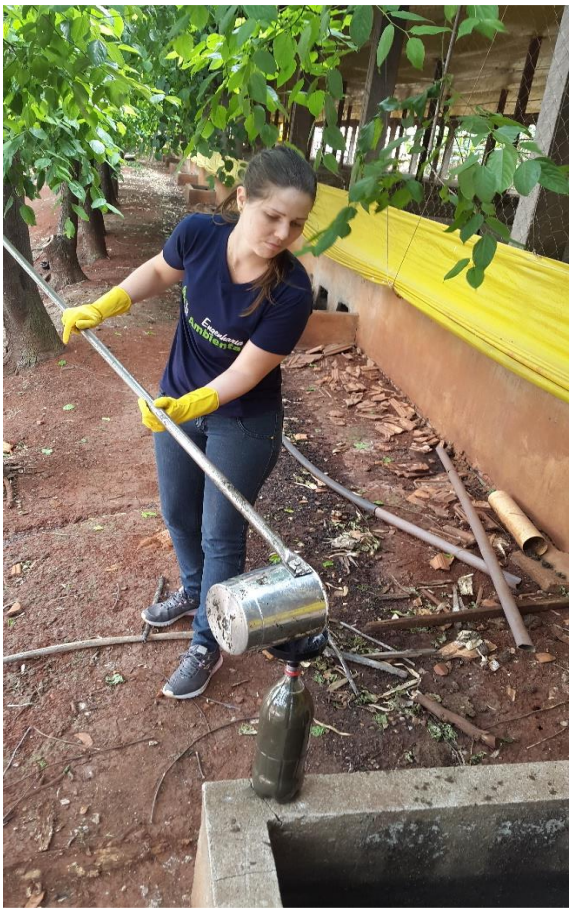

Figura 9 - Coleta das amostras.

### 3.3 Caracterização geral da biomassa

A caracterização geral da biomassa foi realizada através da análise dos dejetos de dois empreendimentos da suinocultura. Escolheu-se um com técnica de manejo de dejetos através de lagoa de estabilização e outro por meio de biodigestor, sem determinar critérios específicos para essa escolha. Os resultados obtidos foram comparados com a literatura disponível atual.

A caracterização consistiu na obtenção dos determinados parâmetros físico-químicos dos dejetos brutos: temperatura, pH, DQO, ST, SF, SV, N, P, K, AV/AT e D.

#### 3.3.1 Temperatura

A temperatura foi medida no fluxo de entrada de cada técnica de manejo de dejeto, por meio da utilização de um termômetro de mercúrio de precisão, com escala de 0 a 80 ºC.

#### 3.3.2 pH

Para medição do pH, antes do congelamento das amostras foi utilizado um pHmetro de bancada modelo Tec-3MP, fabricado pela empresa TECNAL Equipamentos Científicos. Na Figura 10, pode ser observada a utilização do equipamento para mensurar o pH das amostras.

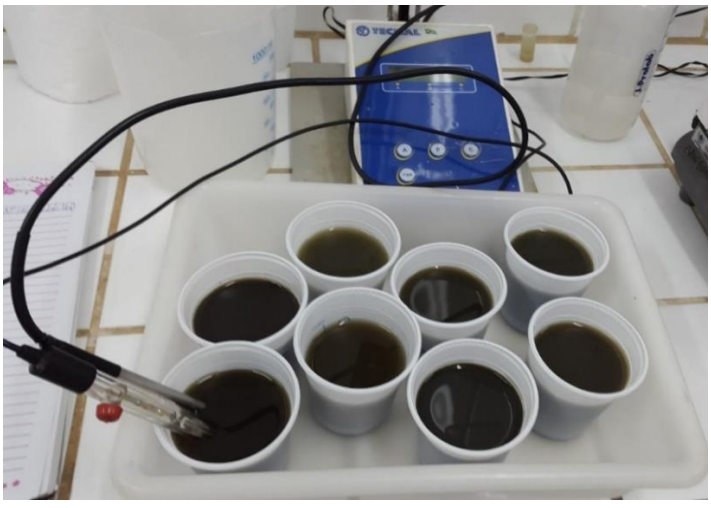

Figura 10 – Utilização do equipamento na mensuração do pH das amostras.

### 3.3.3 DQO

Para a determinação da DQO utilizou-se o método colorimétrico de refluxo fechado 5220 D (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, 1998), que possui como princípio a redução do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), em meio ácido, pela matéria orgânica a íons $Cr^{3+}$ (Figura 11).

Figura 11 - Análise de DQO pelo método colorimétrico de refluxo fechado.

### 3.3.4 ST, SF e SV

A determinação da série de sólidos foi feita de acordo com os métodos estabelecidos pela APHA (1998), sendo o método 2540-B correspondente aos sólidos totais e o 2540-E aos sólidos fixos e voláteis.

O procedimento consistiu em primeiramente levar os cadinhos ao forno mufla a 550 °C para calcinarem por um período de duas horas. Depois de retirados da mufla os mesmos foram colocados em um dessecador e após pesados em balança analítica, encontrando-se a massa em gramas do cadinho vazio (P1).

Posteriormente, os cadinhos foram preenchidos (aproximadamente 4/5 do seu volume total) com amostra natural do afluente, e novamente pesados, encontrando-

se a massa do cadinho vazio + amostra natural (P2). Em seguida, os cadinhos com as amostras foram levados para a estufa a 105 ºC por cerca de 24 horas. Após foram colocados em dessecador e novamente pesados, encontrando-se a massa do cadinho vazio + amostra seca (P3).

Após estes procedimentos, as amostras foram levadas novamente à mufla por um período de duas horas a 550 ºC, colocadas em dessecador e pesadas, obtendo-se assim a massa do cadinho vazio + cinzas (P4).

A Figura 12 (A, B, C, D, E, F) exibe os equipamentos e alguns procedimentos realizados na obtenção dos resultados para cálculo das concentrações de ST, SF e SV.

Para obtenção dos resultados dos sólidos totais, voláteis e fixos, em miligramas por Litro (mg $L^{-1}$), foram feitos os seguintes cálculos (Equações 1, 2 e 3):

Sólidos Totais (mg $L^{-1}$)

$$\mathrm{ST\ (mg\ L^{-1})} = \frac{(\mathrm{P3-P1})\,.\,1000\,.\,1000}{((\mathrm{P2-P1})/\mathrm{D})} \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

ST = sólidos totais (mg $L^{-1}$)

P1 = massa do cadinho vazio (g)

P2 = massa do cadinho vazio + amostra natural (g)

P3 = massa do cadinho vazio + amostra seca (g)

D = densidade da amostra (g $mL^{-1}$)

Figura 12 - Equipamentos e procedimentos para análise de sólidos - balança analítica modelo BP 221S marca Sartorius (A); forno mufla Quimis (B); cadinhos dentro da mufla (C); cadinhos no dessecador para posterior pesagem (D) estufa com circulação e renovação de ar modelo TE – 394/1 marca TECNAL (E) e cadinhos para secagem em estufa (F).

Sólidos Fixos (mg $L^{-1}$)

$$SF\ (mg\ L^{-1}) = \frac{(P4-P1)\ .\ 1000\ .\ 1000}{((P2-P1)\ /D)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que:
SF = sólidos fixos (mg $L^{-1}$)
P1 = massa do cadinho vazio (g)
P2 = massa do cadinho vazio + amostra natural (g)
P4 = massa do cadinho vazio + cinzas (g)
D = densidade da amostra (g $mL^{-1}$)

Sólidos Voláteis (mg $L^{-1}$)

$$SV\ (mg\ L^{-1}) = \frac{(P3-P4)\ .\ 1000\ .\ 1000}{((P2-P1)/D)} \text{(Equação 3)}$$

Em que:
SV = sólidos voláteis (mg $L^{-1}$)
P2 = massa do cadinho vazio + amostra natural (g)
P3 = massa do cadinho vazio + amostra seca (g)
P4 = massa do cadinho vazio + cinzas (g)
D = densidade da amostra (g $mL^{-1}$)

### 3.3.5 N, P e K

As análises dos elementos N, P e K, tiveram como objetivo caracterizar o efluente quanto ao teor de nutrientes presente. Foram realizadas segundo a metodologia descrita em APHA (1998):

- para o N o método da digestão ácida, destilação e titulação (método Kjeldahl) (Figura 13 – A, C);
- para o P o método colorimétrico do ácido vanadomolibdofosfórico (Figura 13 – B, D);
- para o K o método da fotometria de chama (Figura 13 – B, E).

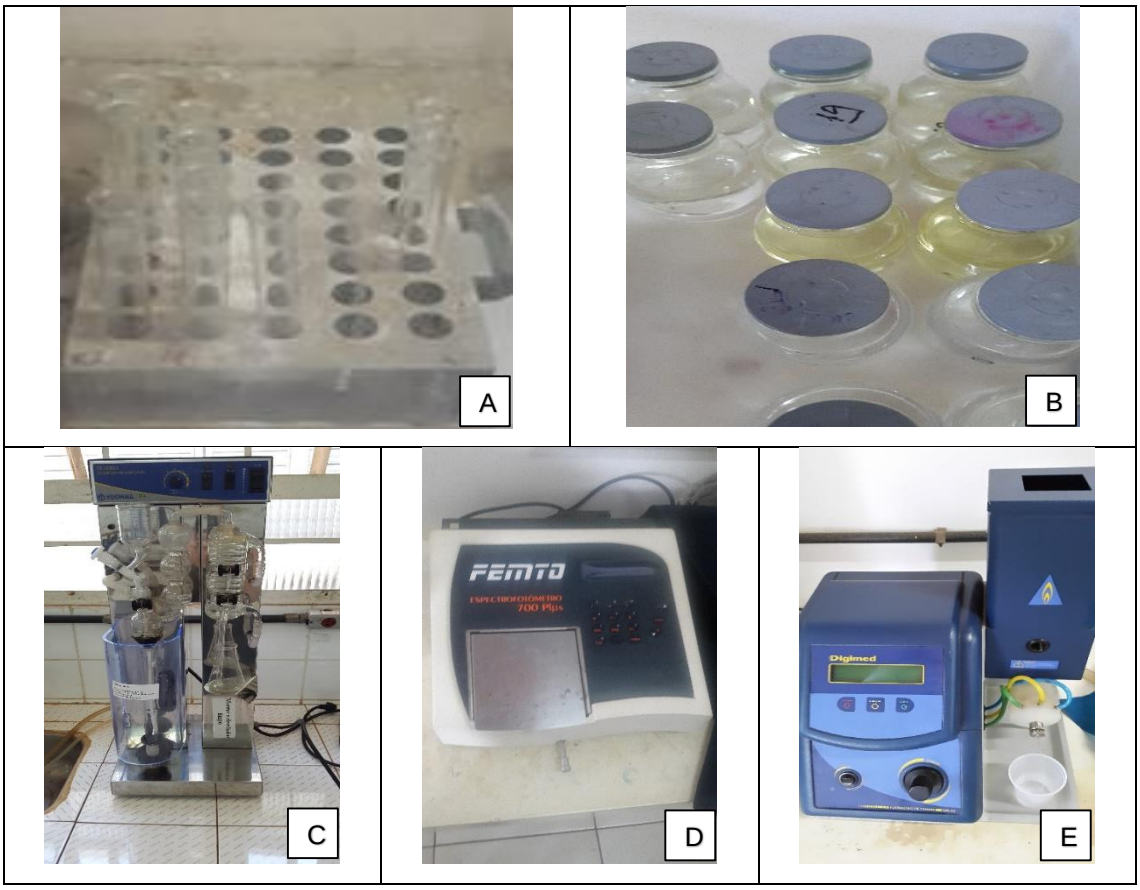


Figura 13 - Análise de N, P e K - bloco digestor com amostras para análise de N (A); amostras preparadas para análise de P e K (B); Destilador de Nitrogênio modelo TE – 0363 marca TECNAL (C); Espectrofotômetro modelo 700 Plus marca para leitura da absorbância para análise de Fósforo (D) e Fotômetro de chama modelo DM – 62 marca DIGIMED para análise de K (E).

### 3.3.6 AV e AT

Para encontrar os valores de AV e AT (Figura 14) foi utilizada a metodologia descrita por Silva (1977), que expressa a acidez em mg $CH_3COOH\ L^{-1}$ e a alcalinidade em mg $CaCO_3\ L^{-1}$.

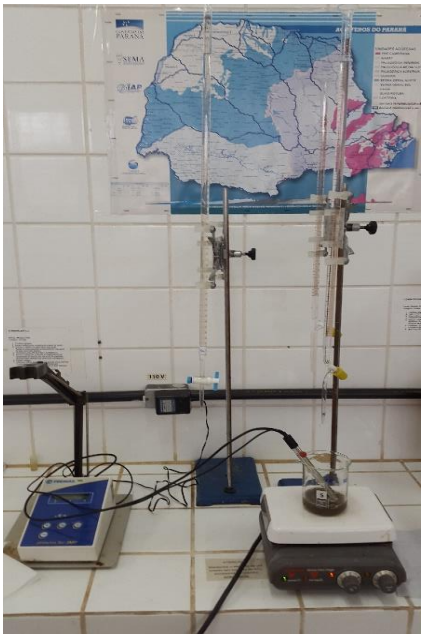

Figura 14 - Análise de AV e AT.

### 3.3.7 Densidade (D)

A densidade foi analisada no dia das coletas das amostras em laboratório com uso de densímetro para massa específica da marca Incoterm, modelo número 5582, com escala de 1,000 a 1,100 g $mL^{-1}$, aferido a 20 ºC (Figura 15).

Todas as amostras foram resfriadas até 20ºC, do qual verificou-se a temperatura por meio do termômetro, desta forma, não houve necessidade da correção dos valores de densidade.

Figura 15 – Leitura da densidade da amostra com o uso do densímetro.

## 3.4 Parâmetros analisados para comparação das técnicas de manejo e tratamento de dejetos

Para a comparação das técnicas de manejo e tratamento dos dejetos suínos foram coletadas amostras das entradas e saídas de cada sistema, determinado os seguintes parâmetros de análise: ST, SF, SV, pH, AV, AT e D. No caso dos biodigestores, foram coletados também o teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás.

Os procedimentos metodológicos utilizados e a descrição das análises feitas que permitiram tal comparação, estão descritos nos itens 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 e 3.4.4.

### 3.4.1 Concentração de sólidos, análise de remoção de ST, SF e SV e produção de biogás por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização

O procedimento metodológico utilizado para quantificação de ST, SF e SV estão descritos no item 3.3.4.

Assim, calculados para a entrada e saída dos sistemas de tratamento, forneceram base para o cálculo dos valores de remoção de carga orgânica e da produção de biogás por sólidos voláteis removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização, conforme Equações 4, 5, 6, 7, e 8.

Remoção ST (%)

$$\text{Remoção ST (\%)} = \frac{\text{ST entrada} - \text{ST saída}}{\text{ST entrada}} . 100 \text{ (Equação 4)}$$

Remoção SF (%)

$$\text{Remoção SF (\%)} = \frac{\text{SF entrada} - \text{SF saída}}{\text{SF entrada}} . 100 \text{ (Equação 5)}$$

Remoção SV (%)

$$\text{Remoção SV (\%)} = \frac{\text{SV entrada} - \text{SV saída}}{\text{SV entrada}} . 100 \text{ (Equação 6)}$$

Em que:

ST entrada = sólidos totais entrada (mg $L^{-1}$)

ST saída = sólidos totais saída (mg $L^{-1}$)

SF entrada = sólidos fixos entrada (mg $L^{-1}$)

SF saída = sólidos fixos saída (mg $L^{-1}$)

SV entrada = sólidos voláteis entrada (mg $L^{-1}$)
SV saída = sólidos voláteis saída (mg $L^{-1}$)

SV removidos (kg $dia^{-1}$)

$$\text{SV removidos } (\text{kg dia}^{-1}) = \text{SV removidos} \,.\, 0{,}007 \,.\, S \quad \text{(Equação 7)}$$

Em que:
SV removidos = sólidos voláteis removidos (kg $m^{-3}$)
0,007 = produção média de dejetos suínos ($m^3$ suíno.$dia^{-1}$) segundo Oliveira (1993)
S = número de suínos mínimo (800) e máximo (1.200) em estudo

Produção de biogás ($m^3$ biogás $dia^{-1}$)

$$\text{m}^3 \text{ biogás dia}^{-1} = 0{,}45 \,.\, \text{SV removidos} \quad \text{(Equação 8)}$$

Em que:
0,45 = produção de biogás para dejetos suínos em fase de terminação, segundo Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2006) ($m^3$ biogás $kg^{-1}$ SV removidos)
SV removidos = sólidos voláteis removidos (kg $dia^{-1}$)

### 3.4.2 Determinação da estimativa do processo de biodigestão anaeróbia através do pH e a relação AV/AT

A determinação dos valores de pH estão descritas no item 3.3.2 e de AV e AT foi realizada através do mesmo procedimento descrito no item 3.3.6.

A determinação de AV e AT forneceram os dados para cálculo da relação AV/AT que junto com o pH demonstrou a estimativa do estado do processo de biodigestão anaeróbia nos sistemas de tratamento.

### 3.4.3 Análise da variabilidade de massa dos dejetos através da densidade

Foram determinados os valores de densidade das amostras para entrada e saída para posterior análise de variabilidade da massa.

### 3.4.4 Quantificação do teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás produzido pelos biodigestores

O teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás produzido foi medido por um Analisador de Gases portátil da marca LANDTEC, modelo GEM 5000 para medições pontuais (Figura 16 – A, B).

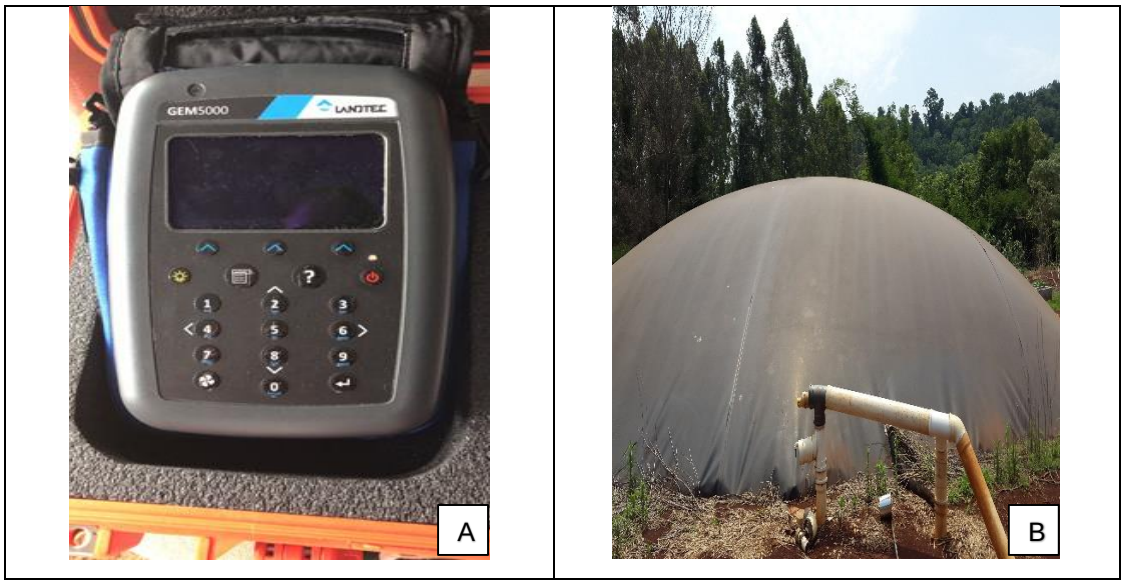


Figura 16 - Analisador de gases portátil da marca LANDTEC, modelo GEM 5000 para medições pontuais (A) e ponto de amostragem de biogás no biodigestor (B).

### 3.5 Análise estatística dos dados

Para realização das análises comparativas dos parâmetros avaliados, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo (2x2), nos quais teve-se como fatores os tipos de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização) (2) e entrada e saída (2), realizando três repetições para cada amostra.

A análise estatística consistiu de análise de variância (ANOVA) verificada pelo teste F ($p<0,05$), e a comparação das médias foi realizada pelo Teste de Tukey a 5%

de significância, utilizando o ambiente de programação R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e pacote estatístico complementar ExpDes.pt (FERREIRA, CAVALCANTI, NOGUEIRA, 2013).

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 17 é possível verificar as precipitações ocorridas durante o período da coleta. Esse fato não foi considerado na análise dos resultados desse estudo, porém, podem ter influenciado e interferido em alguns resultados obtidos nas análises correspondentes a saída das lagoas de estabilização, podendo ser avaliado em estudos posteriores para se saber a real interferência das condições climáticas nos sistemas de tratamento de dejetos da suinocultura por meio de lagoas de estabilização.

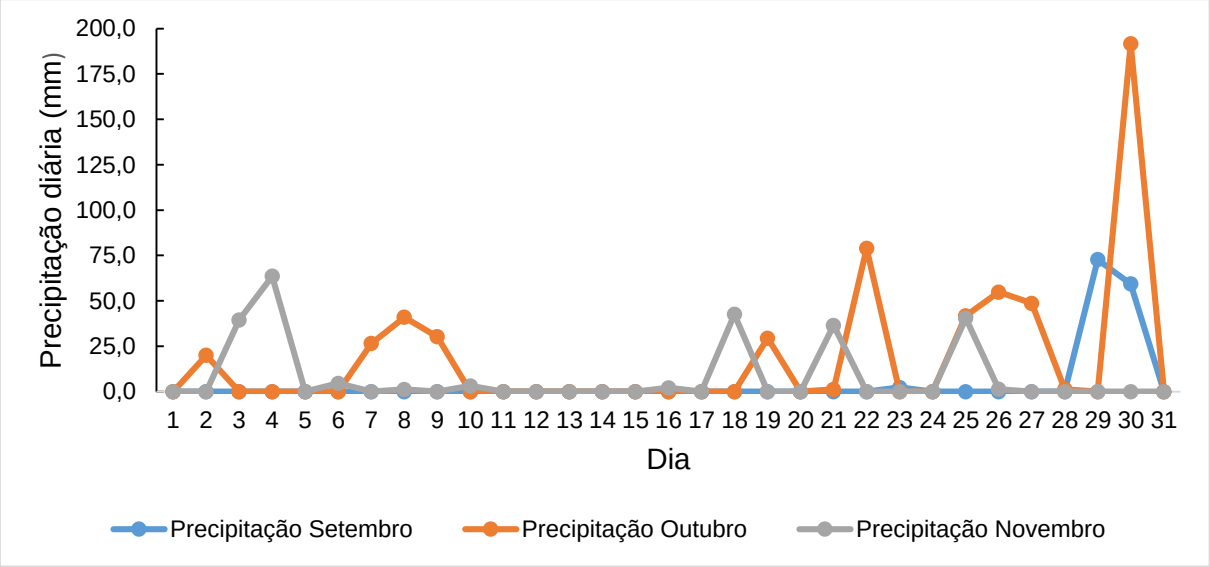


Figura 17 - Precipitações diárias nos meses de coleta das amostras.
Fonte: AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná (2018).

Com base nos dados expostos, verifica-se que na 1º coleta realizada dia 27/09/2017 houve um período de seca. Na realização da 2º coleta, no dia 13/10/2017 é visto que ocorreram precipitações que juntas somam aproximadamente 100,00 mm, 4 dias antes da coleta. A última coleta aconteceu no dia 09/11/2017, logo após grandes volumes de chuva durante o final do mês de outubro e início do mês de novembro, que atingiram índices de aproximadamente 550,0 mm, com um máximo de 191,7 mm no dia 30/10/2017.

Essas condições climáticas podem ter favorecido para que ocorresse a diluição do efluente durante o tratamento, por serem realizados a céu aberto,

principalmente em algumas propriedades estudadas onde verificou-se o enchimento e em algumas foi constatado até o transbordamento devido à grande quantidade de chuva em curtos períodos.

### 4.1 Dados da caracterização geral da biomassa

A caracterização dos dejetos suínos pode apresentar variações quando comparados de um empreendimento para outro, como foi verificado nos resultados obtidos das análises para caracterização dos dejetos suínos que estão dispostos na Tabela 7.

Isso pode ser explicado devido a variação de tamanho e idade de cada suíno, da alimentação fornecida que pode variar seu conteúdo de proteínas e fibras, bem como a digestibilidade do animal, da quantidade de água utilizada nas instalações e ainda da forma de manejo do produtor na sua unidade (PEREIRA, 2006).

Tabela 7 - Caracterização dos dejetos brutos da suinocultura de crescimento e terminação

| **Parâmetros** | **Propriedades** | |
|---|---|---|
| | **Biodigestor*** | **Lagoa de estabilização**** |
| Temperatura (ºC) | 25,1 | 24,5 |
| pH | 7,57 | 7,35 |
| DQO (mg $L^{-1}$) | 52.156,67 | 43.233,91 |
| ST (mg $L^{-1}$) | 46.337,41 | 22.061,80 |
| SF (mg $L^{-1}$) | 12.495,37 | 5.420,26 |
| SV (mg $L^{-1}$) | 33.842,04 | 16.641,54 |
| N (mg $L^{-1}$) | 4.667,60 | 3.234,00 |
| P (mg $L^{-1}$) | 2.324,80 | 2.165,76 |
| K (mg $L^{-1}$) | 3.247,50 | 3.547,50 |
| AV/AT | 0,95 | 0,47 |
| D (g $mL^{-1}$) | 1,014 | 1,013 |

*Latitude: 24.5928ºS Longitude: 53.8492ºO; **Latitude: 24.6826ºS Longitude: 53.8213ºO; DQO: Demanda Química de Oxigênio; ST: Sólidos Totais; SF: Sólidos Fixos; SV: Sólidos Voláteis; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; AV/AT: Acidez Volátil/Alcalinidade Total; D: Densidade.

Analisando os resultados verificou-se que houve pouca variação das temperaturas e pH analisados nas amostras coletadas para caracterização dos dejetos provindos dos empreendimentos suinícolas em estudo, encontraram-se

valores de 24,5ºC e 25,1ºC e pH de 7,35 e 7,57, semelhantes ao que Gomes et al. (2009) encontraram em propriedades da suinocultura de terminação no estado do Mato Grosso do Sul, com temperatura de 25,0 ºC a 25,6 ºC e pH de 7,32 a 7,39. Já Palhares e Calijuri (2007) no trabalho desenvolvido no estado de São Paulo, obtiveram nos mesmos meses de análise deste estudo, temperaturas aproximadas que estavam entre 24,5 ºC e 27 ºC e valores de pH mais baixos, variando entre 5,2 e 7,0 para os dejetos brutos.

Dal Mago et al. (2010), caracterizando dejetos da suinocultura, encontraram a média de 59.200,00 mg $L^{-1}$ para DQO, que está acima do observado no presente estudo que foi de 43.233,91 e 52.156,67 mg $L^{-1}$. Massé, Masse e Croteau (2003) obtiveram em seus estudos um valor de 48.800,00 mg $L^{-1}$. Já Oliveira e Higarashi (2006), encontraram valores entre 42.500,00 a 98.259,00 mg $L^{-1}$, estando os valores encontrados nesse trabalho dentro dessa faixa.

Na caracterização dos dejetos em Unidades de Terminação de suínos, Souza et al. (2009) encontraram concentrações de ST entre 24.133,33 a 135.313,6 mg $L^{-1}$, SF de 2.609,67 a 27.648,33 mg $L^{-1}$ e para SV de 18.095,33 a 107.665,33 mg $L^{-1}$. Stival, Errera e Aisse (2017), observaram entre 52.330,00 e 103.800,00 mg $L^{-1}$ para ST e de 39.980,00 a 81.030,00 mg $L^{-1}$ para SV. Dal Mago et al. (2010) encontraram 66.600,00 mg $L^{-1}$ de ST e 49.400,00 mg $L^{-1}$ para SV. Neste trabalho para fim de caracterização os valores observados foram de 22.061,80 e 46.337,41 mg $L^{-1}$ para ST, 5.420,26 e 12.495,37 mg $L^{-1}$ para SF e 16.641,54 e 33.842,04 mg $L^{-1}$ para SV, onde foi possível observar variações quando comparados aos outros estudos, porém, que são justificadas pela série de fatores que envolvem a criação animal.

Foi obtido valores variáveis de N, P e K. Encontrou-se 3.234,00 e 4.667,60 mg $L^{-1}$ de N, 2.165,76 e 2.324,80 mg $L^{-1}$ para P, 3.247,50 e 3.547,50 mg $L^{-1}$ para K., esses resultados estão dentro do que encontraram alguns autores em seus estudos na caracterização de dejetos suínos, como Souza et al (2009) que para concentrações de N obtiveram valores de 3.322,90 a 10.369,33 mg $L^{-1}$, para P de 1.016,67 a 7.833,33 mg $L^{-1}$ e para K foram encontrados quantidades de 1.683,33 a 8.133,33 mg $L^{-1}$. Gomes et al. (2009) obtiveram valores de N em torno de 3.565,60 mg $L^{-1}$ e P com concentração de 1.637,00 mg $L^{-1}$. Oliveira e Higarashi (2006) encontraram valores médios de 6.357,00 mg $L^{-1}$ para N e de 1.632,00 mg $L^{-1}$ para P.

Para a relação AV/AT encontrou-se 0,47 e 0,95 que ficaram próximo ou acima do recomendado para um processo de biodigestão anaeróbia satisfatório, que é de 0,1 a 0,5, segundo Silva (1977), entretanto, esses resultados se referem apenas à caracterização dos dejetos brutos, e não sobre a qualidade dos tratamentos anaeróbios.

Oliveira e Higarashi (2006) encontraram a densidade de 1,042 g $mL^{-1}$ nos dejetos suínos, acima do encontrado nessa caracterização que foi 1,014 e 1,013 g $mL^{-1}$, que também pode ter relação com a ocorrência de diluição dos dejetos por conta do tipo de limpeza do alojamento animal ou na diferença de tempo de confinamento dos animais analisados nesses estudos, pois quanto maior o período de dias, maior é o peso e produção de dejetos do animal.

## 4.2 Análise de variância dos dados para ST, SF, SV, pH, AV/AT e D

Os resultados da análise de variância estão descritos na Tabela 8 para as variáveis ST, SF, SV, pH, AV/AT e D por meio do valor de F calculado e a significância do teste para *p-valor*<0,05.

Tabela 8 - Análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis ST, SF, SV, pH, AV/AT e D

| Fontes de Variação | GL | Variáveis | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ST | SF | SV | pH | AV/AT | D |
| Biodigestor/Lagoa de Estabilização (B/L) | 1 | 0,03* | 0,06$^{ns}$ | 0,03* | 0,00** | 0,51$^{ns}$ | 0,01* |
| Entrada/Saída (E/S) | 1 | 0,00** | 0,00** | 0,00** | 0,00** | 0,00** | 0,00** |
| (B/L) vs (E/S) | 1 | 0,01* | 0,13$^{ns}$ | 0,00** | 0,39$^{ns}$ | 0,54$^{ns}$ | 0,47$^{ns}$ |
| CV (%) | - | 62,97 | 49,68 | 73,20 | 3,33 | 62,42 | 0,54 |

$^{ns}$: não significativo; * e **: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; CV: coeficiente de variação; GL: grau de liberdade; ST: sólidos totais; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis; AV/AT: acidez volátil/alcalinidade total; D: densidade absoluta.

Analisando o fator apenas representado pelo tipo de tratamento constituído pelo biodigestor e lagoa de estabilização, as variáveis SF e a relação AV/AT não apresentaram diferença significativa. Já as variáveis ST, SV e D demonstraram diferença significativa à 5% e pH à 1% de significância.

Já o fator entrada e saída apresentou diferença significativa à 1% para todas as variáveis.

Verificando a interação entre os fatores (B/L) vs (E/S), apenas as variáveis ST e SV apresentaram diferença significativa à 5% e 1%, respectivamente. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas.

Com relação aos CVs, as variáveis ST, SF, SV e a relação AV/AT demonstram altos valores com 62,97%, 49,68%, 73,20% e 62,42%, respectivamente, indicando alta variabilidade dos dados analisados, ao contrário das variáveis pH e D, que demonstram valores baixos, representados por 3,33% e 0,54%, evidenciando baixa variabilidade.

### 4.3 Concentração de ST, SF e SV nos sistemas de tratamento

Os valores médios e significância obtida para as concentrações de ST nos dois sistemas de tratamento avaliados estão apresentados na Figura 18.

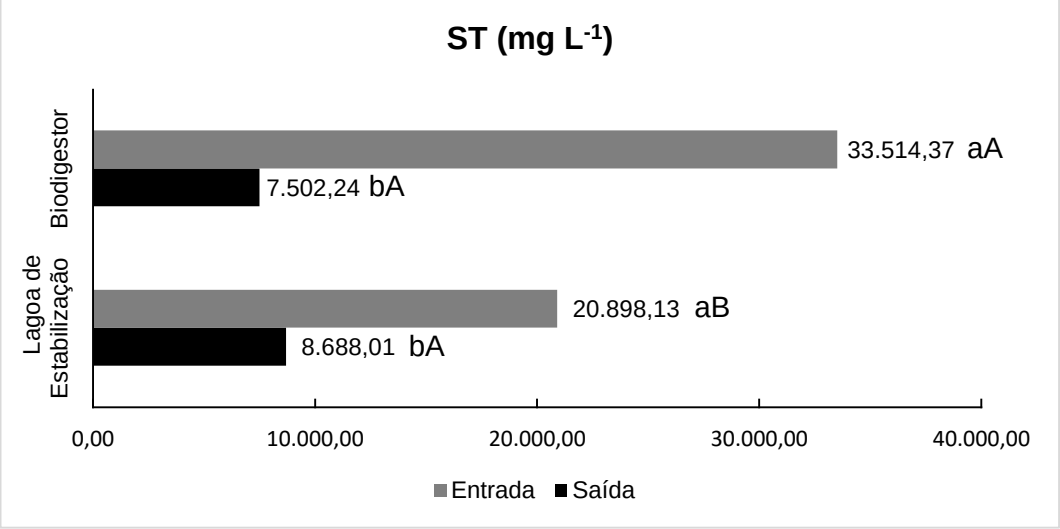


Figura 18 - Teste de médias e significância para ST.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Observando a Figura 18, a variável ST apresentou médias estatisticamente diferentes para a entrada e saída tanto do biodigestor, como de lagoa da estabilização. Já comparando os dois tratamentos, verificou-se que as entradas diferem entre si, porém, as saídas não apresentaram diferença significativa mesmo apresentando valores diferentes. Esse resultado pode ser visto de forma positiva, pois demonstra que mesmo o biodigestor recebendo uma maior carga, ocorre uma maior eliminação

de sólidos por meio desse tratamento, sendo necessário na lagoa de estabilização uma diluição na sua entrada para atingir resultados mais satisfatórios.

A maior concentração de sólidos encontrada na entrada dos biodigestores em estudo foi de 75.458,00 mg $L^{-1}$ e a menor na saída foi de 4.603,00 mg $L^{-1}$. Para as lagoas de estabilização analisadas na entrada chegou a atingir 49.737,00 mg $L^{-1}$ e na saída a menor concentração foi de 3.982,00 mg $L^{-1}$ (APÊNDICE A). Esses resultados expressam a grande variedade de valores na análise envolvendo suínos de terminação como já foi visto em outros estudos.

Dal Mago et al. (2010) encontraram resultados de 36.000,00, 44.000,00, 69.000,00 e 148.000,00 mg $L^{-1}$ de ST na entrada de biodigestores. Vivan et al. (2010) encontraram valor semelhante ao encontrado na entrada de biodigestor que foi de 35.900,00 mg $L^{-1}$. Silva et al. (2015) também observaram valores aproximados de 29.421,10 mg $L^{-1}$ na entrada e 15.376,60 mg $L^{-1}$ na saída de biodigestor tratando dejetos da suinocultura de terminação.

Gomes et al. (2009) analisaram para uma série de lagoas, concentrações na entrada de 32.990,00 e 35.120,00 mg $L^{-1}$, já na saída de 3.400,00 e 6.200,00 mg $L^{-1}$, diferente dos resultados obtidos nesse estudo que apresentaram um valor médio menor na concentração de entrada e maior na saída, entretanto, como o resultado se refere a média de sistemas de tratamento que utilizaram apenas uma lagoa de estabilização, não se pode através das concentrações de saída realizar comparações com esse autor que induzam a constatar uma diminuição de ST não relevante do tratamento.

A Figura 19 exibe graficamente os resultados obtidos para o teste de médias e significância para a análise de SF.

Para este parâmetro, verificou-se que houve diferença significativa entre as médias de entrada e saída de cada tratamento, porém, entre os tratamentos estatisticamente não houve diferença para as entradas e nem para as saídas.

Foi obtido para os biodigestores as concentrações mínimas e máximas de 3.233, 00 a 18.891,00 mg $L^{-1}$ na entrada e de 1.772,00 a 5.663,00 mg $L^{-1}$ na saída. Para as lagoas de estabilização encontrou-se de 3.681,00 a 16.496,00 mg $L^{-1}$ na entrada e de 1.449,00 a 6.003,00 mg $L^{-1}$ na saída (APÊNDICE A).

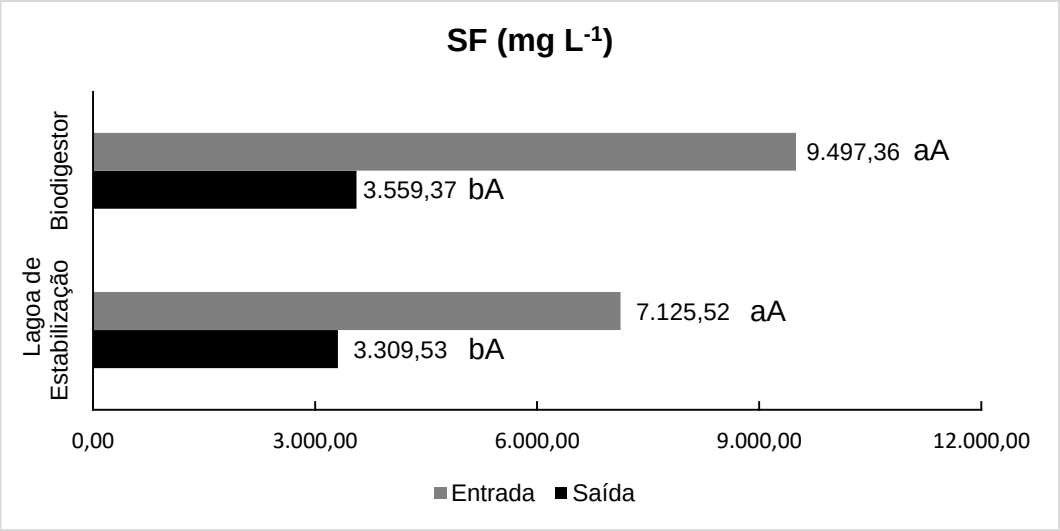


Figura 19 - Teste de médias e significância para SF.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Vivan et al. (2010) analisaram na entrada do biodigestor uma concentração de SF de 10.380,00 mg $L^{-1}$, valor bem próximo do encontrado nesse estudo, por outro lado a concentração encontrada na saída para esses mesmos autores foi de 9.060,00 mg $L^{-1}$, demonstrando grande diferença com o que foi obtido neste trabalho. Dalavéquia (2000), encontrou na entrada uma concentração máxima de 9.356,00 mg $L^{-1}$ e um valor de saída de 2.308,00 mg $L^{-1}$ para lagoa anaeróbia, esses resultados se aproximaram dos valores encontrados para esse tratamento.

Os resultados das médias e significância encontrados para a análise de SV, estão dispostos na Figura 20.

Assim como para a análise de ST, as médias dos SV da Figura 20, demonstraram diferenças na entrada e saída de cada tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), porém, realizando a comparação entre eles, verificou-se que não houve diferença significativa para as saídas, em contrapartida, as entradas demonstraram estatisticamente diferenças significativas com a análise feita.

Com os resultados foi possível verificar que foram encontrados altas variações, em que para biodigestores os valores encontrados variaram de 5.611,00 a 56.567,00 mg $L^{-1}$ na entrada e de 2.109,00 a 10.167,00 mg $L^{-1}$ na saída. Para lagoas

de estabilização encontrou-se de 6.461,00 a 33.632,00 mg $L^{-1}$ na entrada e de 1.789,00 a 13.940,00 mg $L^{-1}$ na saída (APÊNDICE A).

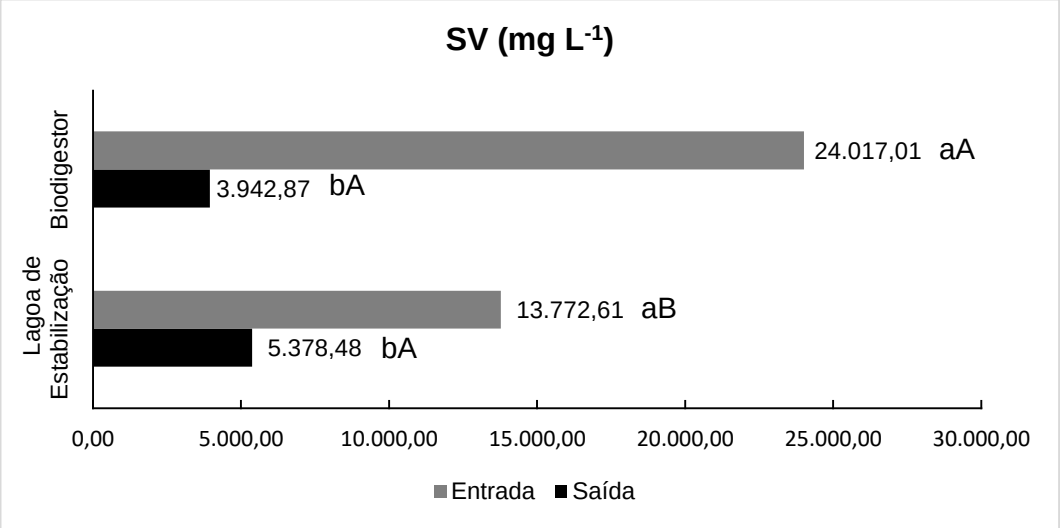


Figura 20 - Teste de médias e significância para SV.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Alguns autores obtiveram resultados próximos aos encontrados nesse estudo. Gomes et al. (2009) encontraram em lagoas concentrações de entrada de 26.390,00 e 28.340,00 mg $L^{-1}$, e para a saída de 1.700,00 e 2.500,00 mg $L^{-1}$. A média da concentração de SV encontrada por Stival, Errera e Aisse (2017) foi de 54.000,00 mg $L^{-1}$ na entrada e 15.000,00 mg $L^{-1}$ na saída. Silva et al. (2015) observaram uma média na entrada de 18.900,20 mg $L^{-1}$ e na saída de 7.440,00 mg $L^{-1}$. Vivan et al. (2010) encontraram valores de 24.780,00 mg $L^{-1}$ na entrada e 16.200,00 mg $L^{-1}$ na saída do biodigestor.

## 4.4 Estimativa do estado do processo de biodigestão anaeróbia nos sistemas de tratamento

Os resultados das médias e significância obtidas para o pH, encontram-se na Figura 21.

Analisou-se que houve diferença significativa entre a entrada e saída de cada tratamento, bem como entre eles. Observou-se uma tendência de aumento do pH conforme passavam em ambos os tratamentos. Esse fator pode estar relacionado com

o consumo de ácidos que ocorre nos processos de biodigestão anaeróbia (CORTEZ et al., 2008).

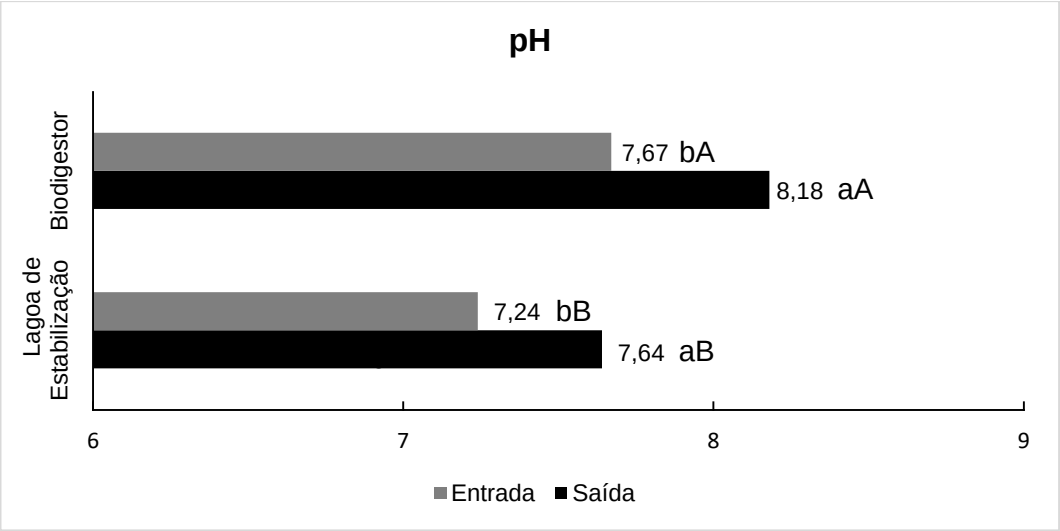


Figura 21 - Teste de médias e significância para pH.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os valores mínimos e máximos, respectivamente, encontrados para os biodigestores foram de 7,15 e 8,13 na entrada e 7,82 e 8,54 na saída. Para as lagoas de estabilização esses valores ficaram em 6,64 e 7,64 na entrada e 7,19 e 8,13 na saída (APÊNDICE B).

Silva et al. (2015) encontraram uma média na entrada de biodigestores de 7,16 e na saída de 7,50. Para Chernicharo (1997) a faixa ótima de pH durante o processo deve ficar entre 6,0 e 8,0, onde para as lagoas de estabilização a média ficou entre esses valores, porém, nos biodigestores o valor médio de saída ultrapassou um pouco esse limite.

Gomes et al. (2009) observaram valores de entrada de 7,32 e 7,39 e pH de saída entre 6,5 e 8,4, se aproximando da faixa encontrada nesse estudo. Dal Mago (2009) também observou pH acima de 8,0 em seu estudo envolvendo biodigestores, do qual atribui esse fato a uma possível presença de substância eliminada com os dejetos, podendo ser o uso de desinfetante utilizado na limpeza das instalações, resíduos de medicamentos, algum componente da ração ou mesmo problemas operacionais do biodigestor.

Na Figura 22, encontram-se os resultados da relação AV/AT.

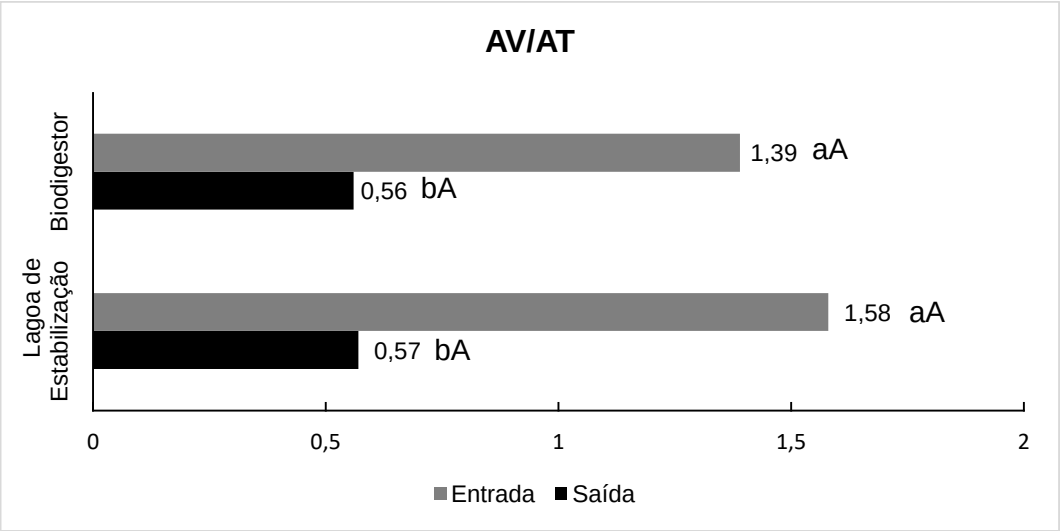


Figura 22 - Teste de médias e significância para a relação AV/AT.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De acordo com a Figura 22, a média da relação AV/AT apresentou diferença significativa para a entrada e a saída de cada tratamento, porém, não houve diferença desses fatores entre os tratamentos avaliados.

Foram encontrados relações de 0,04 a 2,37 na saída dos biodigestores e 0,13 a 2,15 nas lagoas de estabilização. Para as médias os valores mínimos e máximos, respectivamente, foram de 0,12 e 1,29 nos biodigestores e de 0,29 e 1,21 nas lagoas de estabilização. Observou-se também que na 3º coleta a relação obteve valores mais baixos e próximo do recomendado que é de 0,1 a 0,5, isso pode estar relacionado com uma maior estabilidade dos sistemas de tratamento.

Para Silva et al. (2015) houve variação de 0,02 e 0,62 na saída do tratamento estudado, estando mais próximo ao que Silva (1977) recomenda que é de 0,1 a 0,5. Stival, Errera e Aisse (2017) encontraram valores de 0,05, 0,06 e 0,10 para essa relação.

As amostras que indicaram a relação AV/AT superiores a 0,5, conforme Feiden (2001) analisou, podem estar indicando que houve a ocorrência de sobrecargas nos processos.

## 4.5 Variabilidade de massa dos dejetos nos sistemas de tratamento

Os resultados encontrados de densidade para análise da variabilidade de massa dos dejetos nos sistemas de tratamento estão dispostos na Figura 23.

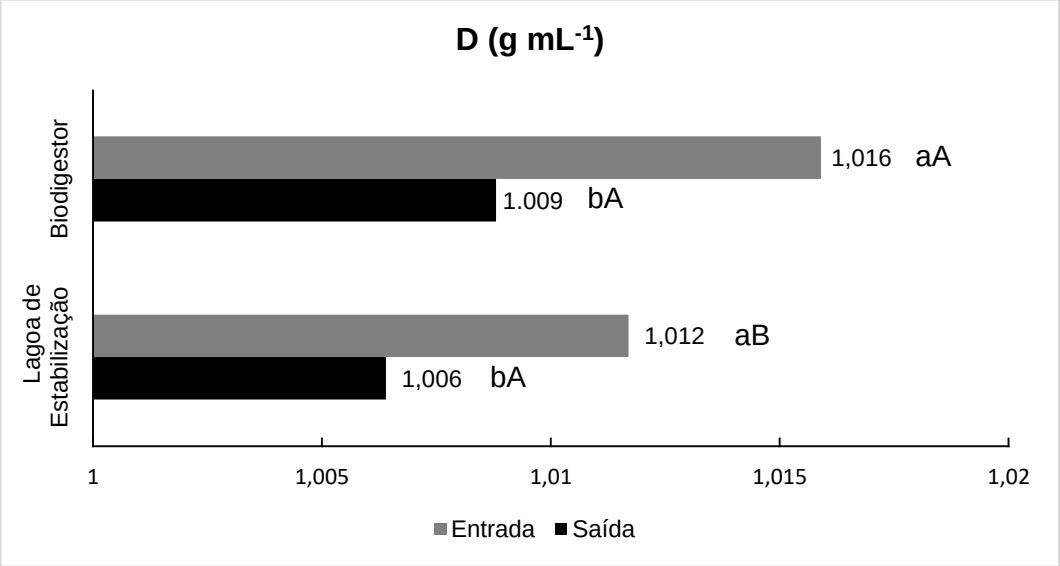


Figura 23 - Teste de médias e significância para D.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de tratamento (biodigestor e lagoa de estabilização), diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Médias com letras maiúsculas diferentes entre cada tipo de tratamento e mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando a Figura 23, observou-se que houve diferença em cada tratamento para a entrada e saída e entre os tipos de tratamento estatisticamente foi apresentado diferença significativa apenas para as entradas dos sistemas.

Os valores mínimos e máximos, respectivamente, encontrados em cada tipo de tratamento foram para os biodigestores na entrada de 1,004 a 1,035 g $mL^{-1}$ e na saída de 1,003 a 1,016 g $mL^{-1}$. Para as lagoas de estabilização os valores encontrados foram de 1,006 a 1,024 g $mL^{-1}$ na entrada e de 1,001 a 1,012 g $mL^{-1}$ na saída (APÊNDICE C).

Oliveira e Higarashi (2006) encontraram para biodigestor na entrada um valor de 1,042 g $mL^{-1}$ e na saída de 1,010 g $mL^{-1}$, estando o valor de saída entre os valores encontrados no trabalho.

Com relação a variabilidade de massa dos dejetos, observou-se através do teste de médias diferença nas entradas e saídas em cada tratamento, indicando uma diminuição de massa após passagem pelos tratamentos estudados.

## 4.6 Análise de variância para as eficiências de remoção de ST, SF e SV

A Tabela 9 mostra os valores obtidos na análise de variância para as remoções de ST, SF e SV por meio do valor de F calculado e a significância do teste para *p-valor*<0,05.

Tabela 9 - Análise de variância contendo o valor de F e significância para Remoção de ST, SF e SV

| | GL | Variáveis | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Remoção ST | Remoção SF | Remoção SV |
| Biodigestor/Lagoa de Estabilização (B/L) | 1 | 0,00** | 0,06$^{ns}$ | 0,00** |
| CV (%) | - | 19,73 | 27,74 | 19,35 |

$^{ns}$: não significativo; * e **: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; CV: coeficiente de variação; GL: grau de liberdade; ST: sólidos totais; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis.

Os resultados obtidos por meio da análise de variância para as variáveis referentes as eficiências de remoção comparando biodigestor e lagoa de estabilização demonstraram que para a variável de SF não houve diferença significativa entre os tipos de tratamento. Já para ST e SV, observou-se diferença significativa à 1% de significância.

Os CVs apresentaram baixa variabilidade dos dados, com valores de 19,73%, 27,64% e 19,35% para a eficiência de remoção de ST, SF e SV, respectivamente.

## 4.7 Análise de Remoção de ST, SF e SV nos sistemas de tratamento

As médias e as significâncias observadas para as variáveis Remoção ST, SF e SV estão dispostas na Figura 24.

Analisando os resultados, verificou-se que para ambos os sistemas de tratamento de dejetos de suínos houve índices superiores a 50% de remoção, com exceção da eficiência de remoção de SF na lagoa de estabilização que apresentou 48,5%. Os resultados obtidos quando comparados a outros autores que realizaram estudos semelhantes indicam índices superiores de remoção.

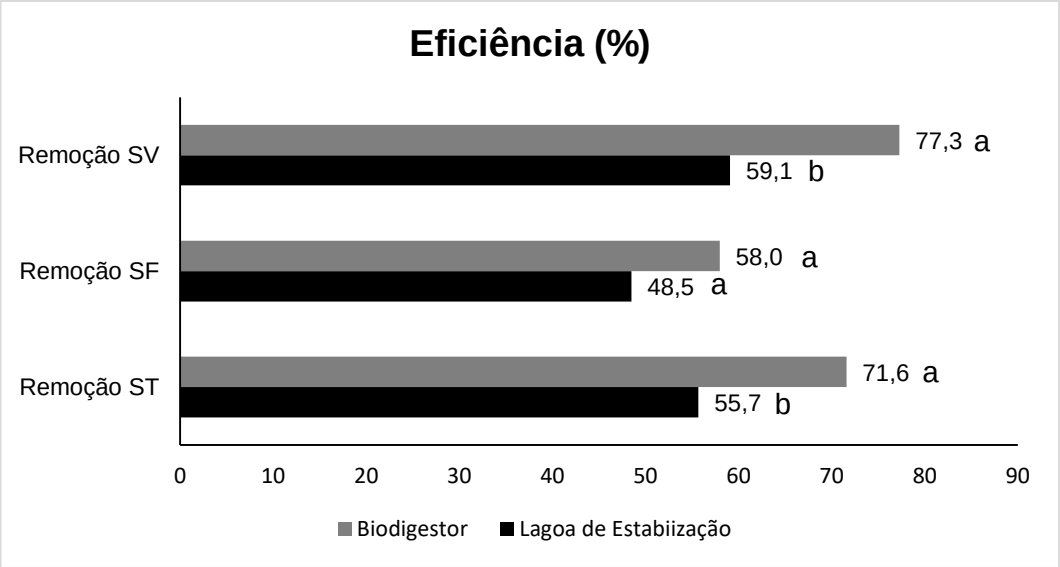


Figura 24 - Teste de médias e significância para remoção de ST, SF e SV.
Médias com letras minúsculas diferentes em cada tipo de análise diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Nesse estudo, os valores médios mínimos e máximos de remoção para biodigestores na análise de ST foram de 54,6 a 85,1%, para SF 41,5 a 69,0% e para SV de 61,6 a 91,0%. Para lagoas de estabilização os valores médios de remoção mínimos e máximos encontrados, respectivamente, foram, 42,3 a 72,1% para ST, 30,7 a 69,4% para SF e 48,3 a 73,9% para SV (APÊNDICE D).

Machado (2009) analisou uma remoção por meio de biodigestores de 36,3% de ST e 50,9% de SV. Para esse mesmo autor por meio de uma sequência de lagoas de estabilização foi observado uma remoção de 50,1%, 41,6% e 56,1% para ST, SF e SV, respectivamente. Vivan et al. (2010) observaram uma remoção baixa em biodigestores quando comparada a esse estudo, encontrando valores de 24,16% de ST, 12,72% de SF e 34,63% de SV. Já Dal Mago et al. (2010) obtiveram para ST eficiências de remoção de 47 a 62%, e para SV de 55 a 73%.

Gomes et al. (2009) analisando a eficiência de remoção de sólidos em um sistema composto por 4 lagoas, obtiveram 83,21% e 89,66% para ST e 91,76% e 95,58% para SV, valores acima do encontrado nesse estudo, porém, com resultados favoráveis por consistirem na análise de apenas uma lagoa para estabilização dos dejetos.

Como esperado, para os dois tipos de tratamento os SV apresentaram uma maior remoção que os sólidos fixos, devido as bactérias presentes nos biodigestores

consumirem os SV, degradando-os e gerando os gases obtidos no processo de biodigestão anaeróbia.

Por meio da análise dos resultados desse estudo, observou-se uma maior eficiência de remoção de sólidos através de biodigestor para o tratamento de dejetos provindos da suinocultura de crescimento e terminação, esse fato pode ser explicado devido ao ambiente favorável proporcionado pelo biodigestor para o processo de biodigestão anaeróbia, como a ausência de $O_2$ e temperaturas mantidas na faixa ótima para os microrganismos atuantes no processo.

### 4.8 Teor de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ presente no biogás produzido pelos biodigestores

A leitura da quantidade de gases presentes nos biodigestores só foi possível de ser realizada em 3 propriedades das 6 em estudo, isso ocorreu devido à falta de pontos de coleta de gases que permitissem realizar a análise. A Tabela 10, exibe os resultados médios das quantidades obtidas de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ nos biodigestores.

Tabela 10 - Quantidade de $CH_4$, $CO_2$ e $H_2S$ nos biodigestores

| **Propriedades** | **Gases** | | |
|---|---|---|---|
| | **$CH_4$ (%)** | **$CO_2$ (%)** | **$H_2S$ (%)** |
| 1 | 62,90 | 35,20 | > 0,5 |
| 3 | 59,50 | 38,60 | > 0,5 |
| 5 | 63,10 | 34,70 | > 0,5 |
| Média | 61,83 | 36,17 | > 0,5 |

Gusmão (2008) encontrou em biodigestores que tratavam dejetos da suinocultura de terminação uma concentração média de $CH_4$ de 65,0 e 63,7%, para $CO_2$ de 38,6% e para $H_2S$ foi excedido o valor de 1000 ppm (0,1%), que era o valor limite do sensor instalado no medidor da qualidade do biogás. Torres, Pedrosa e Moura (2012) indicaram que a concentração de $CH_4$ deve estar entre 50 a 75%, de $CO_2$ de 25 a 40% e de $H_2S$ de 0,1 a 0,5%.

Analisando os resultados encontrados nas análises feitas nesse estudo, é possível verificar que estão próximos ou dentro da faixa indicada pelos autores. Desta maneira, os biodigestores estão operando de maneira eficiente na produção de biogás com boas concentrações de seus constituintes, exceto para os altos índices de $H_2S$, gás considerado tóxico e corrosivo.

Com as concentrações obtidas do $CH_4$ e do $CO_2$, pode-se dizer que o biogás apresenta um bom potencial energético para aplicação como forma de energia, combustível ou para fins de aquecimento, desde que para ser utilizado em alguma dessas maneiras, seja submetido a um processo de purificação que lhe confira as características ideais para esse uso.

### 4.9 Produção estimada de biogás por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização

A produção estimada de biogás por SV removidos nos sistemas de tratamento estudados, encontra-se disposta na Figura 25.

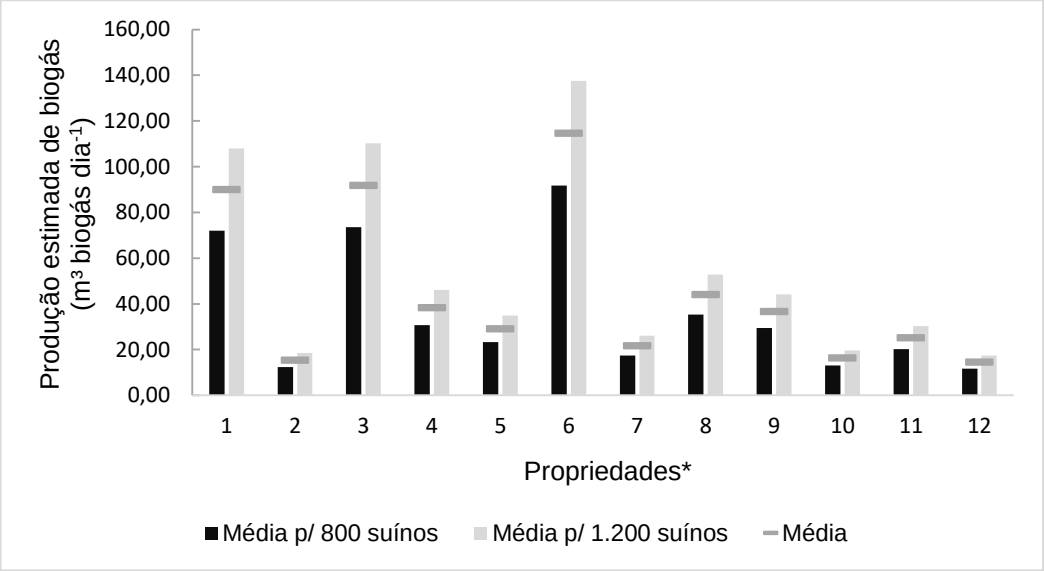


Figura 25 - Produção estimada de biogás e metano por SV removidos nos biodigestores e lagoas de estabilização.
*Propriedades de 1 a 6: biodigestores; 7 a 12: lagoas de estabilização.

Observando a Figura 25 foi possível verificar que considerando um plantel animal de 800 suínos para os biodigestores a produção mínima foi de 12,29 m³ biogás $dia^{-1}$ para os biodigestores e de 11,62 m³ biogás $dia^{-1}$ para as lagoas de estabilização e com um plantel de 1.200 suínos as produções máximas foram de 137,59 m³ biogás $dia^{-1}$ nos biodigestores e 52,88 m³ biogás $dia^{-1}$ nas lagoas. O valor médio para cada sistema de tratamento considerando o mínimo e o máximo plantel animal em estudo foi de 63,23 m³ biogás $dia^{-1}$ e 26,44 m³ biogás $dia^{-1}$ nos biodigestores e lagoas, respectivamente (APÊNDICE E).

Kazmierczak et al. (2016) encontraram para sistema de produção de reprodução um rendimento mínimo de 57,4 $m^3$ biogás $dia^{-1}$ e máximo de 85,8 $m^3$ biogás $dia^{-1}$ adotando uma produção estimada de 0,75 a 1,12 $m^3$ biogás $kg^{-1}$ SV removidos. Feiden et al. (2004) observaram uma produção média diária de 238,30 $m^3$ biogás, superior ao encontrado nesse estudo. Kotz, Schmitz e Matiello (2011) verificaram para um sistema de suínos de terminação uma produção diária de 91,12 $m^3$ biogás $dia^{-1}$.

Por meio dos resultados calculados e das informações contidas na Tabela 3 sobre a equivalência de 1 $m^3$ biogás, é possível observar que a produção estimada diária de biogás analisadas em biodigestores e lagoas de estabilização poderiam contribuir com a diminuição e substituição de outros combustíveis e formas de energia podendo ser utilizado como fonte de calor, eletricidade ou combustível.

Com relação as lagoas de estabilização, mesmo obtendo produções menores de biogás, possuem potencial energético, que contribuiriam além do manejo e tratamento, com a geração de uma fonte renovável de energia e a não emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Para Gusmão (2008), a utilização de biodigestores para geração de biogás representa grandes vantagens em termos econômicos, energéticos e ambientais por se tratar de uma fonte renovável de energia, por maximizar os benefícios da reciclagem e do reaproveitamento da matéria orgânica, por reduzir as emissões de $CO_2$ e $CH_4$ para a atmosfera, além de resultar numa grande economia com gastos com eletricidade apesar de um alto custo inicial.

# 5. CONCLUSÕES

A remoção de sólidos foi maior nos biodigestores chegando até 91,0% para SV.

Os processos de biodigestão anaeróbia analisados demonstraram uma tendência de elevação do pH dos efluentes conforme passavam em ambos os tratamentos e médias da relação AV/AT acima do recomendado que é de até 0,5.

A maior variabilidade de massa foi observada entre as entradas e saídas dos biodigestores.

Nos biodigestores os teores de $CH_4$ e $CO_2$ encontrados indicaram uma boa qualidade do biogás produzido.

A produção estimada de biogás por SV removidos demonstrou rendimentos médios de 63,23 $m^3\ dia^{-1}$ para os biodigestores e de 26,44 $m^3\ dia^{-1}$ para as lagoas de estabilização.

Os biodigestores foram mais eficientes no manejo e tratamento de dejetos da suinocultura de crescimento e terminação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogás purification processes. **Biofuels, Bioprod. Bioref,** v. 3, p. 42-71, 2009.

AGROCOTAÇÕES. **Produção mundial de carne suína.** 2017. Disponível em: <http://www.agrocotacoes.com.br/Suínos/ProduçãoMundialdeCarneSuína.aspx>. Acesso em: 12 jun. 2017.

AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná. **Sistema de Informações Hidrológicas: Alturas diárias de precipitação – 2017 – Toledo**. 2018.

ALMEIDA, G.V.B.P. **Biodigestão anaeróbia na suinocultura.** 2008. 54 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Medicina Veterinária) – Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas, São Paulo, 2008.

ALVAREZ, R.; GUNNAR, L. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v. 33, p. 726-734, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20ª ed. Washington, 1998.

ANDERSON, K.; SALLIS, P.; UYANIK, S. Anaerobic treatment processes. In: MARA, D.; HORAN, N. (Ed.) **The handbook of water and wastewater microbiology**. Academic Press, 2003. p. 391-426.

ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; WELTER, R.A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648-657, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório anual de atividades 2014**. São Paulo: 2015. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2017.

AVACI, A.B. et al. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 17, n. 4, p. 456–462, 2013.

BARRETO, A.C.; CAMPOS, C.M.M. Avaliação de um sistema de irrigação autopropelido aplicando água residuária de suinocultura. **Ciênc. Agrotec.,** Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1752-1757, 2009.

BAYLIS, K.; PAULSON, N.D. Potential for carbon offsets from anaerobic digesters in livestock production. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 166/167, n. 23, p. 446-456, 2011.

BRANDÃO, V.S. et al. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938, de 21 de agosto de 1981**. Brasília, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 03 jul. 2017.

CABRAL, J.R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CAMPOS, A.T. et al. Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a quartzarenicneosol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 756-764, 2012.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS BIOGÁS - CIBIOGÁS. **Laboratório - Serviços prestados: sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis**. 2017. Disponível em: <https://www.cibiogas.org/laboratorio>. Acesso em: 03 jul. 2017.

CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - CCE- **Guia Técnico de Biogás**. ADENE – Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 106 p.

CENTRO SEBRAE DE SUSTENTABILIDADE. **Minha empresa sustentável: suinocultura**. Cuiabá: 2016. 32 p.

CERVI, R.G.; ESPERANCINI, M.S.T.; BUENO, O.C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Eng. Agríc.,** Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 831-844, 2010.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 5, 379 p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG, 1997, 245 p.

CHICONATO, D.A. et al. Resposta da alface à aplicação de biofertilizante sob dois níveis de irrigação. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 392-399, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília, 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Brasília, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005.

CORTEZ, L.A.B. et al. Biodigestão de efluentes. In: **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

DAGA, J. et al. Análise da adequação ambiental e manejo dos dejetos de instalações para suinocultura em propriedades na região Oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 587-595, 2007.

DALAVÉQUIA, M.A. **Avaliação de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. 2000. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DAL MAGO, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em Braço do Norte e em Concórdia**. 2009. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DAL MAGO, A. et al. Caracterização do Biogás e do Afluente em Biodigestores da Atividade Suinícola em Santa Catarina. In: X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 10, 2010, Maceió-AL. **Anais**... Rio de Janeiro: ABES, 2010.

DESTOUNI, G.; FRANK, H. Renewable energy. **Ambio**, v.39, p.18-21, 2010.

DIAS, C.A.; BITENCOURT, M.I.P.; BEUX, S. Estimativa do desempenho das lagoas de estabilização em um laticínio. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v. 1, n. 2, p. 25-30, 2006.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos.** EMBRAPA suínos e Aves e Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER/RS (Boletim Informativo de Pesquisa) – BIPERS nº 14, 2002, 30 p.

DUDA, R.M.; OLIVEIRA, R.A. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 91-100, 2011.

ECYCLE. **Uso de biodigestores é uma alternativa para reduzir impacto ambiental das atividades rurais e aumentar a renda do produtor**. 2016. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/4218-biodigestores-funcionamento-auxiliar-sustentabilidade-atividade-rural-agricultura-pecuaria-decomposicao-anaerobica-residuos-dejetos-animais-geracao-biogas-biofertilizante.html>. Acesso em: 11 jul. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanço energético nacional: Relatório síntese ano base 2016**. Rio de Janeiro: 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Brasil: Renováveis para o desenvolvimento**. RIO +20. Rio de Janeiro, 2012.

ESPERANCINI, M.S.T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia. Agrícola**. v. 27, n. 1, 2007.

ESTRADA, V.E.E.; HERNANDEZ, D.E.A. Treatment of piggery wastes in waste stabilization ponds. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 55-60, 2002.

FANTOZZI, F.; BURATTI, C. Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 23, p. 5783-5789, 2009.

FEIDEN. A. et al. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura. In: AGRENER GD 2004 - 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. 2004. **Anais**. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP/NIPE. 2004

FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala**

**piloto**. 2001. 90 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package** (Portuguese). R package version 1.1.2, 2013.

FLORENTINO, H.O. Mathematical tool to size rural digesters. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 185-190, 2003.

FRIGO, K.D.A. et al. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE - FEPAM. Glossário. 2009. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/glossario/glossario.asp?filtro=B>. Acesso em: 06 jul. 2017.

GALBIATTI, J.A. et al. Efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a duas lâminas de água por irrigação por sulco. **Científica**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 63-74, 1996.

GALBIATTI, J.A. et al. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 432-437, 2010.

GARTNER, I.R.; GAMA, M.L.S. Avaliação multicriterial dos impactos ambientais da suinocultura no Distrito Federal: um estudo de caso. **Organizações Rurais e Agrícolas**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 148-161, 2005.

GERARDI, M. **The microbiology of anaerobic digesters**. New York: WileyInterscience, 2003.

GILROYED, B.H. et al. Anaerobic digestion of specified risk materials with cattle manure for biogas production. **Bioresource Techonology**, Oxford, v. 101, n. 15, p. 5780-5785, 2010.

GOMES, S.D. et al. Efeito do manejo da lâmina d'água na minimização do volume de efluentes gerados na produção de suínos. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 233-242, 2009.

GOSMANN, H.A. **Estudos comparativos com bioesterqueira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos.** 1997. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GUEDES, C.L.B. et al. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

GUERRERO, R.B.S. **Biodessulfurização do biogás gerado no processo de digestão anaeróbia da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cervejeira.** 2015. 102 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2015.

GUSMÃO, M.M.F.C.C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 p. Dissertação (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

HIGARASHI, M.M. et al. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 311-317, 2008.

HIGARASHI, M.M.; KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A.V. Redução da carga poluente: sistemas de tratamento. In: SEGANFREDO, M.A. (Ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. p. 119-148.

HOLM-NIELSEN, J.B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, 2009.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Licenciamento ambiental: modalidade do Licenciamento de Suinocultura definido pelo Sistema e Quantidade de Matrizes.** Curitiba: 2017. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=933>. Acesso em: 04 jul. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. 87p.

KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 31-41, 2011.

KAZMIERCZAK, T. et al. Estimativa teórica da produção de biogás a partir de efluente procedente de abatedouro de suínos e aves no município de Videira – SC (Estudo de Caso). **Ignis**, Caçador, v. 5, n. 1, p. 05-17, 2016.

KONZEN, E.A. **Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

KONZEN, E.A. et al. **Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1997. 31 p.

KOTZ, A.; SCHMITZ, M.; MATIELLO, S. **Estimativa da produção de biogás a partir de dejetos suínos: avaliação da eficiência energética do metano e a geração de créditos de carbono.** 2011. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, 2009.

KUNZ, A.; PERDOMO, C.C; OLIVEIRA, P.A.V. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, n.178, p.14-16, 2004.

LANSING, S.; BOTERO, R.B.; MARTIN, J.F. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 13, p. 5881-5890, 2008.

LEITE, G.F.; CUNHA NETO, F.R.; RESENDE, A.V. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar adubada com dejetos líquidos de suínos. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 132-138, 2009.

LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **Trends in Biotechnology**. v.19, n. 9, p. 363-370, 2001.

LUO, L.; VAN DER VOET, E.; HUPPES, G. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 13, p. 1613–1619, 2009.

MACHADO, M.G. **Tratamento e aproveitamento de dejetos suínos com ênfase na produção de biogás. Estudo de caso: Suinutri Indústria e Comércio de Carnes e Dervivados LTDA – Campo Verde – MT**. 2009. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Cricíuma, 2009.

MACHADO, N.S. et al. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 344-356, 2015.

MAGALHÃES, M.A. et al. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

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

MASSÉ, D. I.; MASSE, L.; CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, v. 89, p. 57-62, 2003.

MASSÉ, D.I.; TALBOT, G.; GILBERT, Y. On farm biogas production: a method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 166/167, n. 23, p. 436-445, 2011.

MEDEIROS, D.C. et al. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 433-436, 2007.

MEDEIROS, M.B. et al. Uso de biofertilizantes líquidos no manejo ecológico de pragas agrícolas. In: ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL DA UFPB, 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2003. p.19-23.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. 1997. 204 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MELO, J.L.S. et al. Estudo preliminar da remoção de sólidos e turbidez por disposição em solo utilizando efluente pré-tratado por sistemas anaeróbios. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000.

MIELE, M.; WAQUIL, P.D. Estrutura e dinâmica dos contratos na suinocultura de Santa Catarina: um estudo de caso múltiplos. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 817-847, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2017. **Protocolo de Quito**. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>. Acesso em: 11 jul. 2017.

MONTOYA, J.P.G. et al. Effect of biogas enriched with hydrogen on the operation and performance of a diesel-biogas dual engine. **Ciencia, Tecnologia y Futuro.** v. 5, n. 2, p.61-72, 2013.

NIELSEN, H.B.; ANGELIDAKI, I. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following ammonia inhibition. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 17, p. 7995-8001, 2008.

OKAMURA, L.A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 188 p.

OLIVEIRA, P.A.V. Produção e manejo de dejetos de suínos. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 164-177.

OLIVEIRA, P.A.V., HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos.** Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, 2006. 41 p.

OLIVEIRA, R.A.; DUDA, R.M. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio operado em batelada sequencial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 533-542, 2009.

OLIVEIRA, R.A.; SANTANA, A.M. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios seguidos de reator operado em batelada sequencial (RBS). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 178-192, 2011.

ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. 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.; LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 474-482, 2009.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 399-410, 2011.

PALHARES, J.C.P. Legislação ambiental e suinocultura: barreiras, leis e futuro. In: SEGANFREDO, M.A. (Ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. p. 37-101.

PALHARES, J.C.P; CALIJURI, M.C. Caracterização dos afluentes e efluentes suinícolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 502-509, 2007.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso.** 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.J.M.M. Considerações sobre a questão dos dejetos e o meio ambiente. In: SOBESTIANSKY, J. et al. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Embrapa, 1998, p. 221-235.

PEREIRA, B.D.; MAIA, J.C.S.; CAMILOT, R. Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 2, 2008.

PEREIRA, E.L.; CAMPOS, C.M.M.; MONTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

PEREIRA, E.R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola**. 2006. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PRADO, M.A.C.; CAMPOS, C.M.M. Produção de biogás no tratamento dos efluentes líquidos do processamento de Coffee arábica L. em reator anaeróbico uasb para o potencial aproveitamento na secagem do café. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 938-947, 2008.

PRADO, M.A.C.; CAMPOS, C.M.M.; SILVA, J.F. Estudo da variação da concentração de metano no biogás produzido a partir de águas residuárias do café. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 475-484, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de Toledo – PR.** 2 ed. Toledo, 2011. 189 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

RICARDO, C.M. **Avaliação econômica de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos.** 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SALOMON, K.R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SANTOS, M.A.A. et al. Esterqueiras: avaliação físico-química e microbiológica do dejeto suíno armazenado. **Eng. Agríc.,** Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 537-543, 2007.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITABIRA - SAAE/IRA. **Sistema de esgotos sanitários: estação de tratamento** – Manual de Processos. 2006.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. 2017. **O que é crédito de carbono.** Disponível em: < https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-credito-de-carbono,106d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 11 jul. 2017.

SILVA, F. C. M. **Tratamento de dejetos de suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada.** 1996. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

SILVA, F.P. et al. Parâmetros físico-químicos na operação de biodigestores para suinocultura. **Revista Tecnológica** – Edição Especial 14, Maringá, p. 33-41, 2015.

SILVA, M.O.S.A. **Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos**. São Paulo: CETESB, 1977. 226p.

SOUZA, C.F. et al. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 128-133, 2009.

STEINMETZ, R.L.R. et al. Study of metal distribution in raw end screened swine manure. **CLEAN - Soil, Air, Water**, v. 37, n. 3, p. 239-244, 2009.

STIVAL, L.; ERRERA, M.; AISSE, M. Avaliação do desempenho de uma unidade de biodigestão em escala real tratando dejetos da suinocultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 5, p. 983-994, 2017.

SUGANTHI, L.; SAMUEL, A.A. Energy models for demand forecasting—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 2, p. 1223-1240, 2012.

SUINO**. Sadia lança instituto de sustentabilidade e implanta biodigestores em granjas.** 2005. Disponível em: <http://www.suino.com.br/Noticia/sadia-lanca-instituto-de-sustentabilidade-e-implanta-biodigestores-em-granjas-188583>. Acesso em: 11 jul. 2017.

TOLMASQUIM, M.T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear.** EPE: Rio de Janeiro, 2016, 417 p.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012.

TORRES, A.; PEDROSA, J.F.; MOURA, J.P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. **Educação Ambiental em Ação**, n. 40, ano XI, 2012.

VANOTTI, M.B. et al. Development of a second-generation environmentally superior technology for treatment of swine manure in the USA. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 22, p. 5406-5416, 2009.

VERDÉRIO JÚNIOR, S.A. **Formas de geração de energia**. Material de aula: Disciplina de Gestão de Energia. Faculdade de Engenharia Bauru, Bauru: 2013. Disponível em: < https://www.slideshare.net/JuNNioRe/gerao-de-energia-eltrica-28903279>. Acesso em: 06 jul. 2017.

VIEIRA, G.E.G. et al. Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, 2014.

VITORATTO, E. **Projeto e operação de um sistema de tratamento de dejetos suínos utilizando lagoa anaeróbia de alta carga**. 1998. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica) – Universidade de São Paulo. São Paulo: 1998.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. v. 2, 246 p.

XAVIER, C.A.N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 212-223, 2010.

WEISS, A. et al. Investigation of factors influencing biogas production in a large-scale thermophilic municipal biogas plant. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 84, n. 5, p. 987-1001, 2009.

WU, X. et al. Biogas and $CH_4$ productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 101, n. 11, p. 4042–4047, 2010.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense.** 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

ZANIN, A.; BAGATINI, F.M.; PESSATTO, C.B. Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. **Custos e agronegócio online**. v. 6, n. 1, p. 121-139, 2010.

ZHENG, Y. et al. Anaerobic digestion of saline creeping wild ryegrass for biogas production and pretreatment of particleboard material. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 4, p. 1582-1588, 2009.

# APÊNDICE A – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS

Concentração de Sólidos Totais (ST) em mg $L^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | ST (mg $L^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 34.772 | 39.876 | 64.364 | 46.337 | 10.049 | 10.963 | 6.052 | 9.021 |
| | 2 | 11.140 | 14.104 | 9.559 | 11.601 | 5.919 | 4.924 | 4.603 | 5.149 |
| | 3 | 50.743 | 54.681 | 27.183 | 44.203 | 10.205 | 6.904 | 5.683 | 7.597 |
| | 4 | 34.393 | 22.792 | 19.149 | 25.445 | 15.209 | 6.472 | 6.541 | 9.408 |
| | 5 | 28.210 | 17.059 | 15.295 | 20.188 | 6.715 | 6.685 | 6.286 | 6.562 |
| | 6 | 43.453 | 41.026 | 75.458 | 53.312 | 7.551 | 7.517 | 6.762 | 7.277 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 19.068 | 13.412 | 29.140 | 20.540 | 10.552 | 9.447 | 13.772 | 11.257 |
| | 8 | 11.846 | 31.750 | 49.737 | 31.111 | 4.784 | 6.756 | 10.979 | 7.506 |
| | 9 | 10.903 | 24.208 | 31.074 | 22.062 | 3.982 | 9.597 | 10.774 | 8.118 |
| | 10 | 11.372 | 20.155 | 13.412 | 14.980 | 5.956 | 9.333 | 6.202 | 7.164 |
| | 11 | 12.214 | 21.122 | 34.402 | 22.579 | 5.298 | 9.544 | 19.943 | 11.595 |
| | 12 | 12.199 | 17.618 | 12.535 | 14.117 | 6.501 | 8.041 | 4.923 | 6.489 |

Concentração de Sólidos Fixos (SF) em mg $L^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | SF (mg $L^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 10.845 | 11.178 | 15.463 | 12.495 | 4.996 | 2.540 | 3.753 | 3.763 |
| | 2 | 3.233 | 4.242 | 3.948 | 3.808 | 1.772 | 2.436 | 2.493 | 2.234 |
| | 3 | 12.651 | 13.849 | 8.438 | 11.646 | 5.663 | 3.725 | 3.202 | 4.197 |
| | 4 | 10.567 | 6.021 | 6.162 | 7.583 | 5.042 | 3.118 | 3.034 | 3.731 |
| | 5 | 7.276 | 8.040 | 8.322 | 7.879 | 3.110 | 3.864 | 3.513 | 3.496 |
| | 6 | 11.247 | 10.581 | 18.891 | 13.573 | 5.035 | 3.617 | 3.156 | 3.936 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 6.104 | 5.262 | 9.327 | 6.898 | 4.948 | 4.147 | 4.478 | 4.525 |
| | 8 | 5.113 | 16.496 | 16.105 | 12.571 | 2.793 | 2.860 | 3.212 | 2.955 |
| | 9 | 4.442 | 5.878 | 5.941 | 5.420 | 2.193 | 3.415 | 3.800 | 3.136 |
| | 10 | 4.367 | 5.723 | 5.867 | 5.319 | 2.338 | 2.899 | 2.876 | 2.704 |
| | 11 | 4.527 | 7.913 | 10.175 | 7.538 | 2.824 | 4.820 | 6.003 | 4.549 |
| | 12 | 3.681 | 7.501 | 3.836 | 5.006 | 1.575 | 2.941 | 1.449 | 1.988 |

Concentração de Sólidos Voláteis (SV) em mg $L^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | SV (mg $L^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 23.927 | 28.699 | 48.900 | 33.842 | 5.053 | 8.423 | 2.299 | 5.259 |
| | 2 | 7.907 | 9.862 | 5.611 | 7.794 | 4.147 | 2.488 | 2.109 | 2.915 |
| | 3 | 38.092 | 40.833 | 18.745 | 32.557 | 4.542 | 3.178 | 2.481 | 3.400 |
| | 4 | 23.826 | 16.771 | 12.987 | 17.861 | 10.167 | 3.354 | 3.507 | 5.676 |
| | 5 | 20.934 | 9.018 | 6.974 | 12.309 | 3.605 | 2.821 | 2.773 | 3.066 |
| | 6 | 32.206 | 30.445 | 56.567 | 39.739 | 2.516 | 3.901 | 3.606 | 3.341 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 12.963 | 8.150 | 19.813 | 13.642 | 5.604 | 5.300 | 9.294 | 6.732 |
| | 8 | 6.733 | 15.254 | 33.632 | 18.540 | 1.990 | 3.897 | 7.767 | 4.551 |
| | 9 | 6.461 | 18.330 | 25.133 | 16.642 | 1.789 | 6.181 | 6.974 | 4.981 |
| | 10 | 7.005 | 14.432 | 7.545 | 9.661 | 3.618 | 6.434 | 3.327 | 4.459 |
| | 11 | 7.687 | 13.209 | 24.227 | 15.041 | 2.474 | 4.724 | 13.940 | 7.046 |
| | 12 | 8.518 | 10.116 | 8.699 | 9.111 | 4.927 | 5.100 | 3.474 | 4.500 |

Concentração de Sólidos Voláteis (SV) em kg $m^{-3}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | SV (kg $m^{-3}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 23,93 | 28,70 | 48,90 | 33,84 | 5,05 | 8,42 | 2,30 | 5,26 |
| | 2 | 7,91 | 9,86 | 5,61 | 7,79 | 4,15 | 2,49 | 2,11 | 2,91 |
| | 3 | 38,09 | 40,83 | 18,75 | 32,56 | 4,54 | 3,18 | 2,48 | 3,40 |
| | 4 | 23,83 | 16,77 | 12,99 | 17,86 | 10,17 | 3,35 | 3,51 | 5,68 |
| | 5 | 20,93 | 9,02 | 6,97 | 12,31 | 3,61 | 2,82 | 2,77 | 3,07 |
| | 6 | 32,21 | 30,45 | 56,57 | 39,74 | 2,52 | 3,90 | 3,61 | 3,34 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 12,96 | 8,15 | 19,81 | 13,64 | 5,60 | 5,30 | 9,29 | 6,73 |
| | 8 | 6,73 | 15,25 | 33,63 | 18,54 | 1,99 | 3,90 | 7,77 | 4,55 |
| | 9 | 6,46 | 18,33 | 25,13 | 16,64 | 1,79 | 6,18 | 6,97 | 4,98 |
| | 10 | 7,00 | 14,43 | 7,55 | 9,66 | 3,62 | 6,43 | 3,33 | 4,46 |
| | 11 | 7,69 | 13,21 | 24,23 | 15,04 | 2,47 | 4,72 | 13,94 | 7,05 |
| | 12 | 8,52 | 10,12 | 8,70 | 9,11 | 4,93 | 5,10 | 3,47 | 4,50 |

## APÊNDICE B – pH, ACIDEZ VOLÁTIL, ALCALINIDADE TOTAL E RELAÇÃO AV/AT

Resultados da análise de pH

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | pH | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 7,53 | 7,54 | 7,63 | 7,57 | 8,03 | 8,23 | 8,15 | 8,14 |
| | 2 | 8,13 | 7,84 | 7,98 | 7,98 | 8,25 | 8,22 | 8,25 | 8,24 |
| | 3 | 8,11 | 7,79 | 7,86 | 7,92 | 8,46 | 8,53 | 8,54 | 8,51 |
| | 4 | 7,32 | 7,57 | 7,38 | 7,42 | 7,88 | 7,94 | 7,82 | 7,88 |
| | 5 | 7,54 | 7,64 | 7,72 | 7,63 | 8,05 | 8,17 | 8,14 | 8,12 |
| | 6 | 7,81 | 7,15 | 7,56 | 7,51 | 8,28 | 8,19 | 8,11 | 8,19 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 7,30 | 7,10 | 7,52 | 7,31 | 7,72 | 7,20 | 7,88 | 7,60 |
| | 8 | 7,25 | 7,03 | 7,12 | 7,13 | 7,73 | 7,19 | 7,55 | 7,49 |
| | 9 | 7,64 | 7,13 | 7,29 | 7,35 | 7,94 | 7,30 | 7,44 | 7,56 |
| | 10 | 7,26 | 7,16 | 7,41 | 7,28 | 7,75 | 7,25 | 7,97 | 7,66 |
| | 11 | 7,39 | 7,08 | 7,55 | 7,34 | 8,10 | 7,69 | 7,98 | 7,92 |
| | 12 | 7,31 | 6,64 | 7,12 | 7,02 | 8,13 | 7,32 | 7,42 | 7,62 |

Concentração de Acidez Volátil (AV) em mg $L^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | AV (mg $CH_3COOH$ $L^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 14.782,80 | 13.036,80 | 12.144,40 | 13.321,33 | 1.668,40 | 1.746,00 | 659,60 | 1.358,00 |
| | 2 | 4.617,20 | 5.955,80 | 4.112,80 | 4.895,27 | 15.869,20 | 931,20 | 756,60 | 5.852,33 |
| | 3 | 1.338,60 | 10.049,20 | 5.858,80 | 5.748,87 | 1.649,00 | 426,80 | 1.144,60 | 1.073,47 |
| | 4 | 8.245,00 | 6.072,20 | 7.333,20 | 7.216,80 | 7.236,20 | 5.567,80 | 6.693,00 | 6.499,00 |
| | 5 | 10.844,60 | 3.026,40 | 8.458,40 | 7.443,13 | 3.744,20 | 2.619,00 | 3.026,40 | 3.129,87 |
| | 6 | 14.084,40 | 10.340,20 | 11.310,20 | 11.911,60 | 2.172,80 | 2.696,60 | 2.308,60 | 2.392,67 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 9.156,80 | 5.858,80 | 10.437,20 | 8.484,27 | 11.562,40 | 4.520,20 | 5.858,80 | 7.313,80 |
| | 8 | 9.176,20 | 8.264,40 | 8.962,80 | 8.801,13 | 1.416,20 | 1.125,20 | 795,40 | 1.112,27 |
| | 9 | 5.044,00 | 6.731,80 | 4.966,40 | 5.580,73 | 1.125,20 | 3.550,20 | 2.017,60 | 2.231,00 |
| | 10 | 7.139,20 | 6.848,20 | 3.356,20 | 5.781,20 | 3.317,40 | 5.839,40 | 2.211,60 | 3.789,47 |
| | 11 | 7.818,20 | 8.245,00 | 8.885,20 | 8.316,13 | 2.231,00 | 1.125,20 | 1.202,80 | 1.519,67 |
| | 12 | 5.529,00 | 7.119,80 | 4.539,60 | 5.729,47 | 1.590,80 | 1.319,20 | 737,20 | 1.215,73 |

Concentração de Alcalinidade Total (AT) em mg $L^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | AT (mg $CaCO_3$ $L^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 10.560,00 | 6.216,00 | 12.792,00 | 9.856,00 | 11.472,00 | 7.608,00 | 17.064,00 | 12.048,00 |
| | 2 | 5.952,00 | 3.480,00 | 11.952,00 | 7.128,00 | 6.696,00 | 3.768,00 | 11.976,00 | 7.480,00 |
| | 3 | 12.696,00 | 4.968,00 | 10.656,00 | 9.440,00 | 7.800,00 | 5.520,00 | 14.424,00 | 9.248,00 |
| | 4 | 4.008,00 | 3.816,00 | 3.960,00 | 3.928,00 | 5.712,00 | 4.248,00 | 5.136,00 | 5.032,00 |
| | 5 | 5.304,00 | 2.088,00 | 5.496,00 | 4.296,00 | 5.256,00 | 5.208,00 | 5.328,00 | 5.264,00 |
| | 6 | 7.416,00 | 3.912,00 | 23.544,00 | 11.624,00 | 6.312,00 | 5.472,00 | 14.280,00 | 8.688,00 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 4.848,00 | 4.512,00 | 8.568,00 | 5.976,00 | 5.376,00 | 4.848,00 | 10.416,00 | 6.880,00 |
| | 8 | 5.784,00 | 4.008,00 | 5.592,00 | 5.128,00 | 3.120,00 | 3.504,00 | 2.664,00 | 3.096,00 |
| | 9 | 5.712,00 | 3.720,00 | 10.584,00 | 6.672,00 | 1.992,00 | 4.392,00 | 12.048,00 | 6.144,00 |
| | 10 | 2.568,00 | 3.168,00 | 3.432,00 | 3.056,00 | 5.064,00 | 4.368,00 | 12.768,00 | 7.400,00 |
| | 11 | 3.720,00 | 3.624,00 | 14.496,00 | 7.280,00 | 4.368,00 | 3.888,00 | 9.192,00 | 5.816,00 |
| | 12 | 2.784,00 | 3.288,00 | 8.688,00 | 4.920,00 | 4.296,00 | 3.576,00 | 5.736,00 | 4.536,00 |

Valores obtidos da relação AV/AT

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | AV/AT | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 1,40 | 2,10 | 0,95 | 1,48 | 0,15 | 0,23 | 0,04 | 0,14 |
| | 2 | 0,78 | 1,71 | 0,34 | 0,94 | 2,37 | 0,25 | 0,06 | 0,89 |
| | 3 | 0,11 | 2,02 | 0,55 | 0,89 | 0,21 | 0,08 | 0,08 | 0,12 |
| | 4 | 2,06 | 1,59 | 1,85 | 1,83 | 1,27 | 1,31 | 1,30 | 1,29 |
| | 5 | 2,04 | 1,45 | 1,54 | 1,68 | 0,71 | 0,50 | 0,57 | 0,59 |
| | 6 | 1,90 | 2,64 | 0,48 | 1,67 | 0,34 | 0,49 | 0,16 | 0,33 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 1,89 | 1,30 | 1,22 | 1,47 | 2,15 | 0,93 | 0,56 | 1,21 |
| | 8 | 1,59 | 2,06 | 1,60 | 1,75 | 0,45 | 0,32 | 0,30 | 0,36 |
| | 9 | 0,88 | 1,81 | 0,47 | 1,05 | 0,56 | 0,81 | 0,17 | 0,51 |
| | 10 | 2,78 | 2,16 | 0,98 | 1,97 | 0,66 | 1,34 | 0,17 | 0,72 |
| | 11 | 2,10 | 2,28 | 0,61 | 1,66 | 0,51 | 0,29 | 0,13 | 0,31 |
| | 12 | 1,99 | 2,17 | 0,52 | 1,56 | 0,37 | 0,37 | 0,13 | 0,29 |

## APÊNDICE C – RESULTADOS DA ANÁLISE DE DENSIDADE

Concentração de Densidade (D) em g $mL^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | D (g $mL^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Entrada | | | | Saída | | | |
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | Média |
| Biodigestor | 1 | 1,011 | 1,017 | 1,014 | 1,014 | 1,007 | 1,016 | 1,011 | 1,011 |
| | 2 | 1,004 | 1,006 | 1,007 | 1,006 | 1,005 | 1,005 | 1,006 | 1,005 |
| | 3 | 1,035 | 1,021 | 1,032 | 1,029 | 1,015 | 1,007 | 1,014 | 1,012 |
| | 4 | 1,026 | 1,010 | 1,017 | 1,018 | 1,012 | 1,005 | 1,011 | 1,009 |
| | 5 | 1,015 | 1,008 | 1,016 | 1,013 | 1,007 | 1,003 | 1,009 | 1,006 |
| | 6 | 1,018 | 1,014 | 1,016 | 1,016 | 1,010 | 1,007 | 1,008 | 1,008 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 1,006 | 1,009 | 1,007 | 1,007 | 1,001 | 1,008 | 1,003 | 1,004 |
| | 8 | 1,007 | 1,024 | 1,015 | 1,015 | 1,002 | 1,006 | 1,007 | 1,005 |
| | 9 | 1,008 | 1,015 | 1,016 | 1,013 | 1,004 | 1,009 | 1,008 | 1,007 |
| | 10 | 1,007 | 1,011 | 1,012 | 1,010 | 1,004 | 1,009 | 1,010 | 1,008 |
| | 11 | 1,007 | 1,011 | 1,013 | 1,010 | 1,005 | 1,005 | 1,010 | 1,007 |
| | 12 | 1,006 | 1,019 | 1,017 | 1,014 | 1,005 | 1,007 | 1,012 | 1,008 |

## APÊNDICE D – REMOÇÃO DE SÓLIDOS

Eficiência de Remoção de ST em %

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | Remoção de ST (%) | | | Média (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | |
| Biodigestor | 1 | 71,1 | 72,5 | 90,6 | 78,1 |
| | 2 | 46,9 | 65,1 | 51,8 | 54,6 |
| | 3 | 79,9 | 87,4 | 79,1 | 82,1 |
| | 4 | 55,8 | 71,6 | 65,8 | 64,4 |
| | 5 | 76,2 | 60,8 | 58,9 | 65,3 |
| | 6 | 82,6 | 81,7 | 91,0 | 85,1 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 44,7 | 29,6 | 52,7 | 42,3 |
| | 8 | 59,6 | 78,7 | 77,9 | 72,1 |
| | 9 | 63,5 | 60,4 | 65,3 | 63,1 |
| | 10 | 47,6 | 53,7 | 53,8 | 51,7 |
| | 11 | 56,6 | 54,8 | 42,0 | 51,2 |
| | 12 | 46,7 | 54,4 | 60,7 | 53,9 |

Eficiência de Remoção de SF em %

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | Remoção de SF (%) | | | Média (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | |
| Biodigestor | 1 | 53,9 | 77,3 | 75,7 | 69,0 |
| | 2 | 45,2 | 42,6 | 36,8 | 41,5 |
| | 3 | 55,2 | 73,1 | 62,0 | 63,5 |
| | 4 | 52,3 | 48,2 | 50,8 | 50,4 |
| | 5 | 57,3 | 51,9 | 57,8 | 55,7 |
| | 6 | 55,2 | 65,8 | 83,3 | 68,1 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 18,9 | 21,2 | 52,0 | 30,7 |
| | 8 | 45,4 | 82,7 | 80,1 | 69,4 |
| | 9 | 50,6 | 41,9 | 36,0 | 42,9 |
| | 10 | 46,5 | 49,3 | 51,0 | 48,9 |
| | 11 | 37,6 | 39,1 | 41,0 | 39,2 |
| | 12 | 57,2 | 60,8 | 62,2 | 60,1 |

Eficiência de Remoção de SV em %

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | Remoção de SV (%) | | | Média (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1º Coleta | 2º Coleta | 3º Coleta | |
| Biodigestor | 1 | 78,9 | 70,7 | 95,3 | 81,6 |
| | 2 | 47,6 | 74,8 | 62,4 | 61,6 |
| | 3 | 88,1 | 92,2 | 86,8 | 89,0 |
| | 4 | 57,3 | 80,0 | 73,0 | 70,1 |
| | 5 | 82,8 | 68,7 | 60,2 | 70,6 |
| | 6 | 92,2 | 87,2 | 93,6 | 91,0 |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 56,8 | 35,0 | 53,1 | 48,3 |
| | 8 | 70,4 | 74,5 | 76,9 | 73,9 |
| | 9 | 72,3 | 66,3 | 72,3 | 70,3 |
| | 10 | 48,4 | 55,4 | 55,9 | 53,2 |
| | 11 | 67,8 | 64,2 | 42,5 | 58,2 |
| | 12 | 42,2 | 49,6 | 60,1 | 50,6 |

## APÊNDICE E – PRODUÇÃO ESTIMADA DE BIOGÁS

Produção estimada de biogás em $m^3$ biogás $dia^{-1}$

| Tipo de Tratamento de Dejetos | Propriedade | $m^3$ biogás $dia^{-1}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Média p/ 800 suínos | Média p/ 1.200 suínos | Média | Média Geral |
| Biodigestor | 1 | 72,03 | 108,05 | 90,04 | 63,23 |
| | 2 | 12,29 | 18,44 | 15,37 | |
| | 3 | 73,47 | 110,21 | 91,84 | |
| | 4 | 30,71 | 46,06 | 38,38 | |
| | 5 | 23,29 | 34,94 | 29,11 | |
| | 6 | 91,72 | 137,59 | 114,66 | |
| Lagoa de Estabilização | 7 | 17,41 | 26,12 | 21,77 | 26,44 |
| | 8 | 35,25 | 52,88 | 44,06 | |
| | 9 | 29,38 | 44,08 | 36,73 | |
| | 10 | 13,11 | 19,66 | 16,38 | |
| | 11 | 20,15 | 30,22 | 25,18 | |
| | 12 | 11,62 | 17,43 | 14,52 | |

# APÊNDICE F – LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E BIODIGESTORES