



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS SISTEMAS EM ESCALA
REAL PARA O MANEJO DOS DEJETOS SUÍNOS: Lagoa
armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de
armazenamento.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^o. Dr. Paulo Belli Filho.

Luiz Walter da Silva Monteiro

**Florianópolis-SC
2005**

Ficha Catalográfica

Monteiro, Luiz Walter da Silva

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS SISTEMAS EM ESCALA REAL PARA O MANEJO DOS DEJETOS SUÍNOS: Lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento.

Luiz Walter da Silva Monteiro –Florianópolis, 2005. viii, 146 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Título em inglês: Evaluation of the performance of two systems in real scale for the handling of swine manure: Lagoon storage compared with biodigestor followed of lagoon storage.

1. Introdução, 2. Objetivos, 3. Revisão Bibliográfica, 4. Metodologia, 5. Resultados e Discussões, 6. Conclusões 7. Recomendações e 8. Referências Bibliográficas.

“AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS SISTEMAS EM ESCALA REAL PARA O MANEJO DOS DEJETOS SUÍNOS: Lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa armazenamento”

LUIZ WALTER DA SILVA MONTEIRO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Avaliada por:

Prof^o. Dr. Hugo Moreira Soares

Depto. de Eng. Química e Alimentos-UFSC

Prof^o. Dr. Luiz Sergio Phillipi

Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental-UFSC

Prof^a. Dr^a. Mônica A. Aguiar dos Santos

Depto. de Eng. Rural-UFSC

Prof^a. Dr^a. Rejane H. Ribeiro da Costa

Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental-UFSC

Prof^o. Dr. Henry Xavier Corseuil,

Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental-UFSC

(Coordenador)

Prof^o. Dr. Paulo Belli Filho

Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental-UFSC

(Orientador)

Florianópolis, SC-BRASIL.

Maio/2005

Mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis do movimento da água que escoam frente aos meus olhos.

**Galileu Galilei
(1564 - 1642)**

Não diga ao seu subconsciente que você não é capaz de fazer alguma coisa, se não ele responderá: “Tudo bem!”

Albert Einstein

*A meus pais Luiz Carlos e Elizabeth
e a meus irmãos Leandro e Wagner
por tudo que eles representam para
mim.*

AGRADECIMENTOS

Na superação de cada dificuldade para a conclusão deste trabalho pude contar com o apoio de varias pessoas que, independente do quanto cada uma contribuiu, foram determinantes em toda a execução. Desta forma registro aqui o meu Muito Obrigado.

A Deus por me abençoar, iluminando meus caminhos me dando força para continuar.

Ao Prof. Dr. Paulo Belli Filho, pela orientação e apoio durante a execução do trabalho.

Ao coordenador do APL–Dejetos Suínos, Hugo Gosmann, pelo apoio e incentivo.

A UFSC e ao Programa de Pós-Graduação em Eng^a. Ambiental e seus funcionários, em especial à: Prof^a. Dra. Rejane H. Ribeiro da Costa, Prof. Dr. Armando B. de Castilhos Jr., Prof. Dr. Luiz S. Phillip e Prof^a Heik Hofmann pelo amparo ao longo do curso.

Aos colegas Doutorandos Rafael Oliveira e Iria Araújo por todo apoio tanto na parte teórica quanto na pratica, e em especial para o amigo e prof^o Rui Macedo por todas as contribuições e incentivos. A ajuda de vocês foi fundamental para o término desse trabalho.

Às bolsistas Tatiane, Telma e Janaina pelo auxilio nas análises laboratoriais, a equipe de laboratório do LIMA Arlete e Eliane, e aos colegas do Labeflu Alexandre, Rosane e Delmira agradeço pela ajuda e principalmente pelo clima familiar e descontraído que vocês proporcionam no ambiente de trabalho.

A meus pais e irmãos que, me incentivam e encorajam a lutar por dias melhores.

À minha amiga-irmã (mais velha, rs) Eng^a Tatiana Barbosa da Costa que desde a graduação vem dividindo os momentos bons e ruins dentro e fora do âmbito acadêmico, e acima de tudo, por todo companheirismo e amizade dedicada. Muito obrigado Tati.

Às amigas Simone Vendrusculo e Débora Brentano pelo companheirismo, pelas trilhas, pelos chás, pelo Zehn, pelo surf e pela amizade de vocês; a todos os amigos da Pós...Jack, Gisele, PC, Sebastian, Djuliano, Francinne, Zanard, Tiba, Claudinha, Suzele, Cristiano, Vanessa, Ane e Alessandra, e galera do Beribazu-UFSC: MuleKa, Lelo e cia.

E a todos os amigos de Floripa... Tati e Pati festerê, Grazi, Mura, Pedro, Mariana, Marcel, entre tantos outros...Obrigado por tudo.

Aos membros externos da banca examinadora, Prof^a. Dra. Mônica A. Aguiar dos Santos, Prof. Dr. Dr Hugo Moreira Soares.

Ao CNPq pela concessão da bolsa e a Finep/Fundagro pelo Financiamento da pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivo Específico	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Panorama global da suinocultura	4
3.1.1 Aspectos da suinocultura mundial.....	4
3.1.2 A suinocultura no Brasil e em Santa Catarina	6
3.1.3 A suinocultura em Braço do Norte	7
3.2 Características físicas da área em estudo.....	9
3.2.1 Geologia e geomorfologia.....	9
3.2.2 Clima, solo e relevo.....	9
3.2.3 Aspectos sócio-econômicos.....	9
3.3 Atividade suinícola e o meio ambiente.....	10
3.3.1 Desperdícios de água na criação de suínos.....	11
3.4 Características dos sistemas produtivos.....	12
3.5 Produção de dejetos suínos	14
3.5.1 Composição dos dejetos	16
3.6 Impactos causados pelos dejetos	17
3.7 Sistemas de manejo para os dejetos suínos	19
3.7.1 Sistemas de Homogeneização	19
3.7.2 Experiências com lagoas	20
3.7.3 Experiências com biodigestores anaeróbios.....	21

3.7.4 Experiências com digestores seguido de lagoa de armazenamento	23
3.8 Tratamento dos dejetos suínos	24
3.9 Utilização da tecnologia anaeróbia para dejetos suínos.....	25
3.10 Fundamentos da digestão anaeróbia	26
3.10.1 Hidrólise	27
3.10.2 Acidogênese	27
3.10.3 Acetogênese	27
3.10.4 Metanogênese	27
3.11 Cinética da digestão anaeróbia.....	28
3.12 Fatores Ambientais que Interferem na Digestão Anaeróbia	29
3.12.1 Temperatura	29
3.12.2 pH.....	30
3.12.3 Toxicidade	30
3.12.4 Nutrientes	30
3.13 Biogás.....	31
3.14 Utilização do dejetos como fertilizante.....	32
3.15 Parâmetros para avaliação do processo anaeróbio	33
3.15.1 Relação entre Carbono (C), Nitrogênio (N) e Fósforo (P)	33
3.15.2 Relação DBO5/DQOt	34
3.15.3 Relação pH/acidez	35
3.15.4 Temperatura	35
3.15.5 Atividade metanogênica específica.....	36
3.15.6 Densidade (γ).....	36
3.15.7 Potencial redox (Eh)	37
3.16 Legislação Ambiental aplicada à criação de suínos.....	38
3.16.1 Licenciamento ambiental da suinocultura	40
4 METODOLOGIA.....	41
4.1 Análise global da implantação dos sistemas de armazenamento de dejetos suínos na propriedade.....	41
4.2 Projetos suínos-SC.....	41
4.3 Caracterização da propriedade estudada	43

4.4 Caracterização do sistema de armazenamento.....	44
4.5 Avaliação de parâmetros em campo.....	47
4.6 Avaliação de parâmetros em laboratório.....	47
4.7 Detalhes dos procedimentos adotados para as análises em laboratório.....	48
4.7.1 DQO_t e DBO₅.....	48
4.7.2 Série de sólidos.....	48
4.7.3 Fósforo total (PO₄-P).....	49
4.7.4 Nitrogênio total (NTK-N) e nitrogênio amoniacal (NH₃-N).....	49
4.7.5 Acidez total.....	49
4.7.6 Atividade metanogênica específica (AME).....	50
4.7.7 Microscopia óptica.....	51
4.7.8 Biogás.....	51
4.8 Estratégias de operação.....	53
4.8.1 Alimentação dos sistemas de armazenamento.....	53
4.8.2 Perfil de sólidos e Análise do lodo.....	54
4.8.3 Sazonalidade.....	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 Análise geral dos parâmetros avaliados.....	55
5.1.1 pH e acidez.....	55
5.1.2 Comportamento do potencial redox (Eh).....	58
5.1.3 Série de sólidos.....	59
5.1.4 Sólidos decantáveis (Ssed) e densidade (γ).....	64
5.1.5 DQO_t e DBO₅.....	65
5.1.6 Nitrogênio total Kjeldahl (NTK-N).....	70
5.1.7 Nitrogênio amoniacal.....	71
5.1.8 Fósforo total (PO₄-P).....	73
5.1.9 Atividade metanogênica específica (AME).....	75
5.1.10 Microscopia óptica.....	76
5.1.11 Cromatografia gasosa.....	78
5.2.1 Variação da temperatura nas unidades de armazenamento.....	79
5.2.2 Avaliação da interferência da temperatura ambiente.....	80

5.3 Vazão de alimentação dos sistemas de armazenamento do dejetos (situações)..	81
5.3.1 Concentração (g DQO/Kg) e Carga volumétrica (g DQO/ Kg.d)	82
5.3.2 Concentração de Sólidos Totais (g ST/Kg) e Carga volumétrica (g ST/Kg.dia)	86
5.3.3 Concentração de nutrientes (g/Kg) e Carga (g/Kg.dia).....	88
5.3.4 Influência da temperatura nas unidades.....	90
5.4 Perfil de sólidos	91
5.4.1 Biodigestor.....	92
5.4.2 Lagoa de armazenamento 2.....	98
5.5 Aporte legislativo	103
6 CONCLUSÕES.....	105
7 RECOMENDAÇÕES.....	107
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	117
APÊNDICE	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Amostra do sistema produtivo sob confinamento.....	14
Figura 4.1: Localização da sub-bacia do Rio Coruja/Bonito, adaptado EPAGRI (2000).....	42
Figura 4.2: Layout da propriedade de criação de suínos.....	44
Figura 4.3: Tanque de passagem de dejetos.....	44
Figura 4.4: L.A.1 e detalhes do seu dimensionamento.....	45
Figura 4.5: Biodigestor e detalhes do dimensionamento.....	46
Figura 4.6: L.A.2 e detalhes do seu dimensionamento.....	46
Figura 4.7: Fluxograma do sistema de armazenamento de dejetos.....	46
Figura 4.8: Sistema de pré-tratamento do biogás para análise.....	52
Figura 5.1: Evolução do pH nas unidades dos sistemas.....	57
Figura 5.2: Evolução da acidez nas unidades dos sistemas.....	58
Figura 5.3: Evolução do Eh do dejetos bruto e nas unidades de armazenamento.....	59
Figura 5.4: Evolução do dejetos bruto sob a análise de ST, SF e SV.....	60
Figura 5.5: Evolução dos ST em cada unidade dos sistemas de armazenamento.....	62
Figura 5.6: Evolução dos SF em cada unidade dos sistemas de armazenamento.....	63
Figura 5.7: Evolução dos SV em cada unidade dos sistemas de armazenamento.....	63
Figura 5.8: Comportamento evolutivo da DQO afluente, média nas etapas estudadas.....	66
Figura 5.9: Comportamento evolutivo da DBO ₅ afluente, média nas etapas estudadas.....	66
Figura 5.10: Evolução da DQO em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.....	68
Figura 5.11: Evolução da DBO ₅ em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.....	68
Figura 5.12: Evolução do NTK afluente e média nas etapas estudadas.....	71
Figura 5.13: Evolução do NTK em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.....	71
Figura 5.14: Evolução do NH ₄ ⁺ -N afluente e média na etapa estudada.....	72
Figura 5.15: Evolução do NH ₄ ⁺ -N em cada unidade dos sistemas de armazenamento.....	73
Figura 5.16: Evolução do PO ₄ -P afluente e média nas etapas estudadas.....	74
Figura 5.17: Evolução do PO ₄ -P total em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.....	74
Figura 5.18: Média de produção acumulada de metano para a amostra de lodo em triplicata.....	75

Figura 5.19 (a) Microscopia de fluorescência do lodo (aumentado 100 x) com 129 dias de operação do biodigestor; (b) microscopia de fluorescência do lodo (aumentado 100 x) com 223 dias de operação do biodigestor.....	77
Figura 5.20: Microscopia de luz comum aos 129 dias de operação (a) verificação de bactérias livres (aumento de 400 x); (b) forma dos flocos e início da concepção de pequenos grânulos (aumento de 100 x).....	78
Figura 5.21: Carga volumétrica de SVT em g/Kg .d e rendimento de CH ₄ em %.....	79
Figura 5.22: Evolução da temperatura no dejetto bruto e nos sistemas de armazenamento..	80
Figura 5.23: Evolução da temperatura ambiente na região estudada.....	80
Figura 5.24: Variação da vazão de alimentação dos sistemas de armazenamento.....	82
Figura 5.25: Variação da carga nos sistemas de manejos dos dejetos.....	84
Figura 5.26: Variação da DQO efluente em cada unidade nos sistemas 1 e 2.....	85
Figura 5.27: Porcentagem de remoção de DQO nos sistemas ao longo de cada situação....	86
Figura 5.28: Porcentagem de remoção de ST nos sistemas ao longo de cada situação.....	87
Figura 5.29: Variação dos ST efluente nos sistemas 1 e 2.....	88
Figura 5.30: Variação da concentração de NTK nos três extratos de profundidade.....	93
Figura 5.31: Variação da concentração de PO ₄ -P nos três extratos de profundidade.....	94
Figura 5.32: Variação da concentração de DQO _t nos três extratos de profundidade.....	94
Figura 5.33: Variação da concentração de ST nos três extratos de profundidade.....	96
Figura 5.34: Variação da concentração de SF nos três extratos de profundidade.....	97
Figura 5.35: Variação da concentração de SV nos três extratos de profundidade.....	97
Figura 5.36: Variação da concentração de NKT no sobrenadante e no lodo de fundo.....	100
Figura 5.37: Variação da concentração de PO ₄ -P no sobrenadante e no lodo de fundo.....	101
Figura 5.38: Variação da concentração de DQO nos três extratos de profundidade.....	101
Figura 5.39: Variação da concentração de ST no lodo e no sobrenadante.....	102
Figura 5.40: Variação da concentração de SF no lodo e no sobrenadante.....	102
Figura 5.41: Variação da concentração de SV no lodo e no sobrenadante.....	103
Figura 5.42: Utilização do solo na propriedade.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Maiores produtores mundiais de suínos nos últimos 4 anos.....	5
Tabela 3.2: Consumo mundial de carne suína em mil toneladas.....	5
Tabela 3.3: Principais estados brasileiros produtores de carne suína.....	7
Tabela 3.4: Consumo de água nos diferentes tipos de bebedouros.....	12
Tabela 3.5: Distribuição da utilização dos sistemas de produção de suínos no Brasil.....	12
Tabela 3.6: Produção média diária de esterco por categoria de suíno.....	15
Tabela 3.7: Média das características físico-químicas na visão de diferentes autores.....	17
Tabela 3.8: Índícios de Poluição hídrica na sub-bacia do rio Coruja/Bonito.....	18
Tabela 3.9: Composição média do biogás.....	32
Tabela 3.10: Concentração de MS, N, P ₂ O ₅ e K ₂ O de acordo com a densidade do dejetos...37	37
Tabela 3.11: Variação da faixa marginal de preservação em relação à largura dos rios.....	38
Tabela 4.1: Alimentação dos sistemas de manejo dos dejetos.....	53
Tabela 5.1: Resultados de densidade para o dejetos bruto, medidos em campo.....	65
Tabela 5.2: Resultado do teste AME do lodo do biodigestor.....	75
Tabela 5.3: Concentrações de CH ₄ no biogás.....	78
Tabela 5.4: Observação dos TRH e TA para cada unidade submetidos as seis situações....	83
Tabela 5.5: Média afluente de DQO g/Kg e carga volumétrica g/Kg.dia em cada situação.....	83
Tabela 5.6: Média dos resultados de DQO efluente por situação nos sistemas 1 e 2.....	84
Tabela 5.7: Média de ST (g/Kg) e carga volumétrica (g/Kg.dia) em cada situação.....	87
Tabela 5.8: Média de concentração afluente e efluente de NTK em g/Kg em cada situação.....	89
Tabela 5.9: Média de concentração afluente e efluente de PO ₄ em g/Kg em cada situação.....	89
Tabela 5.10: Variação da temperatura, pH e Eh no biodigestor com a profundidade.....	92
Tabela 5.11: Resultados médios e desvio padrão de NKT, PO ₄ -P e DQO em g/Kg nos três extratos de profundidade.....	95
Tabela 5.12: Concentração de ST, SF e SV em g/Kg nos quatro períodos analisados para o dejetos bruto.....	98

Tabela 5.13: Variação da Temperatura, pH e Eh na L.A.2.....	99
Tabela 5.14: Resultados médios e desvio padrão de NKT, PO ₄ -P e DQO em g/Kg nos três extratos de profundidade.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

ABIPECS	Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
AME	Atividade Metanogênica Específica
AMUREL	Associação dos Municípios da Região Lagunar
Art.	Artigo Legislativo
C/N	Relação carbono nitrogênio
C/N/P	Relação carbono, nitrogênio e fósforo
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CC	Ciclo Completo
CH ₄	Gás Metano
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia - Ciram/Epagri
CLIMERH	Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅ /DQO	Relação Demanda Bioquímica de Oxigênio Demanda Química de Oxigênio.
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial de oxi-redução ou potencial redox
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FATMA	Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
Fig.	Figura
GPS	Global Positioning System
H ₂ S	Gás Sulfídrico
ICEPA	Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
K ₂ O	Oxido de Potássio
L.A.1	Lagoa de Armazenamento 1
L.A.2	Lagoa de Armazenamento 2

LAEX	Laboratório de Experimentação de Engenharia Sanitária
LCQAR	Laboratório de Controle da Qualidade do Ar
LDPT	Laboratório de Desenvolvimento de Processos Tecnológicos
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
MS	Matéria Seca
mV	Mili Volt
N ₀₂	Nitrito
N ₂	Nitrogênio Molecular
NaOH	Hidroxido de Sódio
NH ₃	Amonia
NM	Número de Matrizes
NTK	Nitrogênio Total Kjeldhal
P ₂ O ₅	Ortofosfato
pH	Potencial hidrogênionico
PO ₄ -P	Fosfato
PVC	Policloreto de Vinila
RBS	Reator em Batelada Seqüencial
Ssed	Sólidos sedimentáveis
SEPLAN	Secretária de Estado de Coordenação Geral e Planejamento
SF	Sólidos Fíxos
SISCAL	Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
T °C	Temperatura em graus Celsius
TA	Tempo de Armazenamento
Tab.	Tabela
DCT	Detector de Condutividade Térmica
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
Vol.	Volume
γ	Densidade
μ	Taxa específica de crescimento de microrganismos (dia ⁻¹);
σ	Desvio padrão

RESUMO

Nesta dissertação foi estudado o manejo dos dejetos suínos em uma propriedade localizada no município de Braço do Norte no sul do estado de Santa Catarina. Com Aproximadamente 500 animais, a propriedade em questão é caracterizada como de pequeno porte e o objetivo dos sistemas de armazenamento é dar ao dejetos condições ideais, mantendo o potencial nutritivo, para posterior aplicação no solo. A produção diária de dejetos tem volume de 3 m³ os quais são bombeados, a partir de uma caixa de passagem, para os dois sistemas de armazenamento. O primeiro é composto por uma lagoa de armazenamento de 240 m³ e o segundo por um biodigestor de 90 m³ ligado em série com uma lagoa de 360 m³. Para a remoção de matéria orgânica e na manutenção do potencial nutritivo do dejetos o segundo sistema foi o mais eficiente. Os sistemas foram submetidos a seis situações com diferentes cargas volumétricas aplicadas num tempo total de 246 dias e, de maneira comparativa relacionaram-se os resultados encontrados nesta pesquisa com os obtidos por Henn (2005), onde o autor avaliou, o mesmo sistema, nos primeiros 150 dias de operação. As cargas volumétricas aplicadas em ambos sistemas variaram de 1,4 a 0,15 g/Kg.dia e a concentração efluente de DQO foi de cerca 8,50; 2,86 e 1,29 g DQO/kg respectivamente para o biodigestor e para as lagoas, apresentando uma remoção de carga orgânica acima de 90%. Para os sólidos totais esse comportamento foi semelhante, apresentando remoção de 85% para o biodigestor e 94% para as lagoas, sendo que a concentração do dejetos bruto para este parâmetro foi igual a 73 gST/Kg. A concentração dos nutrientes (NTK, NH₃-N e PO₄) no efluente foi baixa, porém justificada pelo modo como as coletas foram realizadas nas lagoas e pela análise do lodo realizada tanto no biodigestor quanto na lagoa do segundo sistema. A produção de biogás chegou a apresentar 32m³.dia⁻¹ e a análise cromatográfica exhibe uma concentração média de 54,4% de CH₄. Contudo pode-se concluir que os sistemas minimizam o impacto causado pelo dejetos no meio ambiente e permitem que a propriedade atenda os requisitos da Legislação.

PALAVRAS CHAVES: Dejetos suíno, armazenamento, digestão anaeróbia, produção de biogás e manutenção do potencial nutritivo.

ABSTRACT

This research aimed at studying the handling of swine manure in a property located in Braço do Norte, a city in the south of Santa Catarina. With approximately 500 animals, the property studied has small bearing characteristics, and the objective of the storage systems is to give ideal conditions for the dejection, keeping its nutritional potential for later application in the ground. The daily production of manure has a volume of 3m³ which is pumped from a passage box toward two storage systems. The first consists of a 240m³ storage pond, and the second is a 90m³ biodigester followed by a 360m³ pond. The second system presented more efficiency. The systems were submitted to six situations with different applied volumetric loads in a period of 246 days, and these results were compared to the ones found in a study conducted by Henn (2005), where the author evaluated the same system in the first 150 days of operation. The applied volumetric loads in both systems varied from 0,15 to 1,4 g/Kg.d and the effluent concentration of COD was 8,50; 2,86 and 1,29 g COD/kg respectively for the biodigester and ponds, presenting an organic load removal above 90%. For the total solids, this behavior was similar, presenting a removal of 85% for the biodigester and 94% for the ponds, being that the concentration of the rude dejection for this parameter was 73 g ST/Kg. The concentration of the nutrients (NTK, NH₃-N and PO₄) in the effluent was low, however this was justified by the way the collection had been realized in the ponds and by the analysis of the sludge carried both in the biodigester and in the pond of the second system. The production of biogas presented 32m³/d and the chromatographic analysis showed an average concentration of 54,4% of CH₄. However, it can be concluded that the systems minimize the impact caused by the manure in the environment, and are in accordance with the requirements in the Legislation.

KEY WORDS: Dejection manure, storage, anaerobic digestion, production of biogas and maintenance of the nutritional potential.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura apresenta-se no estado de Santa Catarina como uma das atividades pecuárias de maior importância econômica. O sul do estado se destaca por apresentar a maior concentração de suínos por área no país.

Santa Catarina é o principal estado produtor de suínos do país. Segundo dados do ICEPA (2003), o rebanho do Estado representava em torno de 13,05% do rebanho nacional, com cerca de 4,18 milhões de animais. O Estado conta com cerca de 12 mil criadores, sendo em torno de 9,7 mil produtores integrados aos sistemas de produção das agroindústrias catarinense e 2,3 mil produtores independentes.

Entretanto, esse advento vem acompanhado de diversos problemas com relação ao meio ambiente, quando levamos em consideração a produção de efluentes e o tipo de criação, onde geralmente os animais são submetidos a sistemas de confinamento favorecendo a produção econômica, mas em contrapartida aumentando os efeitos danosos ao ambiente.

Na busca de soluções para os problemas relacionados aos impactos causados pelo despejo de dejetos de maneira inadequada, têm sido investigadas várias alternativas de manejo, como por exemplo, o tratamento, o armazenamento e a valorização com destaque para a utilização da tecnologia anaeróbia através de biodigestores, reatores UASB, lagoas anaeróbias, lagoas de armazenamento para posterior aplicação no solo.

As lagoas de armazenamento são usadas pela maioria dos produtores de suínos no estado de Santa Catarina devido seu baixo custo de implantação, facilidade de operação e possibilidade de utilização com fins agrícolas, se comparadas com sistemas aeróbios e automatizados, por exemplo.

Todo o criador deve possuir um programa racional de controle dos dejetos, visando sua correta utilização e evitando problemas de poluição ambiental. Àqueles que não possuem sistemas para o manejo nem área suficiente para absorver o volume gerado, têm de fazer uso de um sistema de tratamento que viabilize a utilização agrônômica a disponibilidade de vizinhos, e o tratamento do excesso de efluentes de acordo com as exigências da legislação ambiental vigente (FREDERICK, 2002).

A estratégia de armazenagem e uso do dejetos revela um certo distanciamento da realidade existente, das necessidades dos criadores e das exigências da legislação

ambiental (ausência de fiscalização), pois, os índices de contaminação dos recursos naturais e da qualidade de vida nos grandes centros produtores de suínos, indicam que boa parte dos efluentes da produção de suínos é lançada direta ou indiretamente nos solos e cursos de água sem receber um tratamento adequado.

Gosmann (1997) constatou em seus estudos que as lagoas de armazenamento estão presentes em 47% das propriedades do oeste de Santa Catarina. A implantação desse sistema de manejo é mais comum em propriedades rurais com média de área de 32 ha, apresentando rebanho médio de 361 suínos, capacidade de estocagem de dejetos de cerca de 0,52 m³/suíno onde a taxa de aplicação no solo é de 51 m³/ha.ano nas lavouras.

A proposta dessa pesquisa é avaliar a utilização de lagoas de armazenamento de maneira individual e combinada a um biodigestor visando a minimização dos impactos causados pelo despejo dos dejetos. A pesquisa se deu no município de Braço do Norte, em uma pequena propriedade criadora de suínos com sistemas empregados em escala real sendo alimentados com diferentes cargas durante os dias de estudo.

Esse trabalho reflete a importância de se desenvolver pesquisas sobre os impactos causados através da atividade suinícola e apresenta contribuições baseadas nos resultados obtidos que podem servir de base comparativa para outros estudos referentes ao manejo dos dejetos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o manejo dos dejetos suínos através de unidades implantadas em escala real em uma pequena propriedade suinícola, utilizando-se dois sistemas em paralelos, para a verificação de potencialidade de minimização do impacto desta atividade sobre o meio ambiente. Um sistema é constituído de biodigestor seguido de lagoa de armazenamento e outro somente com lagoa de armazenamento, agregando valores à propriedade através da utilização do dejetos como fertilizante e aproveitando o biogás produzido no biodigestor.

2.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos deste trabalho constituem-se em:

- Comparar as variações dos sistemas em relação ao tempo de monitoramento quanto a avaliação dos parâmetros clássicos para análise de dejetos suíno.
- Otimização da operação com relação a carga na alimentação de cada sistema que proporcione uma melhor remoção de matéria orgânica no dejetos e uma manutenção do potencial nutritivo mais eficiente.
- Efetuar um perfil de sólidos no biodigestor e na lagoa de armazenamento 2 analisando principalmente as diferenças entre a concentração de matéria orgânica e nutrientes em diferentes níveis de profundidade.
- Analisar quantitativa e qualitativamente o biogás produzido pelo biodigestor.
- Verificar, de maneira preliminar, a situação da atividade suinícola da propriedade em questão, quanto às disposições legais da Legislação vigente.
- Avaliar a influência da instalação de bebedouros não convencionais para suínos sobre as características volumétricas e sobre as variáveis físicas e químicas de seus dejetos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo foi dividido em dezesseis partes onde se apresenta uma pesquisa bibliográfica de diversos assuntos, pertinentes a este trabalho, desde as informações sobre a condição da suinocultura, num aspecto mundial, passando pela situação nacional, assim como a importância e os impactos econômicos e ambientais originados a partir desta atividade e as implicações legais que regem o controle ambiental como forma de minimizar a degradação do meio ambiente, dirimindo, assim, dúvidas conceituais sobre o que será discutido.

3.1 Panorama global da suinocultura

Atualmente o litígio ambiental ultrapassa as questões relacionadas ao desenvolvimento da atividade pecuária e este assunto torna-se pauta nas instâncias de discussões mundiais assumindo um grau de importância cada vez maior, à medida que a degradação do meio ambiente se intensifica em níveis regionais e globais.

3.1.1 Aspectos da suinocultura mundial

Conforme Moraes & Paula Jr (2001), a carne suína é mais consumida no mundo e os impactos ambientais causados por essa atividade, na maioria das vezes estão ligados a concentração da produção em pequenas áreas.

A suinocultura, na visão de Brasil (2002), é dentre as atividades ligadas à pecuária, a mais nociva ao meio ambiente quando levamos em consideração a produção de efluentes e o tipo de criação, onde geralmente os animais são submetidos a sistemas de confinamento favorecendo a produção econômica, mas em contrapartida aumentando os efeitos danosos ao ambiente.

Como exemplo de ações preventivas, os produtores da região sul da Holanda, transportam dejetos por duzentos quilômetros até regiões agrícolas não produtoras de suínos no oeste, para poder dispor os dejetos já que na sua região foi constatada contaminação das águas subterrâneas por nitrato e fosfato, originada da disposição constante e prolongada de dejetos no solo. O governo subsidia o custo (BLEY Jr, 2001).

Em termos mundiais, o Brasil ocupa a 4ª posição em exportação de carne suína, participando, com 12,2% do mercado internacional no ano de 2002, totalizando um faturamento de US\$ 481 milhões referente a 476 mil toneladas exportadas. Os principais países para os quais a carne suína foi exportada, no ano 2002, foram Rússia, Hong Kong, Argentina e Uruguai (HADLICH, 2004).

Os países que mais produzem suínos no mundo estão listados na Tab. 3.1.

Tabela 3.1: Maiores produtores mundiais de suínos nos últimos 4 anos.

PAÍSES	Produção em mil toneladas				
	ANOS	2001	2002	2003	2004
China		41.845	43.266	44.100	44.938
União Européia		17.419	17.825	17.850	17.900
Estados Unidos		8.691	8.929	8.931	8.980
Brasil		2730	2.872	2.698	2.700
Canadá		1.729	1.854	1.910	1.940
Rússia		1.560	1.630	1.705	1.760

Fonte: Adaptado de ABIPECS (2005).

Existe no mundo, atualmente, uma população de cerca de 1 bilhão de suínos, resultando numa relação de 1 suíno para cada 6 pessoas (REVISTA SUPER INTERESSANTE, 2005).

Em comparação com outros tipos de carnes, a carne suína é a mais produzida e mais consumida em nível mundial, apresentando um índice de consumo de 14,6 kg/pessoa.ano em 2001, chegando a 66,1 kg/pessoa.ano na Espanha. Em 1970, o consumo mundial era de 9,2 kg/pessoa.ano (ROPPA, 2002). Segundo a ABIPECS, (2005) o consumo mundial de carnes suína segue a ordem na Tab. 3.2.

Tabela 3.2: Consumo mundial de carne suína em mil toneladas.

PAÍSES	Consumo em mil toneladas/ano				
	ANOS	2000	2001	2002	2003
China		40.291	41.764	42.835	43.970
União Européia		16.169	16.239	16.560	16.555
Estados Unidos		8.457	8.338	8.725	8.572
Rússia		2.019	2.119	2.299	2.409
Japão		2.228	2.269	2.335	2.368
Brasil		2.430	2.266	2.417	2.419

Fonte: Adaptado ABIPECS (2005).

A conquista do mercado Russo e o crescimento das vendas para a Ásia e a Europa são indicados como os principais fatores para a expansão da atividade suinícola. A exploração e incremento destes mercados contribuíram para que as exportações brasileiras atingissem valores próximos a 491 mil toneladas, no ano de 2003, com um faturamento avaliado em aproximadamente US\$ 550 milhões (ABIPECS, 2005).

3.1.2 A suinocultura no Brasil e em Santa Catarina

A suinocultura no Brasil tem sido uma atividade desenvolvida basicamente em pequenas propriedades rurais, responsáveis por uma produção de aproximadamente 2.698.000 toneladas no ano de 2003 (ICEPA, 2005).

No Brasil, de acordo com dados do ICEPA (2005), o consumo *per capita* fica em torno de 13,06 kg/habitante/ano. O consumo interno brasileiro de carne suína vem apresentando uma pequena retração desde o ano de 1999, quando superou a marca de 2,0 milhões de toneladas.

Em 2001, o consumo interno de carne suína foi de, aproximadamente, 1.984 mil toneladas. Em contrapartida, as exportações vêm sendo ampliadas significativamente, o que garante a sustentabilidade econômica da atividade. As vendas externas, em 2000, atingiram 135 mil toneladas, 67% a mais do que no ano anterior, sendo responsável por uma receita cambial no valor de US\$ 185 milhões (BRASIL, 2002).

Em Santa Catarina a região Oeste do estado destaca-se como a principal em relação a produção de suínos, diferenciando-se de outras regiões do Estado em comparação ao nível tecnológico e até mesmo pelos motivos que levaram à implantação da atividade. Desde o princípio, os produtores do Oeste procuraram desenvolver a atividade visando a comercialização, enquanto em outras regiões foi inicialmente desenvolvida para o sustento das famílias (MIRANDA *et al.* 2000).

De acordo com os estudos de Brasil (2002), a princípio, a atividade foi inserida no Estado como alternativa à criação de animais de grande porte, em razão da precariedade do acesso a meios de transporte e a adaptação da espécie às características de relevos de regiões marcados pela presença de encostas íngremes e declividades acentuadas.

As exportações de Santa Catarina em 2003 atingiram 181 mil toneladas, o ano de 2003 fechou com 6,86 milhões de cabeças abatidas, um crescimento de 8,75% sobre o ano de 2001, evidenciando o potencial de expansão da produção (ICEPA, 2003).

A expansão da atividade e a sua importância para a economia do Estado e do País ficam claras através dos números e demonstram o poder de expansão desta atividade. Entretanto, estes números demonstram, também, a complexidade que envolve a solução dos problemas ambientais relacionados à prática da suinocultura, uma vez que os aspectos econômicos continuam tendo primazia sobre os ambientais, os sociais e os culturais, por exemplo.

No Brasil, a suinocultura tem sido uma atividade desenvolvida basicamente em pequenas propriedades sendo os sistemas confinados de produção a base da expansão suinícola. Neste sistema são observadas as maiores produtividades além do que a suinocultura é uma atividade muito relevante no âmbito econômico e social, podendo ser considerada, também, como aporte de fixação do homem no campo e opção de renda para pequenos produtores.

As exportações brasileiras de carne suína somaram uma receita cambial de US\$ 68 milhões em janeiro de 2005, o que corresponde a um crescimento de 153% em relação ao mesmo período em 2004, onde o Brasil teve uma receita cambial de US\$ 26,8 milhões com a exportação de carne suína (ABIPECS, 2005).

A Tab. 3.3 apresenta resultados dos cinco principais estados produtores de carne suína no ano de 2003.

Tabela 3.3: Principais estados brasileiros produtores de carne suína.

Estados	Cab. Abatidas	Abate %	Export. (Tons.)	Exportação .%
Santa Catarina	6.867.722	19,93	181.717	37,0
R. G. do Sul	4.525.847	13,14	118.051	24,0
Paraná	3.772.834	10,95	76.529	15,6
Minas Gerais	1.850.434	5,37	43.364	8,8
São Paulo	1.278.408	3,71	1.145	0,2

Fonte: Adaptado ABIPECS, 2005.

3.1.3 A suinocultura em Braço do Norte

A área total do município de Braço do Norte é de 194 km², sendo que 184 km² são áreas rurais e 10 km² urbanas. O município está localizado nos limites da área 20,

referente à Associação de Municípios da Região de Laguna – AMUREL, que se situa entre os paralelos 27° 48' 00'' e 28° 48' 08'' Sul e os meridianos 48° 38' 18'' e 49° 31' 48'' Oeste (IBGE, 2000 e SEPLAN, 1990).

Um número próximo a 80%, do total da área agrícola de Braço do Norte, é ocupado por propriedades com menos de 100 hectares, e a suinocultura destaca-se como atividades de maior expressão econômica (HADLICH, 2004).

As bacias hidrográficas têm papel primordial na sobrevivência do homem e orienta os programas e projetos ambientais. Na visão de Palhares *et al.* (2002) estudos que tem como unidade de observação, determinada bacia hidrográfica, são fundamentais para se iniciar a proposição de políticas de desenvolvimento nestas unidades, mas para que estas diretrizes sejam eficientes é necessário conhecer as variáveis que influenciam e como elas se relacionam entre si, pois somente assim as causas do impacto ambiental, oriundas da atividade pecuária poderão ser detectadas e mitigadas.

A sub-bacia do rio Coruja/Bonito, localizada no município de Braço do Norte abrange uma região com significativa produção de suínos, cerca de 176 toneladas mensais de carne e derivados. Este fator é responsável por uma série de problemas relacionados com a poluição hídrica, pois grande parte dos dejetos produzidos acaba alcançando os cursos d'água da região (BRASIL, 2002).

A atividade agropecuária, conforme mencionado anteriormente, é a de maior representatividade no município. O efetivo total do rebanho de suínos é formado por cerca de 130 mil cabeças, produzidos em 180 granjas (EPAGRI-CIRAM, 2000).

Na sub-bacia do rio Coruja/Bonito, em Braço do Norte, existem cerca de 75 propriedades suinícolas, formando uma produção de 69.000 cabeças, onde, a maioria dos produtores (87%) desenvolve a produção do tipo ciclo completo (EPAGRI-CIRAM, 2000).

Segundo Brasil (2002), um aspecto diferencial da produção suinícola desenvolvida na sub-bacia, em relação a outras regiões produtoras do Estado, como o Oeste catarinense, está no fato de que somente uma pequena parcela (19%) dos produtores está inserida no sistema de integração à agroindústria. A maioria dos produtores, representando cerca de 81% dos suinocultores da sub-bacia, não faz parte do sistema de integração. Comercializam sua produção diretamente com frigoríficos locais, que fazem a distribuição dos produtos para o Estado.

3.2 Características físicas da área em estudo

3.2.1 Geologia e geomorfologia

A área total da bacia do rio Coruja-Bonito é de 52 km², a altitude máxima é 540 m e a mínima 40 m; localiza-se na parte sudeste-leste do município de Braço do Norte. As nascentes do rio Coruja situam-se próximo à comunidade de Pinheiral, e o rio segue atravessando grande faixa da área rural do município; próximo à foz, onde já é chamado de rio Bonito, que atravessa o perímetro urbano (HADLICH, 2004).

Segundo EPAGRI-CIRAM (2000), o rio é encaixado, o vale em forma de “V” e a maior parte das encostas são íngremes, com limitações de uso agrícola devido à declividade acentuada. Observa-se, também, que as declividades são maiores na parte central/jusante da sub-bacia (comunidade de Santo Antônio), e são menores próximo às cabeceiras/parte central (comunidades de Pinheiral e Baixo Pinheiral) e parte urbana (comunidade de Rio Bonito).

3.2.2 Clima, solo e relevo

O clima do município, segundo SEPLAN (1990), classifica-se como mesotérmico úmido, sem estação seca, com verões quentes apresentando temperatura média anual de 19,5°C e a precipitação total é de 1.300 mm, onde os meses de janeiro e fevereiro são os mais chuvosos. De acordo com EPAGRI-CIRAM (2000), as temperaturas máxima média e mínima média, anuais, acontecem nos meses de janeiro e julho e são de, respectivamente, 31,2 e 7,9°C.

A superfície é hora plana, outrora ondulada e até mesmo montanhosa, provida de serras cristalinas de embasamento cristalino características do relevo no município. O solo é constituído por uma textura argilosa e média argilosa e, em muitos casos, com cascalho ou cascalhenta, normalmente argila de atividade baixa e restringindo o manejo da terra. Apresenta baixa fertilidade caracterizando solos álicos com elevados teores de alumínio (SEPLAN 1990).

3.2.3 Aspectos sócio-econômicos

Braço do Norte possui uma população de 28.912 habitantes, sendo 20.843 na área urbana e 8.069 na área rural (IBGE, 2005). Seguindo a tendência dos municípios

que compõem a região da AMUREL, apresenta uma estrutura fundiária caracterizada por pequenas propriedades rurais.

A sub-bacia do rio Coruja/Bonito, localizada no município de Braço do Norte, é formada pelas comunidades de Pinheiral, Baixo Pinheiral e Santo Antônio. Algumas propriedades encontram-se em meio urbano, principalmente nas áreas mais próximas a região central do município, pertencentes à comunidade de Rio Bonito. Da mesma forma que no município a sub-bacia apresenta a mesma estrutura agrícola caracterizada por pequenas propriedades.

A suinocultura é uma atividade com reflexos significativos sobre aspectos sociais, espaciais e econômicos. Social e economicamente, representa fonte de emprego e renda para os produtores locais, sendo praticada pela grande maioria das propriedades do município e da sub-bacia como fonte exclusiva de produção. Os aspectos sociais e econômicos aparecem também sob a forma de redução na qualidade de vida da população (degradação ambiental, incidência de doenças veiculadas pela água, aumento da população de insetos) e fragilidade econômica para o município. O fato de estar centrado basicamente na suinocultura torna o município de Braço do Norte mais vulnerável a qualquer tipo de alteração de algum fator econômico vinculado à atividade quase única (BRASIL, 2002).

3.3 Atividade suinícola e o meio ambiente

Os reflexos da degradação provocada pela atividade de criação de suínos, como um todo, aparecem na forma de contaminação da água e do solo, do impacto negativo sobre o turismo local e de problemas de saúde associados à incidência de doenças transmitidas pela água.

Em Braço do Norte um volume grande de dejetos é lançado no solo sem critérios e em cursos de água sem tratamento prévio, transformando-se em importante fonte de poluição ambiental e por não receberem tratamento adequado, também contribuem para o aumento da proliferação de insetos hematófagos, como por exemplo, *Simulium Pertinax*, mais conhecido como borrachudo (DARTORA *et al.* 1998).

O município de Braço do Norte possui o quarto maior rebanho de suínos no estado, perdendo para os municípios de Xavantina, Seara e Concórdia (HENN 2005).

Entretanto, na sub-bacia do rio Coruja/Bonito, considerando o número de 69.000 animais, capacidade instalada (EPAGRI-CIRAM, 2000), e a área referente à sub-bacia do rio Coruja/Bonito é igual a 52 km², logo a densidade é de 1.327 suínos/km².

De acordo com Belli Filho (2001), alguns fatores como a falta de formação de pessoal, de orientação técnica dos produtores e ausência de controle ambiental pelos órgãos responsáveis, apesar da disponibilidade de legislação avançada, faz com que a produção de dejetos gere conseqüências preocupantes, das quais podemos citar: contaminação das águas superficiais e subterrâneas, poluição orgânica pelo nitrogênio, presença de microorganismos enteropatogênicos, alteração das características dos solos, poluição do ar pela emissão de CO₂ e CH₄ (dióxido de carbono e metano) e pela emissão de maus odores através do H₂S (gás sulfídrico).

3.3.1 Desperdícios de água na criação de suínos

Os desperdícios podem ter várias implicações, a exemplo do umedecimento do piso e estímulo ao comportamento excretório dos animais, diluição e aumento do volume de água para a higienização, etc. Além do que o desperdício de água eleva os custos de coleta, armazenagem, tratamento e distribuição dos dejetos.

O modelo e a operacionalidade dos bebedouros influenciam nas perdas de água. Um bom bebedouro, em termos de concepção e instalação, proporciona economia de água por animal produzido. Os resultados de um estudo com dois tipos de bebedouros (concha e chupeta), mostraram excelentes resultados e comprovam o alto nível alcançado pela indústria. Oliveira (1993), Costa (2000), Perdomo *et al.* (2001), entre outros, já estudaram este assunto.

A escassez de água, e tudo o que ela representa nos aspectos social e econômico, é um retrato fiel da crise ambiental que enfrenta a atualidade. A falta d'água está diretamente relacionada ao suprimento das necessidades mais elementares da população (dessedentação e higiene) e à crise energética.

Oliveira (1991) comparou bebedouros do tipo chupeta com tipo nível e conclui que o bebedouro de nível produz uma redução de 2,32 vezes do consumo de água, em relação ao tipo chupeta.

O consumo em cada tipo de bebedouro é apresentado na Tab. 3.4.

Tabela 3.4: Consumo de água nos diferentes tipos de bebedouros.

Tipo de bebedouro	Água /animal /dia
Chupeta	18,42 litros
Nível	7,86 litros
Diferença	10,36 litros

Fonte: Oliveira (1991).

3.4 Características dos sistemas produtivos

Os sistemas confinados constituem a base da expansão suinícola no Brasil e induzem a adoção do manejo de dejetos na forma líquida. O elevado nível de diluição constitui um agravante para os problemas de captação, armazenagem, tratamento, transporte e distribuição dos dejetos.

De acordo com os estudos de Perdomo *et al.* (2001), a distribuição da utilização dos sistemas de produção de suínos no Brasil se dá como mostra a Tab. 3.5.

Tabela 3.5: Distribuição da utilização dos sistemas de produção de suínos no Brasil.

Sistema/ano	1990	1995	2000
Confinado	40%	48%	61%
Semiconfinado	27%	26%	21%
Extensivo	32,8%	25,5%	17%
Ar livre	0,2%	0,5%	1,0%

Fonte: Perdomo *et al.* (2001).

Diante a atividade suinícola todos os sistemas de criação resultam em potenciais poluidores, apresentando níveis de impacto ambiental diferenciados. O sistema confinado, de uma forma geral, facilita a coleta e o armazenamento dos dejetos suínos para posterior tratamento e/ou utilização. Costa (2000) aponta o sistema confinado de produção como o de maior impacto local.

Os sistemas confinados de produção de suínos são responsáveis pelo aumento da escala de produção e diminuição do número de pessoas envolvidas, dispondo um grande

número de animais em pequenas áreas. Estas características exigem maior investimento e especialização por parte dos produtores.

Especificamente, tratando do sistema de confinamento, tendo em vista o objetivo do aumento da competitividade da suinocultura, subdivide-se, as etapas da criação nas fases de reposição, pré-cobrição, gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação.

O sistema semiconfinado tem características idênticas às do sistema confinado de produção, mas diferencia-se pela possibilidade que dá aos animais de acesso a pequenas áreas de pastagem ao ar livre, mantendo em confinamento apenas os animais destinados à engorda (MEDRI, 1996).

O sistema extensivo, por sua vez, caracteriza-se pela manutenção permanente dos animais a campo, criados à solta, em todas as fases da vida. Com baixo índice de produtividade, o sistema é geralmente utilizado em propriedades que destinam a produção de suínos ao consumo próprio (PERDOMO *et al.* 2001).

O sistema intensivo de criação ao ar livre - SISCAL mantém uma relação mais estreita e direta com o meio ambiente, ou seja, gera e distribui os efluentes no próprio local. A intensificação no sistema SISCAL acarreta, por outro lado, o aumento da pressão sobre os recursos naturais, especialmente da integridade do solo (dificuldade para manter a cobertura vegetal, compactação, erosão) e na contaminação das águas superficiais e subterrâneas (PERDOMO *et al.* 2001).

Na Fig. 3.1 pode-se observar o grande número de animais por área em uma propriedade que utiliza o sistema de confinamento.



Figura 3.1: Amostra do sistema produtivo sob confinamento.

Variações poderão ocorrer em outros sistemas de produção, nos quais, os procedimentos deverão ser adequados as suas realidades. Entretanto, o acelerado ritmo das alterações sócio-econômicas exige, independentemente que os produtores e as empresas implementem programas de qualidade, como forma de melhorar sua imagem, racionalizar os sistemas de produção e aumentar o comprometimento do setor produtivo no sentido de atender as exigências do mercado.

O desenvolvimento da atividade segue a tendência das novas exigências dos mercados mundiais, que levam à especialização e concentração para a obtenção de maior produtividade.

A crescente propensão para a adoção de sistemas confinados de criação de suínos tem contribuído para a produção, de quantidades cada vez maiores, de dejetos. A inadequação dos sistemas de manejo e armazenamento leva ao lançamento dos dejetos em rios, sem tratamento adequado. Segundo Oliveira (1995), a atividade é desenvolvida e incentivada sem dar a devida importância ao impacto ambiental e social decorrente dos dejetos produzidos pelos animais.

3.5 Produção de dejetos suínos

Segundo Konzen (1983) *apud* Monteiro (2004), cada animal produz cerca de 0,27 m³/mês de dejetos, o que no município de Braço do Norte seria equivalente a 1.170 m³/dia, enquanto na sub-bacia do rio Coruja/Bonito seria de 621 m³/dia.

De acordo com a EPAGRI (1995) *apud* Brasil (2002), a cada 10 litros de água consumidos pelos suínos sob confinamento, são gerados cerca de 6 litros de dejetos. A Tab. 3.6 apresenta a produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos.

Tabela 3.6: Produção média diária de esterco por categoria de suíno.

Categoria de suínos	Esterco (Kg/animal/dia)	Esterco + urina (Kg/animal/dia)	Dejet. líquidos (L/animal/dia)
Suínos de 25-100 kg	2,3	4,9	7,0
Porcas em gestação	3,6	11,0	16,0
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitões desmamados	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993) *apud* Perdomo *et al.* (2001).

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo de criação (KONZEN,1997).

Segundo Diesel *et al.* (2002) a densidade dos dejetos, o tipo de piso, o tipo de bebedouro, a tipologia da edificação e o manejo de água para limpeza determinam o volume de dejetos líquidos, além do que a produção de dejetos depende de outros fatores como o desperdício de água nas instalações, tipos de bebedouros e ações ligadas à nutrição dos animais.

A quantidade total de dejetos produzidos por um suíno em determinada fase do seu desenvolvimento, é um dado fundamental para o planejamento das instalações de coleta e estocagem, e definição dos equipamentos a serem utilizados para o transporte e distribuição do mesmo na lavoura, se for este o objetivo.

Dartora *et al.* (1998) aponta outro ponto intervenientes na produção de dejetos, onde a quantidade de fezes e urina, são afetadas por fatores zootécnicos (tamanho, sexo, raça e atividade), ambientais (temperatura e umidade) e dietéticos (digestibilidade, conteúdo de fibra e proteína).

A utilização de instalações hidráulicas que evitem o desperdício de água é uma solução que pouco a pouco vem sendo empregada pelos produtores. A situação é agravada devido a sistemas de armazenagem mal dimensionados, deficiências nas coberturas das edificações (para evitar a introdução de água da chuva), *lay out* de distribuição deficiente e indisponibilidade de área com atividade agrícola para aplicação dos dejetos.

A capacidade poluente dos dejetos suínos, em termos comparativos, é muito superior a de outras espécies. Segundo a World Health Organization (1987), esses resíduos apresentam potencial poluidor em torno de 4,2 vezes maior que o esgoto doméstico. Isso significa que, uma granja com 500 animais (como a estudada) possui um potencial poluidor, de acordo com esse critério, semelhante ao de um núcleo populacional de aproximadamente 2.100 pessoas, entretanto, alocados em uma área muito menor.

Tendo como objetivo a redução do volume de dejetos produzidos, deve-se prever a instalação de bebedouros adequados, aquisição de equipamentos de limpeza de baixa vazão e alta pressão, construção de sistemas que escoem a água de desperdício dos bebedouros e de limpeza para sumidouros (ou outras formas de tratamento e reúso) e evitar a entrada da água do telhado proveniente das enxurradas nas calhas e unidades do sistema de manejo.

A estratégia para o controle da poluição começa pela redução do volume e da concentração, seguida pelo destino adequado das emissões, visando a preservação da saúde e da qualidade do solo, da água e do ar.

3.5.1 Composição dos dejetos

A composição dos dejetos sofre influência direta do tipo de criação, estrutura física e acomodações dos animais, como tipo de bebedouros e declividade do solo, além de aspectos referentes à nutrição animal. As diferenças climáticas de região para região e a sazonalidade também determinam as características das dejeções suínas. A Tab. 3.7 apresenta as características físico-químicas dos dejetos suínos na visão de alguns autores.

Tabela 3.7: Média das características físico-químicas na visão de diferentes autores.

Parâmetro	Kozen	Gosmann*	Medri	Dalavéquia	Alves	Henn
Autor	1980	1997	1997	2000	2004	2005
DQO _t	98,65 g/L	44 g/kg	21,65 g/L	14,05 g/L	13 g/L	43,37 g/L
DBO ₅	52,22 g/L	14 g/kg	11,98 g/L	-	5,9 g/L	21,3 g/L
ST	90 g/L	33 g/kg	17,25 g/L	10 g/L	8,2 g/L	36,11 g/L
SV	68 g/L	26 g/kg	10,26 g/L	6,33 g/L	4,3 g/L	25,23 g/L
NTK-N	0,6 g/L	3,0 g/kg	2,2 g/L	1,77 g/L	-	2,0 g/L
NH ₃ -N	-	1,8 g/kg	-	-	-	0,6 g/L
PO ₄ -P	0,97 g/L	0,97 g/kg	0,65 g/L	0,4 g/L	-	0,7 g/L

* As análises foram apresentadas em g/kg devido à elevada densidade do dejetos.

3.6 Impactos causados pelos dejetos

A poluição é originada principalmente pelo lançamento direto do dejetos de suínos sem o devido tratamento nos cursos de água, que acarreta desequilíbrios ecológicos e poluição em função da redução do teor de oxigênio dissolvido, disseminação de patógenos e contaminação com amônia, nitratos e outros elementos tóxicos (KONZEN, 1980; GOSMANN, 1997 e ROESLER & CESCO NETO, 2004).

Os contaminantes do ar mais comuns nos dejetos são: amônia, metano, ácidos graxos voláteis, H₂S, N₂O, etanol, propanol, dimetil sulfídrio e carbono sulfídrio. A emissão de gases pode causar graves prejuízos nas vias respiratórias do homem e animais, bem como, a formação de chuva ácida através de descargas dessas substâncias ou compostos na atmosfera, além de contribuírem para o aquecimento global da terra (PERDOMO, 1999; LUCAS *et al.* 1999).

Os problemas ambientais originados por meio da atividade suinícola vêm se agravando paulatinamente e não podem deixar de ser associados à postura do homem com relação aos recursos naturais, baseado numa concepção do desenvolvimento, presa à perspectiva economicista. Assim como a suinocultura, não existe, praticamente, atividade produtiva que não gere resíduos ou que não interfira no meio ambiente. O reconhecimento do prejuízo causado é essencial para servir de parâmetro controlador da ação antrópica ao meio ambiente, assim como contribui para o desenvolvimento das ações mitigadoras.

Diante desta situação de crescentes problemas ambientais, a valorização da teoria de desenvolvimento sustentável se destaca como uma estratégia alternativa que subsidia o implemento e aplicação de tecnologias para minimizarem os impactos e, dependendo do tipo de manejo empregado, agregar valores a propriedade. Desta forma entende-se como desenvolvimento sustentável àquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades.

Outros impactos ambientais da atividade suinícola foram apresentados por Hadlich (2004), analisando as conseqüências dos despejos nos mananciais da sub-bacia do rio Coruja/Bonito, o que comprova a interferência negativa da suinocultura no ambiente devido ao não cumprimento da legislação e o despejo inadequado de dejetos nos corpos receptores.

Indícios da contaminação hídrica na sub-bacia do rio Coruja/Bonito são apresentados na Tab. 3.8.

Tabela 3.8: Indícios de Poluição hídrica na sub-bacia do rio Coruja/Bonito.

Parâmetros	Autor	HADLICH, 2004.
DQO _t		708 a 400 mg/L
ST		94,5 a 94,7 mg/L
NH ₃ -N		2,7 a 2,8 mg/L
PO ₄ -P		0,023 a 0,021 mg/L

Fonte: Adaptado Hadlich (2004).

Quando não se utiliza sistemas adequados para o manejo ou tratamento dos dejetos, ou mesmo, de maneira indiscriminada faz-se o despejo *in natura* dos dejetos nos rios e lagos os prejuízos ao ambientes são inevitáveis. Por exemplo, na região de Toledo, no estado do Paraná, na bacia hidrográfica Paraná III, Roesler & Cesconeto (2004), encontraram despejos de dejetos suínos com DBO₅ variando de 30.000 a 52.000 mg/L.

Os vários trabalhos publicados pela UFSC deixam evidente o potencial poluidor da atividade suinícola, haja vista o elevado número de contaminantes presentes nos efluentes, onde a disposição inadequada implica a degradação dos recursos naturais

(GOSMANN, 1997; CARMO Jr, 1998; DALAVÉQUIA, 2000; SEZERINO, 2002; NUNES, 2003; HENN, 2005).

3.7 Sistemas de manejo para os dejetos suínos

Do manejo à utilização dos dejetos, deve-se considerar cinco etapas: produção; coleta; armazenagem; tratamento; distribuição e utilização dos dejetos na forma sólida, pastosa ou líquida (PERDOMO, 2000 *apud* HADLICH, 2004). Devem ser calculadas as quantidades de dejetos produzidos, dimensionadas as estruturas de coleta (segundo a produção diária máxima) e armazenagem temporária de acordo com o tamanho do rebanho e práticas de manejo adotadas. Perdomo *et al.* (2003), sugerem forma de cálculo de volume de dejetos, bem como da carga poluente, em granjas de suínos.

A estratégia de armazenagem e uso do dejetos revela um certo distanciamento da realidade existente, das necessidades dos criadores e das exigências da legislação ambiental (ausência de fiscalização), pois, os índices de contaminação dos recursos naturais e da qualidade de vida nos grandes centros produtores, indicam que boa parte dos efluentes da produção de suínos é jogada direta ou indiretamente nos solos e cursos de água sem receber um tratamento adequado.

Segundo Frederick (2002), todo o criador deveria possuir um programa racional de controle dos dejetos, visando sua correta utilização e evitando problemas de poluição ambiental. Àqueles que não possuem sistemas para o manejo nem área suficiente para absorver o volume gerado, têm de fazer uso de um sistema de tratamento, que viabilize a utilização agrônômica a disponibilidade de vizinhos, e o tratamento do excesso de efluentes de acordo com as exigências da legislação ambiental.

3.7.1 Sistemas de Homogeneização

Existem ocasiões, a exemplo dos dias de limpeza de salas e baias, em que ocorrem vazões muito elevadas sobrecarregam o sistema, reduzindo a sua eficiência. A construção de um homogeneizador além de equalizar o material e uniformizar a vazão, reduz os custos de investimentos e de operação. Sua construção pode ser um simples tanque de alvenaria ou escavação no solo (impermeabilizado), abastecido pelo alto e

com registro no fundo para o controle da vazão. Deve ter capacidade para armazenar 160% do volume máximo produzido num dia. Ainda que possa operar de forma contínua, por questões de operacionalidade e segurança, sugere-se adotar um volume de escoamento correspondente a uma jornada de trabalho de 8 horas/dia. Uma granja com 10 m³.dejetos/dia necessita de um tanque equalizador de 16 m³ de capacidade e 1,25 m³/hora de vazão máxima de descarga (PERDOMO *et al.*1999).

3.7.2 Experiências com lagoas

A esterqueira, como conhecida no meio rural, é exemplo de uma lagoa voltada para o armazenamento e tem por objetivo captar o volume de dejetos líquidos produzidos nas granjas de suínos, durante 120 dias, para que ocorra a fermentação anaeróbia da matéria orgânica. A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até a retirada (DIESEL, 2002).

Medri (1997) trabalhando com lagoas anaeróbias em série com 35 e 46 dias de TDH respectivamente, utilizando cargas volumétricas de 0,237 e 0,46 kg DBO/ m³.dia, verificou uma constante de degradação de 0,101 d⁻¹ e 0,038 d⁻¹.

As lagoas de armazenamento normalmente são de formato retangular, pela facilidade de construção, mas estas são mais susceptíveis às rachaduras, devido a maior pressão que ocorre nos cantos. O formato circular tem a vantagem de proporcionar melhor distribuição das cargas nas paredes laterais e podem ser construídas de alvenaria, pedras, solo cimento ou lona PVC especial (DIESEL, 2002).

Realizando estudos comparativos entre Bioesterqueira e Esterqueiras (ou lagoas de armazenamento) para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos, Gosmann (1997) verificou que a única diferença entre elas é, com relação aos custos de implantação, que na esterqueira são 20% menores em relação a bioesterqueira. Ambas são consideradas como sistemas de armazenamento e não de tratamento, por apresentarem baixa redução do poder poluente, não atendendo as exigências ambientais. Porém, mantém o potencial fertilizante dos dejetos (NH₄⁺-N, P₂O₄ e KO₂) para o uso agrícola.

Com uma abordagem específica do experimento de Dalavéquia (2000), levando em consideração somente o funcionamento de duas lagoas anaeróbias, em série, para remoção da concentração de DQO_t de efluentes da suinocultura, o resultado obtido para

a primeira lagoa foi de 82% e na segunda 24% de remoção. A remoção em porcentagem da série das duas lagoas fica em torno de 86%.

Roesler e Cesconeto (2004) afirmam que o sistema mais utilizado e difundido no meio rural, para manejo dos dejetos suínos, é a lagoa de armazenamento, embora exista no mercado uma gama de tecnologias como os tanques de decantação e biodigestores. A escolha por estas lagoas está fundamentada em uma análise pautada em critérios técnicos e econômicos, de acordo com a realidade do produtor, levando em consideração os aspectos da relação custo/benefício no processo produtivo. Os autores afirmam também que a aplicação no solo é a melhor forma de destinação final do dejetos, sendo que, a fertirrigação estará condicionada ao manejo prévio, capacidade de absorção do solo e da cultura beneficiada.

Em Taiwan e nas Filipinas a concepção de armazenamento para os dejetos apresenta grandes problemas com relação à emissão de odores. Próximos às baías são cavados buracos profundos onde os dejetos são armazenados. Alguns problemas, segundo Sheen, (2000), seriam o grande período de tempo em que o dejetos leva para escoar até o armazenamento e o número de buracos escavados. Outra concepção adotada para o armazenamento em Taiwan está relacionada a implantação, nas propriedades, de tanques de armazenamento onde, periodicamente, são esvaziados e o dejetos encaminhado para sistemas centrais de tratamento.

Em Lousiana, Estados Unidos, de acordo com Frederick (2002), a lagoa de armazenamento é o método mais comumente empregado para o manejo dos dejetos com posterior aplicação no solo, entretanto o problema dos odores é o maior obstáculo para esta prática.

3.7.3 Experiências com biodigestores anaeróbios

Biodigestores são câmaras que realizam a digestão anaeróbia da matéria orgânica produzindo biogás e biofertilizante. Pode ser construído de pedra ou tijolo e a campânula de ferro, fibra de vidro ou PVC. Existem dois tipos principais de biodigestores, o de batelada e o contínuo. No Brasil o modelo contínuo (indiano) foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade.

Os dejetos de suínos possuem um bom potencial energético em termos de produção de biogás, tendo em vista, que mais de 70% dos sólidos totais são constituídos

pelos sólidos voláteis, que são o substrato dos microrganismos produtores de biogás (OLIVEIRA, 1991).

O biogás liberado pela atividade anaeróbia dos microrganismos presentes no dejetos tem elevado poder energético e a sua composição varia de acordo com a biomassa. No meio rural pode atender quase que totalmente às necessidades energéticas básicas, tais como: cozimento, iluminação e geração de energia elétrica para diversos fins. Biofertilizante é o efluente resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, na ausência de oxigênio e pode ser utilizado como adubo do solo. O tamanho do biodigestor deve estar de acordo com as necessidades energéticas da propriedade, com a capacidade de consumo do biogás produzido, com o número de animais existentes e com a área disponível para aplicação do biofertilizante.

O biodigestor está sendo empregado na degradação do lodo, produzido em lagoas de decantação para dejetos suínos. Esta pesquisa está sendo realizada em uma propriedade com 2.500 animais em Braço do Norte na Sub-bacia do rio Cachoeirinha e como resultados preliminares dessa análise pode-se mencionar a remoção de DQO_t e de sólidos totais, que para uma carga aplicada de 17,4 kg DQO/dia , ficam em torno de 97,6 e 97,04% respectivamente (ALVES, 2004).

Uma propriedade com 220 suínos, localizada no município de Seara/SC, Gosmann *et al.* 2004 estudou o comportamento de um biodigestor de 100 m³ com uma vazão aproximada de 2,0 m³ dejetos/dia (8,24 L/suíno.dia) e obteve como resultado uma redução de 65% da carga orgânica em termos de DQO_t , e uma produção de biogás de cerca de 39,16 m³/dia. O efluente armazenado no biodigestor apresenta características favoráveis a manutenção do potencial nutritivo do dejetos, onde a remoção de fósforo ficou em torno de 0,38% e a de nitrogênio de cerca de 18%. Estes valores seriam irrisórios para qualquer tipo de tratamento, entretanto para os sistemas de armazenamento, como o biodigestor, é ideal que não se perca os nutrientes do dejetos para favorecer a nutrição do solo.

Em uma propriedade com aproximadamente 1.100 animais, localizada no município de Orleans-SC, também foi objeto de pesquisa de Gosmann *et al.* 2004, onde se analisou o funcionamento de um biodigestor com volume de 400 m³, alimentado com uma vazão de 4,2 m³/dia. A densidade do dejetos foi de 1025 Kg/m³ e o volume de gás produzido é aproximadamente 150 m³/dia. Nesta propriedade o biodigestor proporciona

autonomia energética e gera uma economia de cerca de R\$ 2.000,00/mês para o produtor. O fertilizante produzido, a cada 60 dias é fornecido para os vizinhos por gravidade.

Fazendo uma comparação entre o biodigestor e o reator UASB, Carmo Jr. (1998) verificou a eficiência do sistema em escala piloto, e pode concluir que: operando com dejeções suínas, o sistema apresenta boas condições de equilíbrio de pH, alcalinidade e potencial redox, dispensando o uso de substâncias tamponantes.

Zemann (1991) verificou a interferência na digestão anaeróbia e a produção de biogás, em biodigestores para tratamento de dejetos suínos, com variações de percentual inoculado sob temperaturas controladas em 15, 20 e 30°C e concluiu que com a temperatura de 30°C, a produção mensurável de CH₄ foi a mais eficiente relacionada também com o menor volume de inóculo, de cerca de 10%.

3.7.4 Experiências com digestores seguido de lagoa de armazenamento

Erroneamente conceituado como tratamento, o armazenamento dos dejetos não promove qualquer ação neste sentido. A armazenagem consiste em colocar os dejetos em depósitos adequados durante um determinado tempo, fazendo uso da capacidade degradativa das bactérias sobre a biomassa e reduzindo os patógenos dos mesmos. Por não ser um sistema de tratamento, as características dos dejetos ficam aquém dos parâmetros exigidos pela legislação ambiental para lançamento em corpos receptores (rios, lagos) e a sua utilização como fertilizante requer cuidados especiais (PERDOMO *et al.* 2003).

Henn (2005), tendo estudado a mesma propriedade, objeto de análise desta pesquisa a partir deste sistema, avaliou no ano de 2004 a seqüência de biodigestor e lagoa de armazenamento e obteve resultados de degradação de matéria orgânica de cerca de 97% em termos de DQO_t e de redução de sólidos totais em torno de 94%, o que favorece a produção de biogás. A manutenção do potencial nutritivo do dejetos ficou explícita, pois para as análises de nitrogênio total e o fósforo total, a biodegradação foi baixa, fazendo com que dejetos tenha ótimas características nutricionais para a aplicação no solo.

Alves (2004), numa análise preliminar referente ao afluentes em uma propriedade em Braço do Norte na Sub-bacia do rio Cachoeirinha, estuda a seqüência de lagoa

anaeróbia e reator UASB. Esse conjunto apresenta remoção de DQO_t de cerca de 41%, e de sólidos totais de cerca de 22,5% para uma carga aplicada de 10,5 Kg. DQO_t /dia e um TDH total de 83 dias. É importante salientar que neste período o experimento estava em fase de aclimação e os resultados são referentes ao *start up* do sistema.

3.8 Tratamento dos dejetos suínos

Vários são os processos de tratamento para os dejetos com alta concentração de matéria orgânica como os provenientes de criação de suínos. A escolha do processo a ser adotado dependerá de fatores tais como: características do dejetos, do local, operação e recursos financeiros. O mais importante é que deverá atender a legislação ambiental vigente. As principais técnicas de tratamento de dejetos costumam combinar processos físicos e biológicos de tratamentos (PERDOMO *et al.* 2003).

A utilização de sistemas anaeróbios para tratamento de dejetos é fundamentada na relação custo benefício para o suinocultor, haja vista que se pode agregar valores a criação através dos insumos produzidos pelo manejo adequado, como por exemplo, o condicionamento do solo aplicando o lodo das unidades, geração de energia através do biogás e produção de macrófitas de superfície (*lemna*), para a alimentação de peixes.

Segundo Neto (2004), em análise de viabilidade econômica na mesma propriedade, a produção média de biogás observada, com o sistema operando em condições normais, seria suficiente para uma economia de aproximadamente R\$ 260,00/mês gerando aproximadamente 10.960 kWh/ano.

A produção de *lemna* visa a substituição de 50% da ração utilizada na criação de peixes, com capacidade para um viveiro de 1.000 m². Com isso, a economia gerada na propriedade é de R\$ 280,00/ ano (NETO, 2004).

Além do retorno financeiro o tratamento anaeróbio apresenta vantagens como pequena demanda de área, baixo custo de implantação, baixo consumo de nutrientes, baixo consumo de energia, tolerância de elevadas cargas orgânicas, operação simplificada, etc.

O tratamento anaeróbio combinado ao aeróbio, em nível de pós-tratamento, foi estudado por Obaja *et al.* (2002), que aplicou o Reator em Batelada Sequencial (RBS) para efetuar a nitrificação, desnitrificação e a remoção de fósforo dos dejetos suínos. O

efluente no reator foi mantido a uma temperatura de 30°C, e foi submetido a estágios aeróbio, anaeróbio e anóxico em três ciclos por dia. Os resultados apresentam uma eficiência de remoção de 99,7% para nitrogênio total Kjeldahl (NTK-N) e 97,3% para fosfato (PO₄-P). As concentrações iniciais eram de 1.500 mg/L de NH₄⁺ e de 144 mg/L de PO₄-P.

Sezerino *et al.* (2002), utilizaram *wetlands* construídos para o pós-tratamento de lagoas de estabilização de dejetos suínos e após este, o efluente final no primeiro período de avaliação do trabalho, apresentou percentuais, adicionais, de remoção de 44% de DQO_t, 38% de NH₄⁺-N e 84% de PO₄-P.

As lagoas foram a base de estudo de Cazarré (2000), que trabalhou com três séries de lagoas anaeróbias, recebendo dejetos com a mesma carga orgânica, porém, com diferente tempo de detenção hidráulico (TDH). Os resultados identificaram o sistema em série de duas lagoas anaeróbias com TDH de 35 e 30 dias respectivamente, como o mais eficiente na remoção de DQO_t, NTK-N, ST e SV.

Dalavéquia (2000) também estudou lagoas visando o tratamento de dejeções suínas, e no monitoramento de seus sistemas analisados, composto por duas lagoas anaeróbias, duas facultativas e uma de maturação foi o mais eficiente, obtendo resultados de cerca de 92% para DQO_t, 62% para ST, 86% para NTK-N e 87% para PO₄-P.

3.9 Utilização da tecnologia anaeróbia para dejetos suínos

O emprego da tecnologia anaeróbia no tratamento de efluentes tem crescido na América Latina, principalmente no Brasil. Este processo tem se mostrado uma alternativa viável para o tratamento de efluentes agroindustriais e apresenta alto rendimento de metano com potencial para a produção de energia (BEAL *et al.* 2000).

A descarga de efluentes agroindustriais não tratados nos corpos receptores constitui um dos principais problemas ambientais em todo o mundo. Geralmente, esses efluentes são susceptíveis ao tratamento biológico devido à sua alta concentração de matéria orgânica biodegradável (FIUZA *et al.* 2002).

Os efluentes provenientes de suinoculturas são altamente poluentes, possuindo DQO_t na ordem de 10.000 mg/L ou mais. Dessa forma, precisam ser tratados antes de sua disposição no solo ou em um corpo receptor (PIRES *et al.* 2004).

Os sistemas anaeróbios podem ser utilizados para o tratamento de efluentes oriundos de granjas de animais. Esses sistemas se adaptam bem às condições climáticas brasileiras e possuem outras vantagens como baixo custo operacional e produção de energia (ZHANG, 1997).

Alguns compostos são considerados tóxicos à digestão anaeróbia, dentre eles os antibióticos, compostos largamente utilizados nas granjas de suínos, como promotores de crescimento, ou para fins profiláticos e terapêuticos (MASSÉ *et al.* 2000; LALLAI *et al.* 2002).

3.10 Fundamentos da digestão anaeróbia

Conforme definem Metcalf & Eddy (2003) e Malina Jr. & Pohland (1992), a digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo de degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio livre, onde organismos anaeróbios e facultativos assimilam e destroem simultaneamente a matéria orgânica. A evolução do processo necessita apenas de seu confinamento em um espaço com condições favoráveis às reações bioquímicas inerentes da fermentação natural.

Segundo Metcalf & Eddy (1991) *apud* Chernicharo (1997), a digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microorganismos trabalham na conversão da matéria orgânica complexa em estruturas mais simples e em novas células bacterianas. Os microorganismos que participam da decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, que são as bactérias fermentativas, acetogênicas e as bactérias metanogênicas.

A degradação anaeróbia pode ser dividida em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (METCALF & EDDY, 2003; MALINA Jr. & POHLAND, 1992; Van HAANDEL & LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 1997).

3.10.1 Hidrólise

A hidrólise baseia-se na capacidade das bactérias de assimilarem o material particulado, como os polímeros e transformá-los em monômeros, os quais atravessam a parede celular das bactérias fermentativas. Esta conversão se torna possível devido a ação enzimática efetuada pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (Van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

3.10.2 Acidogênese

A etapa seguinte é a acidogênese, a qual efetua um metabolismo intracelular dos subprodutos obtidos na hidrólise, convertendo-os em diversos compostos mais simples como os ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido láctico, amônia, sulfetos de hidrogênio, que são excretados pelas células, além de novas células bacterianas (Van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

3.10.3 Acetogênese

Denomina-se acetogênese a terceira etapa da digestão. Nesta etapa as bactérias acetogênicas oxidam os produtos formados na acidogênese, são pertinentes a um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Durante a formação de ácido acético e propiônico uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor de pH decresça. Na acetogênese, o ácido acético e o hidrogênio podem ser utilizados diretamente pelas bactérias metanogênicas (CHERNICHARO, 1997).

3.10.4 Metanogênese

É efetuada pelas bactérias metanogênicas que utilizam um número limitado de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua atividade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético e metanol e outro que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (CHERNICHARO, 1997).

3.11 Cinética da digestão anaeróbia

Muitos pesquisadores se dedicaram à derivação de expressões cinéticas para descrever o metabolismo bacteriano. Muitas dessas expressões se baseiam no trabalho original de Monod (1948), que pesquisava a fermentação alcoólica e açúcares.

O conhecimento dos aspectos da cinética de digestão anaeróbia é muito importante para estimar o crescimento bacteriano e a produção de lodo. Especificamente o processo anaeróbio, apresenta uma taxa de decaimento bacteriano muito menor, pois o lodo mantém sua capacidade metabólica mesmo após longos períodos (meses e até anos) sem alimentação de material orgânico, desta forma a diminuição ativa em sistemas anaeróbios pode ser considerável insignificante (ANDREOLI, 2001).

A taxa de bioestabilização dos processos anaeróbios, no geral, depende de fatores cinéticos e sua conversão microbiológica é frequentemente expressa tomando-se como base a equação de Monod, a qual fornece a relação existente entre a concentração limitante do substrato e a atual taxa de crescimento de microrganismos, conforme a equação 3.1.

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S / K_s + S \quad (3.1).$$

Na qual:

μ = taxa específica de crescimento de microrganismos (dia^{-1});

μ_{\max} = taxa específica de crescimento máxima de microrganismos (dia^{-1});

K_s = constante de saturação;

S = concentração do substrato (mg.L^{-1}).

A equação de Monod é largamente utilizada em estudos de digestão anaeróbia, apresentando resultados satisfatórios, e somente é aplicada para sistemas tratando substratos solúveis, tais como: glicose, ácidos graxos voláteis (AGV), etc.

Desta maneira, para resíduos orgânicos, a digestão anaeróbia segue o modelo de cinética de primeira ordem, onde compostos constituídos de açúcares e aminoácidos são inicialmente convertidos para hidrogênio e ácidos graxos voláteis e que o material particulado constituído por compostos de celulose são degradados lentamente.

3.12 Fatores Ambientais que Interferem na Digestão Anaeróbia

As condições nutricionais, físicas e físico-químicas proporcionam a seleção dos organismos mais adaptados com o ambiente, os quais por sua vez, podem variar rápida e freqüentemente devido às mudanças ao suprimento de nutrientes ou devido às condições físicas (CHERNICHARO, 1997).

Tanto as características físicas quanto as químicas, influenciam o crescimento microbiano da digestão anaeróbia. Fatores físicos em geral atuam como agentes seletivos, enquanto que os fatores químicos podem ou não ser seletivos. Alguns elementos, como o carbono e nitrogênio, que são usualmente requeridos em quantidades relativamente grandes podem ser muito importantes na seleção das espécies predominantes (METCALF & EDDY, 2003; CHERNICHARO, 1997; MALINA Jr. & POHLAND, 1992; Van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

3.12.1 Temperatura

Em águas residuárias concentradas, a temperatura pode ser variável de processo já que se pode regular seu valor através da combustão do metano produzido no próprio tratamento. Assim como em outros processos biológicos a digestão anaeróbia depende fortemente da temperatura, onde a faixa relativa para uma máxima eficiência de tratamento é de 30 a 35°C (METCALF & EDDY, 2003). O que pode tornar inviável a aplicação deste processo em regiões de clima frio.

A influência da temperatura neste tipo de tratamento, não se limita à taxa de digestão, afeta também a fração de sólidos orgânicos que pode ser metabolizada neste processo.

Carmo Jr. (1998), estudou o comportamento de um reator UASB, em escala experimental, mantendo a temperatura numa faixa entre 25 e 30°C e observou uma produção maior e mais contínua de biogás para temperaturas superiores a 28°C.

A temperatura é o fator ambiental de maior importância na digestão anaeróbia de esgoto. pH, presença ou ausência de nutrientes e materiais tóxicos têm importância secundária em relação à temperatura.

3.12.2 pH

O valor do pH no reator anaeróbio é extremamente importante, pois se o pH se mantiver em uma faixa estreita, segundo Gosmann (1997); Manouir (1992) citado por Belli Filho (1995), entre 6,6 a 7,6 tendendo a neutralidade (pH=7,0), a fase metanogênica é favorecida com alta produção de biogás; fora dessa faixa a metanogênese, diminui rapidamente. As populações para a fermentação ácida são pouco sensíveis a valores altos ou baixos de pH. Deste modo, a um pH baixo a fermentação ácida pode prevalecer sobre a fermentação metanogênica, tendo como resultado o “azedamento” do conteúdo do reator.

3.12.3 Toxicidade

Grupos de substâncias químicas como metais pesados e substâncias organocloradas têm influencia tóxica, mesmo a concentrações muito baixas. Os compostos tóxicos que podem estar presentes na digestão podem ser o sulfeto e o oxigênio dissolvido.

O oxigênio pode ser introduzido no sistema junto com o esgoto e através de bolhas de ar. Entretanto a ação do oxigênio só será considerada tóxica se a concentração de oxigênio for intensa. Os sulfetos, só apresentaram toxicidade significativa se sua concentração for acima de 50 mg/L.

3.12.4 Nutrientes

As necessidades nutricionais das populações microbianas envolvidas nos processos biológicos de tratamento de esgoto são usualmente estabelecidas a partir da composição química das células microbianas. Como a composição exata é raramente conhecida, os requisitos de nutrientes são determinados com base na composição empírica das células microbianas. Tal consideração se baseia no fato de que quase todas as células vivas são formadas por tipos similares de compostos e que estas apresentam composições químicas relativas.

A digestão anaeróbia é suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação das bactérias fermentativas e metanogênicas. Dessa forma o sucesso do sistema anaeróbio depende de um balanço delicado do sistema ecológico.

Com relação ao armazenamento de dejetos, a remoção de nutrientes se deve principalmente a mineralização do fósforo e do nitrogênio. A volatilização do nitrogênio amoniacal em forma de íon $\text{NH}_3\text{-N}$ é também, responsável pela diminuição da concentração do nitrogênio, e a sedimentação faz com que o fósforo se acumule no lodo, levando em consideração que o aumento da concentração de DQO_t , inibe o processo de “relargagem” desse nutriente (HENN, 2005).

3.13 Biogás

De acordo com Zago (2003), o gás metano foi identificado pela primeira vez em 1776 pelo italiano Alessandro Volta, como resultado da decomposição de resíduos vegetais em ambiente confinado. O gás metano é o principal componente do biogás e dentre outras características é inodoro, incolor e insípido, entretanto outros gases presentes conferem-lhe um odor ácido, semelhante ao de vinagre ou ao de ovo podre. No emprego do biogás como combustível, deve-se estabelecer entre este e o ar, uma relação que permita a combustão integral.

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em energia de cozimento e iluminação é muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia.

Segundo Andreoli *et al.* (2001), biogás é a denominação dada à mistura de gases produzida durante o processo de digestão anaeróbia. Esta mistura apresenta como constituintes básicos o CH_4 , CO_2 e pequenas concentrações de N_2 , O_2 e H_2S , além de traços de hidrocarbonetos voláteis.

As características do composto orgânico a ser degradado serão fatores determinantes na composição do biogás e a proporção dos compostos nele presente, os quais, também são dependentes das condições ambientais existentes no reator (CHERNICHARO, 1997).

A composição média do biogás é apresentada na Tab. 3.9.

Tabela 3.9: Composição média do biogás.

Componente	Teor em volume
Metano (CH ₄)	50 a 75%
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 a 40%
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3%
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5%
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1%
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0,1 a 0,5%
Amônio (NH ₃ -N)	0,1 a 0,5%

Fonte: Adaptado de Pires (2000), *apud* Paula Jr. *et al.* (2003).

O poder calorífico do biogás atinge de 5.000 a 7.000 kcal/m³ em função da sua pureza, que é avaliada pela presença do gás metano. Quanto maior a presença de metano mais puro é o gás produzido e quanto mais puro maior seu poder calorífico. Vários fatores influenciam na produção de biogás, porém todos perfeitamente controláveis (ZAGO, 2003). A quantidade de gás metano é dada em função do tipo de material fermentado e das condições de fermentação.

Segundo Lenz (1980) *apud* Zago (2003), a quantidade necessária de dejetos para a produção de um metro cúbico de biogás é 32,18 Kg, e cada suíno em média produz 0,1431 m³ de biogás. Rouger (1987) *apud* Henn (2005) adota que 1Kg de DQO_t digerida produz 0,35 m³ de CH₄.

3.14 Utilização do dejetos como fertilizante

São vários os fatores a considerar no uso do dejetos como fertilizante agrícola. A utilização dos dejetos como adubo orgânico exige instalações, equipamentos e manejo adequados para torná-lo economicamente competitivo com o fertilizante mineral. Para essa análise, deve-se considerar a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio nos dejetos e o custo de distribuição que por sua vez está relacionado com a distância entre o depósito e a lavoura, velocidade de deslocamento (depende da topografia e condições do terreno), volume anual aplicado e o custo horário do trator somado o do sistema de distribuição. Além disso, devem-se considerar aspectos ambientais tais como:

disponibilidade de área, tipo de solo, distância de mananciais e dose de aplicação (DARTORA, *et al.* 1998).

3.15 Parâmetros para avaliação do processo anaeróbio

3.15.1 Relação entre Carbono (C), Nitrogênio (N) e Fósforo (P)

O nitrogênio e o fósforo são considerados os principais problemas da poluição química dos recursos hídricos. Dietas ricas em proteína, e conseqüentemente nitrogênio, exigem maior consumo de água, uma vez que o metabolismo das proteínas gera menor produção de água metabólica, quando comparada ao de carboidratos e lipídios. A excreta na urina é tanto maior quanto mais elevado for o nível de proteína na dieta. A importância disto pode ser facilmente percebida, pois aumentando a digestibilidade da matéria seca de 85 para 90% pode-se causar redução de 30% da matéria seca nas fezes (PERDOMO, 2001).

O efluente perde carbono na forma de CH₄ e CO₂ quando está sob a ação biológica dos microrganismos nos sistemas de biodigestão (diminuição na relação C/N da matéria orgânica), fazendo com que o efluente apresente boas condições para fins agrícolas em função do aumento da solubilidade de alguns nutrientes. No entanto, a aplicação do biofertilizante no solo, sob o ponto de vista da adubação orgânica, deve ser realizada levando-se em conta critérios agronômicos e de acordo com a Legislação vigente, para evitar a contaminação do solo e dos aquíferos subterrâneos (ANDREOLI, 2001). Em Santa Catarina esse valor é 50m³/ha.

A relação nutricional ótima de C/N/P, em termos de decomposição de substrato para as bactérias anaeróbias, é próxima a das bactérias aeróbias, ou seja: 100/5/1 (GOSMANN, 1997).

O Nitrogênio é o nutriente que exige maiores cuidados, pois além de limitar o desenvolvimento da maioria das culturas, é o mais sujeito as transformações biológicas e perdas, seja na armazenagem ou no solo (ANDREOLI, 2001).

Perdomo *et al.* (2001), encontrou valores para a relação C/N/P de cerca de 50/3/1. Já Oliveira (1993), em seus estudos, aponta como sendo a relação ótima entre C/N, valores contidos no domínio de 30/1 a 50/1.

O fósforo sob a forma de $\text{PO}_4\text{-P}$ (fosfato) é a assimilável pelas plantas é a forma solúvel desse nutriente no dejetos podendo se apresentar como ortofosfato e polifosfato. De acordo com Scherer (1995) citados por Gosmann (1997), o fósforo presente nos dejetos suínos apresenta-se em grande parte no sedimento dos sistemas de armazenamento sob a forma de sais insolúveis como o P_2O_5 e cerca de 2/3 do total deste nutriente estaria nesta forma, restando somente 1/3 como $\text{PO}_4\text{-P}$. O fósforo permanecerá na forma de $\text{PO}_4\text{-P}$ se o pH se mantiver a baixo de 9,5.

O nitrogênio amoniacal somado ao nitrogênio orgânico é igual ao nitrogênio total Kjeldahl e o nitrogênio amoniacal pode se apresentar no dejetos na forma iônica ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ou na forma de amônia ($\text{NH}_3\text{-N}$), onde a transformação do nitrogênio orgânico em íon amônio é chamada de amonificação. Segundo Oliveira (1993), concentrações de nitrogênio amoniacal na forma $\text{NH}_3\text{-N}$, superiores a 1.500 mg/L, combinadas ao pH 9,5 são tóxicos à digestão anaeróbia. A maioria dos autores que trabalham a questão do tratamento e armazenamento dos dejetos suínos adota resultados de 7% da fração de nitrogênio amoniacal na forma iônica quando submetidos a pH igual a 7,0, no entanto esse valor pode chegar a 50% de $\text{NH}_3\text{-N}$ quando o pH for 9,5.

A aplicação de dejetos no solo em horário de menor temperatura controla a emissão de odores e perdas de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, pois sob altas temperaturas ocorre a evolução da amônia que se transforma em $\text{NH}_3\text{-N}$ e se desprende do dejetos por volatilização. A agitação excessiva pode provocar perdas de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ de cerca de 60% (OELTJEN, 2004).

A utilização dos dejetos no solo é indispensável para fertirrigação condicionamento do solo devido à ciclagem dos minerais não renováveis, desta forma o equilíbrio ecológico não é perturbado pela aplicação de fertilizantes químicos, o que também gera economia para o produtor.

3.15.2 Relação $\text{DBO}_5/\text{DQO}_t$

De acordo com Oliveira (1993), a relação $\text{DBO}_5/\text{DQO}_t$ é importante no processo de digestão anaeróbia de dejetos suínos para representar o conteúdo de matéria orgânica a ser digerida, assim como verifica a remoção da matéria orgânica do processo.

Gosmann (1997) citando Rousseaux (1993) diz que a degradabilidade de um resíduo orgânico pode ser definido por sua relação $\text{DBO}_5/\text{DQO}_t$, onde é considerado:

um resíduo fermentável quando os valores desta relação forem \geq a 0,6; um resíduo resistente quando os valores desta relação forem \leq 0,2.

3.15.3 Relação pH/acidez

Quando as condições ótimas da digestão anaeróbia de dejetos suínos são afetadas, ocorre um aumento na concentração de ácidos voláteis e conseqüentemente diminui o pH (OLVEIRA, 1993).

A faixa de pH considerado ideal para a digestão anaeróbia é entre 6,5 a 7,5, com valor ótimo entorno de 7,0 (Cohen, 1982). De acordo com Malina Jr. & Pohland (1992) a variação do pH no meio, caso não seja gerada pelo próprio substrato afluyente ao sistema, está relacionada com a produção e acúmulo de ácidos voláteis, resultantes de um desequilíbrio entre as populações de microrganismos acidogênicos e metanogênicos e a alcalinidade total do sistema (MALINA Jr. & POHLAND, 1992; SOARES, 1990 *apud* RITA, 2002).

Devido à capacidade tampão das substâncias presentes no dejetos, o pH não se manifesta no aumento gradativo da concentração de ácidos voláteis na massa líquida. Após o consumo de toda a alcalinidade é que haverá uma queda repentina de pH. Esta manifestação acaba prejudicando a prevenção de falhas no sistema. Deste modo faz-se necessário um acompanhamento simultâneo do pH e dos ácidos voláteis existentes na digestão (OLIVEIRA, 1993).

3.15.4 Temperatura

Estudando lagoas anaeróbias Cohen (1982) definiu como melhor faixa de temperatura a termofílica, variando de 30 a 40°C. Em temperaturas abaixo de 15°C as bactérias param de produzir metano, interrompendo o processo e gerando subprodutos que originam maus odores.

O estudo de uma temperatura ótima para a remoção de nitrogênio amoniacal (NH_4^+ -N) de dejetos suínos em reatores anaeróbios, realizado por Hensen *et al.* (1998), apontou a temperatura de 37°C para uma remoção de 87,3%. Outro fator positivo do estudo desta temperatura é que a mesma foi responsável pela maior quantidade de metano no biogás de cerca de 71%.

Obaja *et al.* (2003), em seus estudos sobre remoção de nitrogênio (NTK-N) de dejetos suínos, observou que a temperatura é fator limitante na desnitrificação onde valores de temperatura maiores que 16°C são satisfatórios para manter a remoção sem diminuição de eficiência.

3.15.5 Atividade metanogênica específica

De acordo com Chernicharo (1997), a avaliação da atividade metanogênica específica (AME) de efluentes anaeróbios tem se mostrado importante no sentido de classificar o potencial da conservação de substratos solúveis em CH₄ e CO₂. Os valores de 0,049 e 0,0172 gDQO-CH₄/gSV.dia, foram encontrados por Henn (2005), analisando inóculo suínos, indicando, para este caso a baixa capacidade de produção de biogás para este tipo de resíduo.

Brummeler (1993) *apud* Pinto (2000) encontrou valores da ordem de 0,0142 L CH₄/g STV.d para a atividade metanogênica em inóculo de dejetos suínos caracterizando a baixa potencialidade da atividade metanogênica para esse tipo de substrato.

Rita (2002) operando por 220 dias um reator UASB em escala piloto obteve um aumento dos resultados de cerca de 105% entre o início e o fim do ensaio, o valor encontrado foi da ordem de 0,40 gDQO-CH₄/g STV.dia.

Como forma de comparação com a atividade metanogênica em outro tipo de substrato, os resultados de Pinto (2000), para o percolado de um biorreator de resíduos sólidos urbanos, foram da ordem de 0,13 L CH₄/g STV.dia. muito acima dos resultados para dejetos suínos.

3.15.6 Densidade (γ)

A Tab. 3.10 apresenta a concentração de matéria seca (MS), Nitrogênio (N) e Fósforo (P₂O₅) em função da densidade do dejetos, em Kg/m³.

Tabela 3.10: Concentração de MS, N e P₂O₅ de acordo com a densidade do dejetto.

Densidade (Kg/m ³)	MS (%)	N (Kg/m ³)	P ₂ O ₅ (Kg/m ³)	Densidade (Kg/m ³)	MS (%)	N (Kg/m ³)	P ₂ O ₅ (Kg/m ³)
1044	9,39	7,13	6,67	1068	14,9	10,82	10,36
1048	10,3	7,74	7,29	1072	15,81	11,43	10,98
1052	11,24	8,36	7,90	1076	16,72	12,05	11,59
1056	12,17	8,97	8,52	1080	17,63	12,66	12,21
1060	13,08	9,59	9,13	1084	18,54	13,28	12,82
1064	13,99	10,20	9,75	1088	19,45	13,89	13,44

Fonte: Adaptado de Perdomo *et al.* (2003).

Um adequado plano de manejo, com vistas à aplicação do dejetto na lavoura para a fertirrigação orgânica, tem como base a composição química, a área de aplicação, tipo de solo e as exigências da cultura plantada. A partir da densidade estima-se a composição química dos dejetos de forma prática para calcular a dosagem a ser aplicada (PERDOMO *et al.* 2003).

Gosmann (1997), analisando dejetos suínos em seu experimento com lagoas de armazenamento, encontrou valores médios de cerca de 1.014 Kg/m³. Fazendo uso dos dados apresentados na Tab. 11, a densidade encontrada pelo autor apresenta potencial nutritivo em termos de N, P₂O₅ e K₂O iguais a 2,52; 2,06 e 1,38 Kg/m³ respectivamente.

3.15.7 Potencial redox (Eh)

Reação redox é um processo químico que envolve a transferência ou troca de elétrons (de uma molécula, átomo ou íon para outro reagente) no qual existem duas etapas: oxidação, que é a perda de elétrons por parte de uma espécie; e a redução que seria a fixação, (ganho) de elétrons por parte de uma espécie. O agente oxidante ou oxidante é a substância que promove uma oxidação ao mesmo tempo em que ela se reduz no processo e o agente redutor ou redutor é a substância que doa elétrons promovendo a redução de outra substância e ela é oxidada no processo.

Henn (2005), em um período de 5 meses analisando dejetos suínos, encontrou um valor médio para a o potencial redox de um biodigestor igual a -23,3 mV. Segundo MetcalF & Eddy (2003); Malina Jr. & Pohland (1992), esses valores são pouco

significativos e indicam uma baixa anaerobiose, o ideal seria valores da ordem de -300 mV, entretanto este parâmetro não foi determinante na produção de biogás. Belli Filho (1995) afirma que a faixa ideal para a anaerobiose está compreendida entre -233 e -370 mV. Os valores de acidez, quando muito elevados, incrementam de maneira positiva os resultados de Eh.

3.16 Legislação Ambiental aplicada à criação de suínos

Na avaliação da legislação ambiental voltada para a suinocultura, três aspectos são de suma importância, os quais dizem respeito à localização das construções, aos padrões de emissão de efluentes e à disposição de dejetos (HADLICH, 2004).

Quanto a localização, qualquer atividade deve obedecer ao limite mínimo de 30 metros, para águas correntes e de 50 metros para lagoas e lagos. O código florestal (Lei 7.803, de 18/7/89 que altera a redação da lei 4.711/65), considera de preservação da mata ciliar assim como a vegetação defensiva, nas faixas marginais dos cursos d'água ao longo dos rios.

A variação da largura da faixa marginal de preservação permanente em cada margem do rio está definida no Art. 225 § 2º, da Constituição da República Federativa do Brasil, onde a largura da faixa varia de acordo com a largura do rio desde o seu nível mais alto em faixa marginal, como mostra a Tab. 3.11.

Tabela 3.11: Variação da faixa marginal de preservação em relação à largura dos rios.

Largura de Rios (metros)	Faixa em cada margem (metros)
<10	30
10 a 50	50
50 a 200	100
200 a 600	200
> 600	500

Fonte: Adaptado, Brasil (2002).

O mesmo artigo em suas disposições estipula que nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados olhos d'água, a faixa marginal de preservação permanente seja de um raio igual a 50 metros.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n. 04 de 18/09/1985, reforça o código florestal (Lei 7.803, de 18/7/89 que altera a redação da lei 4.711/65), e define que são Reservas Ecológicas, as florestas e demais formas de vegetação situadas ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios naturais ou artificiais, desde o seu nível mais alto medido horizontalmente, em faixa marginal.

Quanto os padrões de emissão e a proteção da qualidade ambiental, das instalações de armazenamento e tratamento de dejetos, o Decreto Estadual 14.250, em seu artigo 9º, de 05/6/81, ressalta a que as estruturas ou depósitos de armazenagem de substâncias capazes de proporcionar riscos aos recursos hídricos deverão ser dotados de sistemas de segurança e prevenção de acidentes, localizados a uma distância mínima de 200 metros de corpos d'água.

Conforme enquadramento estabelecido pela Portaria Estadual 0024/79, o rio Coruja/Bonito é de classe 2. O Decreto 14.250/81, estabelece que as águas dos rios pertencentes a esta classe são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, mergulho).

Já o *Código Sanitário* da Secretaria Estadual de Saúde (Lei nº 6.320 de 20/12/83, regulamentada pelo Decreto nº 24.980 de 14/03/1985, alterado pelo Decreto nº 4.085 de 21/02/02) dispõe sobre habitação rural e urbana. No Decreto nº 4.085, especifica, no Art. 1º, que o produtor não poderá manter depósito de lixo ou estrume a uma distância menor que 20 metros de qualquer habitação rural e no Art. 2º, um distanciamento de 20 metros da área de criação, unidades de armazenamento e/ou tratamento de dejetos e das divisas dos terrenos vizinhos.

Quanto a disposição de efluentes, o Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981, regulamenta emissão de efluentes com DBO₅, no máximo de 60 mg/L. Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO₅ do despejo em no mínimo 80%.

Na maioria dos países da Europa a legislação de proteção ambiental é muito rígida com relação aos dejetos produzidos pelos suínos, devido à dificuldade de distribuição dos mesmos. No Brasil a partir de 1991 deu-se uma maior importância a

este assunto, passando o Ministério Público a cobrar o cumprimento da legislação, aplicando advertências, multas e mesmo o fechamento de granjas (DIESEL, 2002).

3.16.1 Licenciamento ambiental da suinocultura

Em Santa Catarina o licenciamento fica subjugado ao Art. 69 do Decreto nº 14.250/81, onde a instalação, a expansão e a operação de equipamentos ou atividades industriais, comerciais e de prestação de serviços, dependem de prévia autorização e inscrição em registro cadastral, desde que inseridas na listagem das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental.”

No Estado, a FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina, é o órgão responsável pela emissão de licenciamentos ambientais para as atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental, entre elas a suinocultura em sistema confinado, conforme determina a Portaria Intersetorial nº 01/2002 que “altera a Portaria Intersetorial nº 01/92 e dá outras providências”. Nesta Portaria de 2002, são alterados os itens que atingem diretamente a suinocultura, e passam a vigorar com a seguinte redação, para granja de suínos de ciclo completo. Onde NM é o número de matrizes.

Será considerado de pequeno porte a criação com o $NM \leq 100$; de médio porte com, $100 < NM \leq 230$; e de porte grande com $NM > 230$.

Nas unidades de armazenamento, o tempo de armazenamento (TA) foi obtido através da divisão da capacidade de armazenagem pelo volume de dejetos produzidos por dia. A legislação estabelece que o TA deve ser de, no mínimo, 120 dias e através do termo de ajustamento de condutas e a instrução normativa da FATMA IN 11 (suinocultura), estipulam uma aplicação de dejetos no solo de $50 \text{ m}^3/\text{ha.ano}$, após o necessário tempo de armazenamento.

4 METODOLOGIA

4.1 Análise global da implantação dos sistemas de armazenamento de dejetos suínos na propriedade

O presente trabalho é uma continuidade da pesquisa que subsidiou A Dissertação de mestrado desenvolvida na mesma propriedade por Henn (2005), cujo objetivo foi avaliar os sistemas de manejo de dejetos, sob a condição de partida (período de *start up*) de duas lagoas de armazenamento e de um biodigestor.

O estudo de Henn (2005) foi realizado em um período de cerca de 150 dias os quais, no início, o sistema produtivo dos animais apresentava bebedouros com um consumo de água muito acima do ideal e conseqüentemente um volume maior de produção e menor densidade do dejetos. Foram instalados bebedouros ecológicos no 68º dia, para avaliar as mudanças nas características do dejetos e os benefícios para o manejo.

A análise do comportamento geral do sistema desde o período estudado por Henn (2005) (primeira etapa), até o final das análises do presente trabalho, que iniciou em 21 de janeiro de 2004 e findou no dia 22 de Setembro de 2004, perdurando por 9 meses, com um total de 246 dias (segunda etapa) é mais um parâmetro de avaliação da importância deste empreendimento no manejo dos dejetos numa escala de tempo total de cerca de 396 dias.

4.2 Projetos suínos-SC

A pesquisa em questão é parte integrante (sub projeto) de um trabalho com unidades de pesquisa em Chapecó, Seara, Concórdia e Joaçaba no oeste do estado e Braço do Norte e Orleans no sul do estado, denominado Validação de Tecnologias para o Manejo, Armazenamento e Tratamento dos Dejetos Suínos. Entretanto o presente trabalho foi desenvolvido no sul do Estado, no município de Braço do Norte, na sub-bacia do rio Coruja/Bonito na propriedade do Sr. Valdir Wigers.

A Fig. 4.1 mostra a localização da sub bacia no mapa do estado.

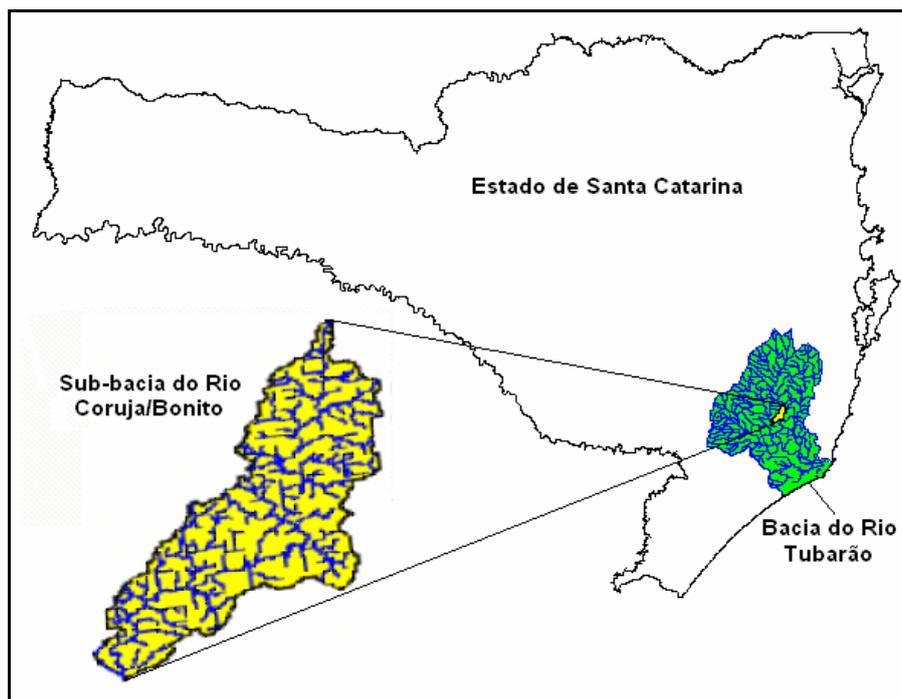


Figura 4.1: Localização da sub-bacia do Rio Coruja/Bonito, adaptado EPAGRI (2000).

Utilizando um aparelho GPS da marca Gramin modelo Etrex marítimo, foi possível obter as coordenadas geográficas do sistema de manejo dos dejetos na propriedade que está localizado a $28^{\circ} 13' 50,1''$ para a Latitude, $49^{\circ} 06' 29,2''$ para a Longitude e Altitude de 336 metros.

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em duas frentes de trabalho: em campo, na etapa de coleta das amostras, manutenção e eventual operação do sistema, haja vista que a execução regular do sistema é de responsabilidade do proprietário da criação de suínos; e em laboratório, onde as amostras, depois de coletadas, foram analisadas sob parâmetros relevantes para avaliação e monitoramento dos sistemas.

É importante salientar que os requisitos da operação regular do sistema, realizada pelo produtor, foram repassados ao mesmo através de um protocolo de operação, onde eram explicitados os procedimentos concernentes a alimentação dos sistemas e manobra nos registros, assim como anotações relativas ao volume de dejetos produzido diariamente lidos numa régua graduada na caixa de passagem e a produção de biogás indicadas em um rotômetro (medidor de volume).

As atividades em campo tiveram seu início em dezembro de 2003 com planejamento, estratégia de ação e preparação do material. O término das atividades

ocorreu no final de outubro de 2004. A etapa de análises laboratoriais foi realizada de maneira concomitante com a etapa das coletas, com exceção da análise referente ao nitrogênio total devido o prolongamento do período de manutenção de equipamentos essenciais para a obtenção de resultados deste parâmetro.

4.3 Caracterização da propriedade estudada

A propriedade conta com apenas três funcionários; é uma produção essencialmente familiar, onde, além da atividade suinícola, cria-se gado, aves e peixes (em um açude) os quais são tratados com *lemna* (macrófita de superfície) produzida numa lagoa alimentada com o efluente do biodigestor, após a intervenção financeira do projeto.

A criação de suínos é composta por 50 matrizes, classificada como pequeno porte, onde o sistema de criação é caracterizado como ciclo completo (CC), onde os suínos passam pelas fases de gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação. As atividades agrícolas mais relevantes, realizadas nas diferentes épocas do ano, na propriedade são a produção de milho, no período entre a primavera e o verão, e de aveia no período entre o outono e inverno, para alimentação animal.

A propriedade apresenta área total de 24 hectares, onde o espaço físico destinado ao projeto é igual a 40.000 m², a área construída é de 1.000 m² e a área destinada para as unidades de manejo e armazenamento dos dejetos é igual a 800 m², composta por um tanque de passagem, duas lagoas de armazenamento de dejetos e um biodigestor. A área construída é representada pela residência do proprietário, um curral, um galpão agrícola, um depósito, uma unidade de maternidade e creche, e uma unidade de crescimento terminação de criação de suínos.

A disposição do sistema de armazenamento (caixa de passagem, lagoas e biodigestor), a residência do proprietário e as unidades de criação estão representadas na Fig. 4.2.

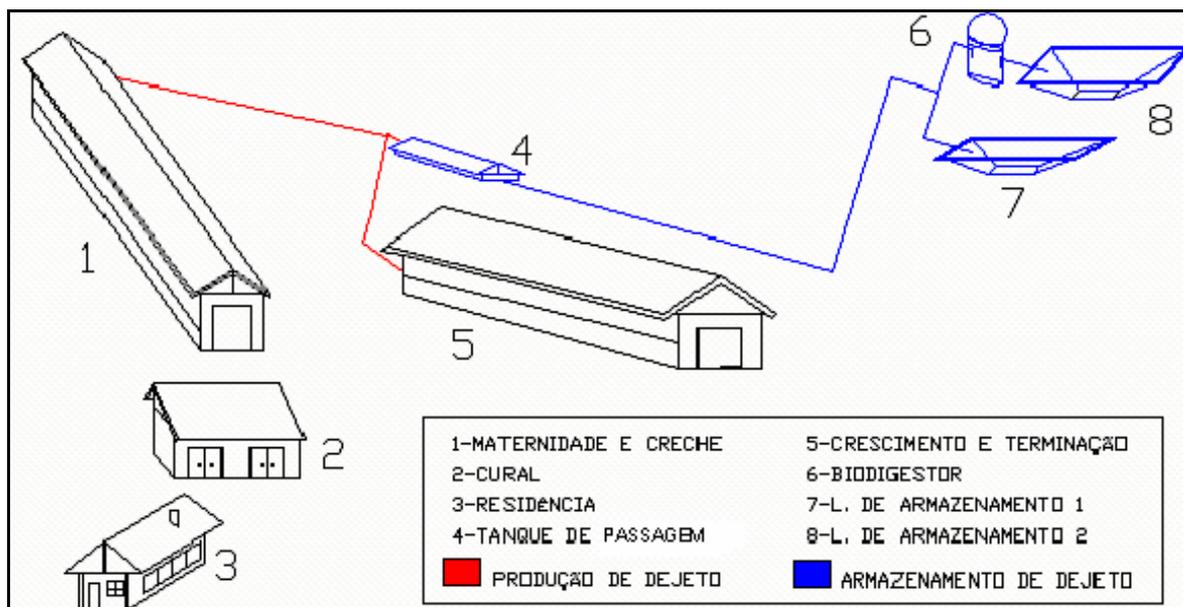


Figura 4.2: Lay out da propriedade de criação de suínos.

4.4 Caracterização do sistema de armazenamento

O sistema de manejo empregado na propriedade é composto pela junção da L.A.1, L.A.2 e o biodigestor. O dejetos é produzido pelos animais, nas baias das unidades de maternidade/creche e crescimento/terminação e é encaminhado por gravidade através de canaletas localizadas nas laterais dessas unidades e de uma tubulação de PVC com diâmetro de 150 mm para um tanque de passagem, apresentado na Fig. 4.3 de onde o dejetos é bombeado para os sistemas 1 e 2 de armazenamento.

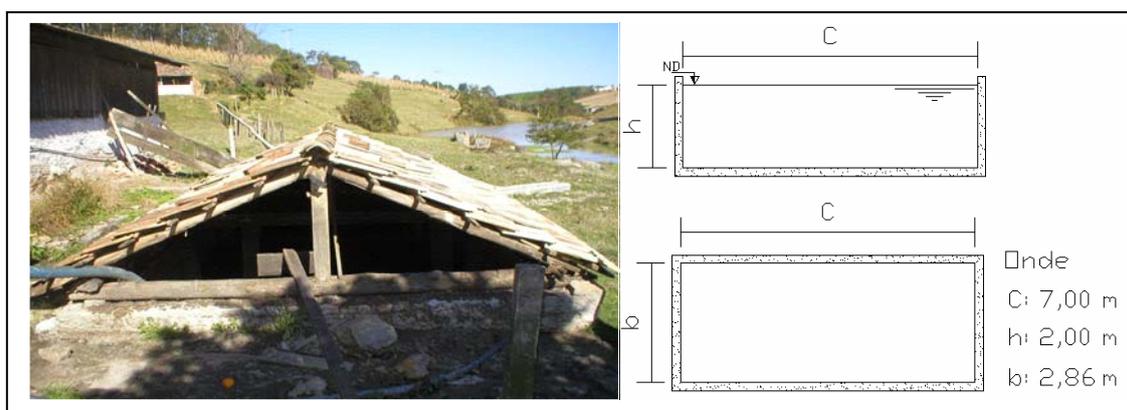


Figura 4.3: Tanque de passagem de dejetos.

O conjunto empregado para o manejo das dejeções, objeto dessa pesquisa, é formado pela junção dos dois sistemas de armazenamento de dejetos dimensionadas em escala real para uma propriedade criadora de suínos com 500 animais em média.

O primeiro sistema é composto de uma lagoa de armazenamento com volume útil de 240 m^3 , projetada para uma vazão máxima de $2 \text{ m}^3/\text{dia}$ resultando no tempo previsto na legislação vigente no Estado que é de 120 dias, para o caso de armazenamento com posterior aplicação no solo. A Fig. 4.4 mostra a fotografia da L.A.1, em funcionamento, e detalhes do seu dimensionamento.

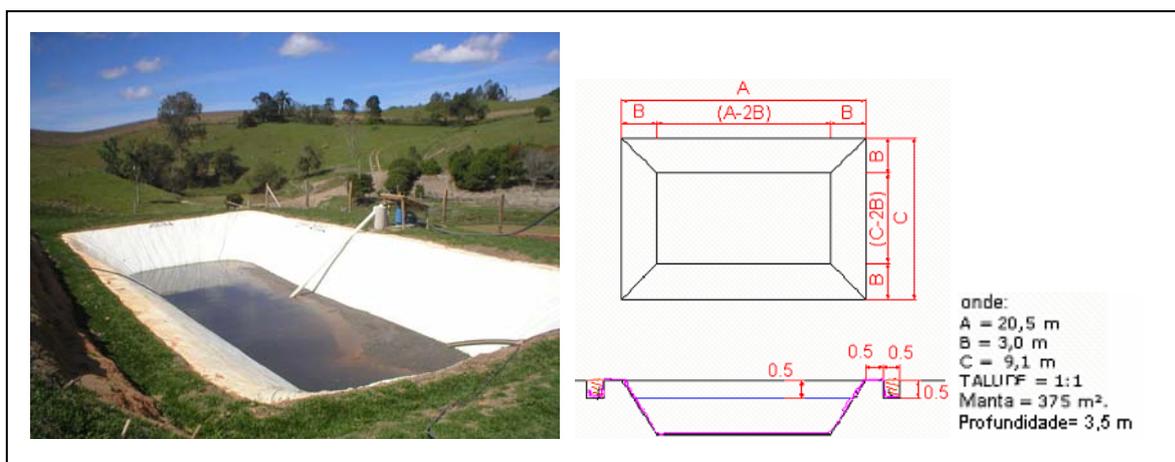


Figura 4.4: L.A.1 e detalhes do seu dimensionamento.

O segundo sistema compõem-se por um biodigestor e uma lagoa de armazenagem (L.A.2), o biodigestor apresenta volume útil de 90 m^3 , projetado para uma vazão de $3 \text{ m}^3/\text{d}$, resultando em um tempo de retenção hidráulica (TDH) de 30 dias. O efluente deste reator é encaminhado para a lagoa de armazenamento (L.A.2), pouco maior que a lagoa anterior (L.A.1), comportando um volume igual a 360 m^3 , com um tempo de armazenamento de 120 dias como prescreve a Legislação.

Apesar de o biodigestor também ser considerado como sistema de armazenamento pela maioria dos autores, no seu cálculo utilizou-se tempo de detenção hidráulico ao invés de tempo de armazenamento, devido a configuração desta unidade e também a alimentação contínua que o sistema é submetido.

As Fig. 4.5 e 4.6 mostram a fotografias do biodigestor e da L.A.2, em funcionamento e detalhes dos dimensionamentos.

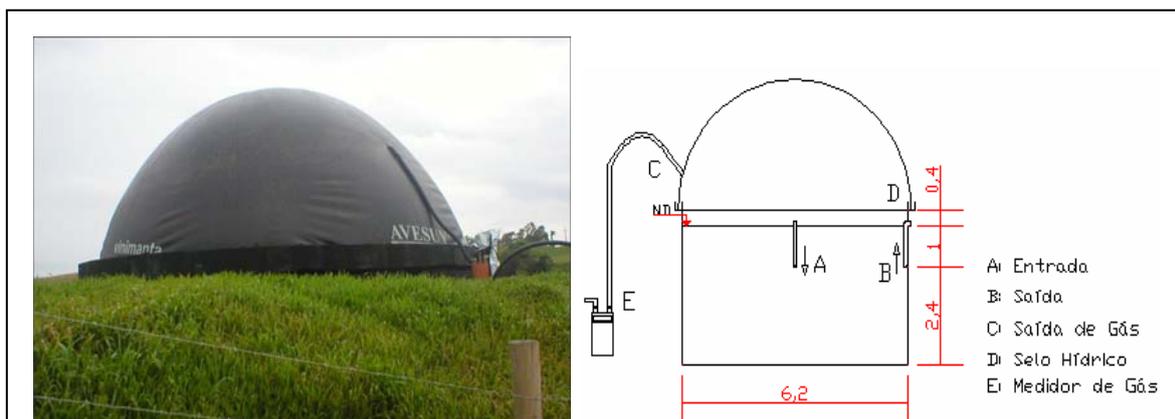


Figura 4.5: Biodigestor e detalhes do dimensionamento.

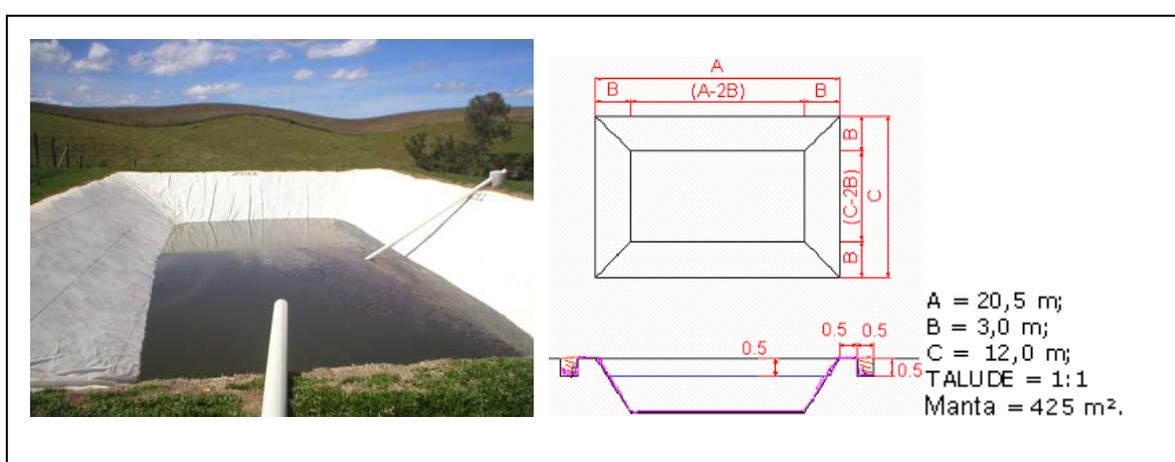


Figura 4.6: L.A.2 e detalhes do seu dimensionamento.

O sistema completo de manejo (armazenamento e destino final) de dejetos na propriedade é apresentado na Fig. 4.7 através do fluxograma esquemático.

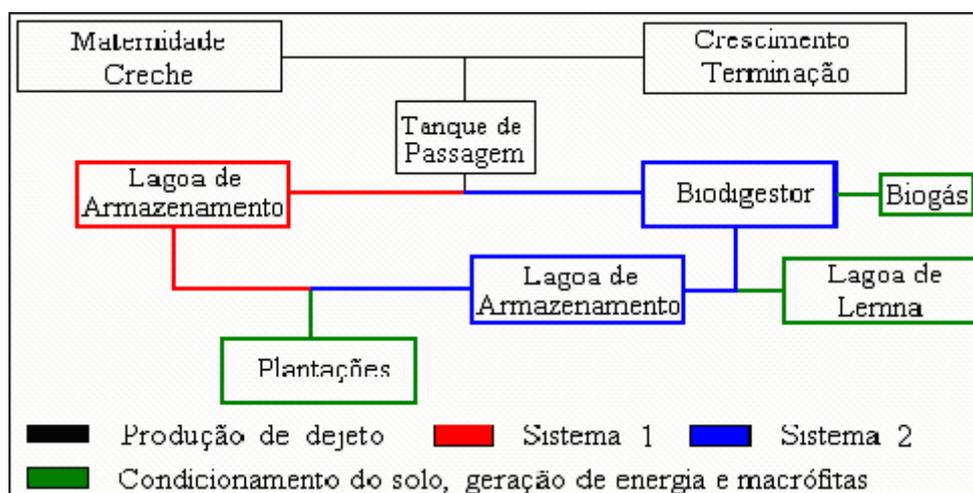


Figura 4.7: Fluxograma do sistema de armazenamento de dejetos.

Como subsídio prático para a avaliação fluxo de vazão durante o dia, foi realizado no tanque de passagem (Fig. 4.3) leitura direta, em régua graduada para verificar, por diferença, o volume diário de dejetos produzido sendo este definido como ponto 1, os três restantes são um em cada lagoa e no biodigestor.

Os sistemas foram monitorados com o objetivo de manejar os dejetos com vistas à redução da poluição, integrado com a manutenção do seu potencial fertilizante para o solo, assim como, visou também, a produção máxima de biogás no sistema de biodigestão.

4.5 Avaliação de parâmetros em campo

Nos dias, e no momento exato da coleta, com raras exceções, foram medidos com finalidade de expressar as reais características da amostra de dejetos suínos a densidade (γ), pH, temperatura (T), potencial redox (Eh) e sólidos sedimentáveis (SSed). Para as análises de pH e Eh utilizou-se um pHmetro portátil da marca Órion modelo 250A. A temperatura das amostras no momento da coleta foi medida com um termômetro digital da marca Ecoterm, modelo 7427.

A densidade do dejetos bruto foi medida em proveta graduada de 500 ml utilizando-se um densímetro de escala entre 1000 e 1100 g/L, a análise foi realizada com frequência mensal, sendo alguns resultados obtidos através de medições realizadas pelo próprio produtor seguindo as recomendações do procedimento analítico para tal prática e um protocolo de operação delegado ao mesmo.

4.6 Avaliação de parâmetros em laboratório

Após a coleta e acondicionamento das amostras, tanto as líquidas quanto às gasosas, foram encaminhadas ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente-LIMA e seus laboratórios de apoio, onde foram utilizadas as dependências do Laboratório de Experimentação em Engenharia Ambiental - LAEX e Laboratório de Controle da Qualidade do Ar - LCQAR para fins analíticos utilizando métodos descritos na literatura com algumas adaptações para análises de dejetos suínos.

Em laboratório os dejetos foram submetidos às análises de DQO_t , DBO_5 , série de sólidos, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e acidez total. Seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, da APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water and Works Association) e WPCF (Water Pollution Control Federation).

4.7 Detalhes dos procedimentos adotados para as análises em laboratório

4.7.1 DQO_t e DBO_5

Ambos os parâmetros de avaliação foram analisados com menos de 24 horas após a coleta das amostras, que ficaram devidamente armazenadas e conservadas sob a temperatura de 4°C. Para a realização da DQO_t (total) pelo método colorimétrico utilizou-se bloco de aquecimento Hach, modelo COD-Reactor, 25 canais e dois Espectrofotômetros, um da marca Varian, modelo Cary-1E digital, e o outro da marca Hach, modelo DR 4000 para confirmar os resultados. As amostras de DQO_t apresentam resultados em massa por massa (g/kg), devido o dejetos ter uma densidade muito alta o que dificultaria a análise por volume e os resultados expressos não seriam fiéis às reais características das amostras. Para este parâmetro foi pesado 5g de dejetos bruto e posteriormente diluído para um volume de 500 ml em água destilada.

A análise de DBO_5 foi efetuada pelo método da DBO_5 manométrica total, utilizando-se aparelhos Hach, modelo track, para seis canais e estufa modelo 101M/2, da marca Eletrolab funcionando a 20°C. Especificamente para este parâmetro as coletas e, conseqüentemente, as análises foram realizadas com uma freqüência menor que os outros parâmetros. A DBO_5 foi utilizada para as correlações com as análises realizadas como a DQO_t , por exemplo, e para mensurar valores da produção de biogás nas 10 (dez) análises de DBO_5 realizadas.

4.7.2 Série de sólidos

A série de sólidos realizada na pesquisa foi efetuada ao longo de todo o período estudado e subdividiu-se nos seguintes parâmetros: sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV). Para a realização da série de sólidos utilizou-se os equipamentos listados: estufa da marca Deleo tipo 4, a 105°C, mufla da marca Quimis,

modelo Q3182d24 funcionando a 550°C, para a ignição de cadinhos antes de serem pesados e para queima total de sólidos orgânicos das amostras; chapa de aquecimento modelo *Cimarec* 3 Hp471 da marca *Termoline* e no caso dos sólidos sedimentáveis analisados em campo fez-se uso do cone Inhof.

As amostras de sólidos também apresentam resultados em massa por massa (g/kg) e para este parâmetro foi pesado 30g de dejetos bruto diretamente nas cápsulas de porcelana antes de irem para a chapa de aquecimento.

4.7.3 Fósforo total (PO₄-P)

Para a avaliação deste parâmetro, o método adotado foi o Colorimétrico Ácido Vanadomolybdofosfórico que é indicado para detectar concentrações de 1 à 20 mg/Kg. Para a análise utilizou-se chapa de aquecimento modelo *Cimarec* 3 Hp471 da marca *Termoline* e Espectrofotômetro de ultra violeta para usar em 600 nm da marca *Hach*, modelo DR4000.

4.7.4 Nitrogênio total (NTK-N) e nitrogênio amoniacal (NH₃-N)

Para nitrogênio total o método empregado é o Kjeldhal. Utilizou-se como aparelhagem necessária para a análise base digestora da *Velp Scientifica*, modelo DK6, destilador *Velp Scientifica* modelo UDK 130A e para o tratamento dos gases ácidos produzidos durante o processo de análise fez-se uso de um Scroubber da marca *Velp Scientifica* utilizando solução de NaOH a 8N. Para o nitrogênio amoniacal utiliza-se o método Titulométrico, usando destilador *Velp Scientifica* modelo UDK 130A.

Para se ter uma avaliação preliminar da distribuição de fósforo e nitrogênio ao longo da profundidade nos sistemas de manejo, optou-se fazer coletas de fundo (lodo) para estabelecer um comparativo de resultados entre as coletas padrões (sobrenadante).

4.7.5 Acidez total

Utilizou-se o método titulométrico com algumas adaptações onde às amostras, depois de armazenadas em um período máximo de 24 horas sob refrigeração foram submetidas à análise. Utiliza-se agitador magnético de bancada para proporcionar uma homogeneização mais completa da amostra e bureta digital da marca *Brinckmann* modelo II para precisar os resultados da titulação. O dejetos bruto, assim como o lodo

dos sistemas de armazenamento foram centrifugados devido sua densidade e a grande quantidade de sólidos em suspensão, os resultados expressos no trabalho correspondem a análise do sobrenadante obtido após a centrifugação devidamente diluído.

4.7.6 Atividade metanogênica específica (AME)

Neste trabalho o teste da atividade metanogênica específica foi realizado em caráter específico. Os ensaios de AME foram realizados após o período em que houve uma queda abrupta e repentina na produção de biogás. A análise foi efetuada supondo que não existia vazamento de gás no sistema e que a baixa produção poderia estar relacionada à impossibilidade das bactérias metanogênicas, existentes no lodo, de converterem o substrato orgânico em biogás naquele momento. Para este parâmetro fez-se somente uma coleta do lodo do biodigestor e o ensaio foi realizado em triplicata.

O teste foi baseado no procedimento descrito por Soares & Hirata (1997) com adaptações, manteve-se a proporção de células em relação ao substrato empregado igual a 5,0 g de SV/L para 5,0 g DQO/L em ácidos orgânicos, sob agitação e controle de temperatura. Para tanto, foi colocado uma quantidade conhecida de lodo (SV), após análise de SV do mesmo, em um frasco de soro com capacidade para 400 mL. A solução de nutrientes para cultura dos microorganismos está expressa no anexo A Tab. A1.

O cálculo dos resultados da AME ocorreram de acordo com a equação (4.1) descrita em Soares & Hirata (1997), efetuando-se correção do volume de gás nas CNTP (condições normais de temperatura e pressão) haja vista que 350 mL de gás metano são produzidos por cada 1 g de DQO_t degradada, conforme citado por Metcalf & Eddy (2003).

$$AME_{MAX} = \frac{dV}{dt} \times \frac{24h/dia}{350ml/gDQO} \times \frac{1}{SV} \times \frac{1}{V} \quad (4.1)$$

sendo:

$\frac{dV}{dt}$ = produção volumétrica de gás por hora;

V = volume do meio de reação;

SV = concentração de sólidos voláteis em g SV/L.

O ensaio do teste AME foi realizado no Laboratório de Desenvolvimento de Processos Tecnológicos (LDPT), do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

4.7.7 Microscopia óptica

Este parâmetro teve o mesmo objetivo operacional do teste da atividade metanogênica, onde se buscavam respostas para a diminuição e ausência da produção de biogás no biodigestor analisando a atividade das bactérias metanogênicas no microscópio, caracterizada pela capacidade que as mesmas possuem de refletir luz (fluorescência). Para isto utilizou-se microscópio binocular, Olympus, modelo BX 40 e foram realizadas duas análises, do lodo coletado do biodigestor, de acordo com as recomendações da literatura. Os resultados foram comparados com relevantes pesquisas citadas sobre microbiologia em processos anaeróbios para amostras de lodo.

4.7.8 Biogás

O biogás produzido e armazenado na propriedade tem proveniência exclusiva da unidade de biodigestão inserida no sistema 2 de armazenamento. A partir do 128º dia perdurando até o fim da pesquisa, realizou-se a coleta do biogás, entretanto, no período compreendido entre o 190º e 246º dia, a coleta do biogás produzido no biodigestor ficou comprometida devido à instabilidade de sua produção.

Coleta e acondicionamento das amostras gasosas

Foram utilizados para a coleta e o armazenamento do gás coletado ampolas de vidro com volume de 250 ml, acopladas a válvulas de *teflon*. Para um pré-tratamento do biogás coletado, seguindo recomendações de Rita (2002) para a retirada da umidade e gás sulfídrico, fez-se uso de sílica gel azul, granulada, diâmetro de 4 a 8 mm, e limalha de aço comum.

O sistema de medição (rotâmetro) e o pré-tratamento e coleta do biogás é mostrado na Fig. 4.8.

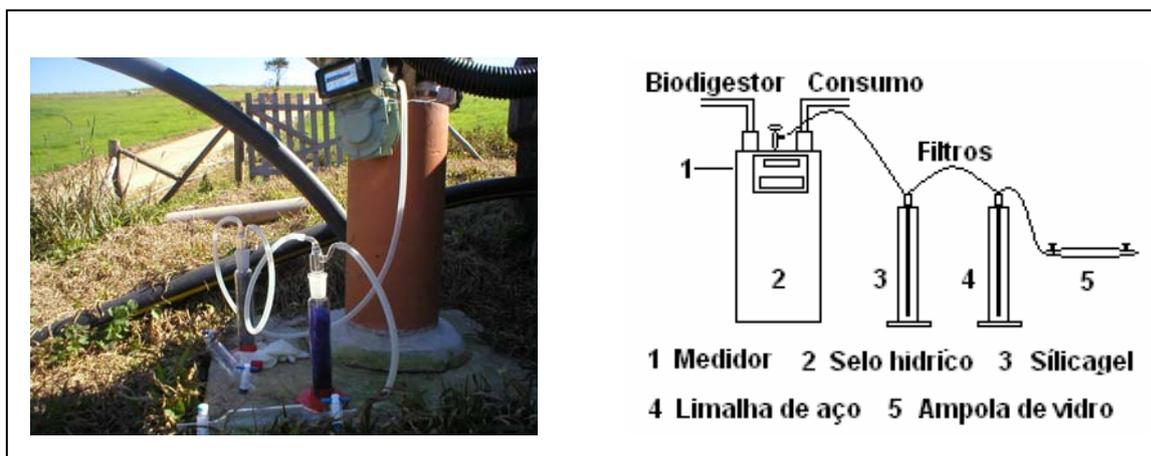


Figura 4.8: Coleta e sistema de pré-tratamento do biogás para análise.

O material coletado e pré-tratado foi transportado em caixas de isopor para conter as variações bruscas de temperatura e, em seguida foram armazenados em estufas à 20°C.

Procedimento analítico

A análise desse material foi realizada por cromatografia gasosa. Para tanto utilizou-se um cromatógrafo da marca Varian 3350– ADCB 16. Realizou-se estas análises no Laboratório de Controle da Qualidade do ar-LCQAr do Departamento de Eng. Sanitária Ambiental da UFSC.

Foram injetados volumes de 100 μ L de biogás por análise, a coluna utilizada apresenta as seguintes especificações: GC; empacotada – Porasil C (80-100 mesh), com dimensões de 3m (comprimento) x 1/8"x 2mm; tolerando temperatura máxima de 400°C.

O tipo de detector é de condutividade térmica (DCT) e nas condições de operação usou-se hélio como gás de arraste sob vazão de 30 ml/min. As temperaturas da coluna, do injetor e do detector foram, respectivamente 55, 75, e 150°C. A concentração do gás padrão utilizado para a calibração foi de 65,15%mol para o metano e 34,85%mol dióxido de carbono.

4.8 Estratégias de operação

4.8.1 Alimentação dos sistemas de armazenamento

O monitoramento do sistema, para esta pesquisa, teve seu início no dia 21 de janeiro de 2004 e perdurou até o dia 22 do mesmo ano. Neste período foram efetuados testes com diferentes vazões de alimentação, para os dois sistemas de armazenamento, levando em consideração a média diária de produção de dejetos e a conseqüente variação nos tempos de retenção nas unidades de armazenamento em ambos os sistemas. A variação das vazões e o período estudado foram divididos como apresenta a Tab. 4.1.

Tabela 4.1: Alimentação dos sistemas de manejo dos dejetos.

Período de alimentação	Vazão aplicada		
	Situações	Sist. 1 (m ³)	Sist. 2 (m ³)
36 dias	1 ^a	1,50	1,50
30 dias	2 ^a	2,25	0,75
46 dias	3 ^a	1,50	1,50
42 dias	4 ^a	1,00	2,00
21 dias	5 ^a	0,50	2,50
71 dias	6 ^a	0,00	3,00
246 dias	Tempo total de avaliação		

A vazão inicial estabelecida foi de 1,5 m³, recorrente do período de *start up* do sistema e as variações tinham como base a resposta do sistema em termos de eficiência de remoção de carga orgânica.

O procedimento de manobra de registros e recalque do dejetos armazenado no tanque de passagem para o sistema de armazenamento foi realizado pelo próprio suinocultor, no período da manhã, seguindo o protocolo de alimentação do sistema.

A vazão foi mensurada através do cálculo do volume do tanque de passagem e fazendo uso de uma régua graduada na qual ficava marcado a altura de dejetos produzidos no dia; essas medições foram feitas no momento exato que antecedia a alimentação do sistema. Com intuito de obter resultados mais fidedignos efetuou-se um perfil horário da

produção de dejetos na propriedade. Nesse perfil horário, além de precisar o volume de dejetos produzidos e o momento de pico de produção, também foi utilizado para verificar a produção de biogás ao longo do dia entretanto este procedimento foi pontual.

4.8.2 Perfil de sólidos e Análise do lodo

Durante 175 dias desta abordagem para o biodigestor, que teve seu início em 01 de abril de 2004 continuando até o fim da pesquisa, foram efetuadas quatro coletas em três níveis de profundidade: sobrenadante (profundidade 1), dejetos a meia altura das unidades (profundidade 2) e lodo de fundo (profundidade 3). A partir destas amostras foram realizadas análises pH, Eh, série de sólidos, temperatura.

A análise do lodo de forma biológica (atividade metanogênica), físico-química (DQO_t, pH, Eh, sólidos totais, fósforo total, nitrogênio total) e microbiológica (microscopia óptica) foi inserida na rotina de trabalho com uma ferramenta de auxílio de extrema importância para as considerações a serem tecidas sobre o montante final de resultados. A atividade metanogênica e microscopia óptica só foram realizadas para o biodigestor. Na L.A.2 coletou-se amostras de sobrenadante e de lodo de fundo, num período de 28 dias que variou de 26 de agosto a 22 de setembro 2004, para efetuar uma análise comparativa da distribuição de nutrientes estratificados na lagoa.

4.8.3 Sazonalidade

O período de coletas e análises ficou caracterizado com o seu início no verão, passou pelo período do outono e teve seu término no último dia de inverno com temperaturas caracterizadas pelo início da primavera. De posse desses dados ao longo das estações do ano, foi feita uma comparação analítica entre os resultados obtidos nas unidades de armazenamento, no período mais quente (início da pesquisa) e com os resultados do período mais frio. Esses resultados também foram correlacionados com o monitoramento da temperatura ambiente da região, apresentado pela EPAGRI-CIRAM (2005), de maneira a identificar as possíveis interferências da temperatura do meio no funcionamento dos sistemas na propriedade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo a apresentação dos resultados foi dividida em cinco itens, cada um apresenta uma avaliação específica dos sistemas empregados na propriedade visando o adequado manejo dos dejetos. O item 5.1 exibe uma análise global da avaliação dos sistemas de manejo, expondo a evolução de cada parâmetro no decorrer do período de 246 dias, assim como estabelece uma comparação entre os resultados dessa pesquisa (para pH, ST, PO₄-P, NTK-N, DQO_t e DBO₅) com os obtidos por Henn (2005), que avaliou os mesmos sistemas sob a condição de partida, por um período de aproximadamente 150 dias. O item 5.2 apresenta uma análise exclusiva da temperatura e suas interferências nos resultados dos demais parâmetros. As variações para vazão de alimentação e conseqüentemente as cargas volumétricas em cada sistema são objeto de avaliação do item 5.3 que tem por objetivo identificar a carga ideal na alimentação de cada sistema. No item 5.4 procurou-se efetuar um perfil de sólidos no biodigestor e uma análise comparativa entre os resultados de sobrenadante e do lodo da L.A.2. Com a intenção de verificar a situação da atividade suinícola da propriedade em questão, quanto às disposições legais, o item 5.5 expõe as circunstâncias mais comuns para avaliar o enquadramento da atividade suinícola com a Legislação Federal e Estadual.

5.1 Análise geral dos parâmetros avaliados

5.1.1 pH e acidez

O dejetos bruto apresentou uma média de pH em torno de 6,75; de caráter levemente ácido, que é justificado pelo exagerado tempo em que os dejetos permanecem na caixa de passagem onde a mesma apresenta um volume de 40m³ para uma produção diária de, em média de 3m³.

As variações de pH em função do tempo de 246 dias (a partir do final do trabalho de Henn (2005)), obtidas nas 3 unidades de armazenamento e na caixa de passagem, apresentam o patamar de estabilização deste parâmetro durante o período estudado.

Na caixa de passagem e nas três unidades de armazenamento os valores de pH apresentam-se estáveis, divergindo pouco entre si e com baixa oscilação como é exibido na Fig. 5.1. Essa estabilidade nos valores de pH adverte a possibilidade de que não houve acúmulo de ácidos voláteis no sistema, o que seria indicado pela queda brusca de resultados para a acidez interferindo no tamponamento do sistema; entretanto, o maior resultado de acidez encontrado no 243º dia foi da ordem de 1.143 mg de CaCO_3/L , não alterou o pH do dejetos bruto neste período, porém, no 200º dia, a acidez apresentou resultado de cerca de 904 mg de CaCO_3/L e o comportamento do pH foi perturbado havendo uma queda significativa de 7,07 para 6,38 indicando acúmulo de ácidos voláteis no sistema.

O efluente do biodigestor foi caracterizado com pH bem próximo a neutralidade, com média de 7,4. Segundo Malina Jr. & Pohland (1992), Belli Filho (1995) e Metcalf & Eddy (2003), se o pH estiver numa faixa entre 6,6 a 7,6 tendendo a neutralidade (pH=7,0), a fase metanogênica é favorecida com alta produção de biogás

Nas Lagoas de armazenamento L.A.1 e L.A.2 as médias de pH durante a análise dos sistemas foram de 7,61 e 7,92, e a média dos resultados de acidez foram em torno de 140 e 180 mg de CaCO_3/L respectivamente.

Esse incremento nos valores de pH que torna os dejetos mais alcalinos nessas lagoas pode gerar conseqüências negativas para a conservação dos nutrientes no dejetos armazenado, pois, valores de pH superiores a 8,00 favorecem a perda de amônia por volatilização na forma de $\text{NH}_3\text{-N}$ e a precipitação do fosfato na forma P_2O_5 .

A análise comparativa entre os resultados de pH dessa pesquisa e os obtidos por Henn (2005), também é apresentada na Fig. 5.1 no qual, sob uma perspectiva de aproximadamente 396 dias de avaliação, percebe-se que o pH em todas as unidades exibe um comportamento semelhante, onde as médias dos resultados de Henn (2005) para o dejetos bruto, efluente do biodigestor, L.A.1 e L.A.2 foram respectivamente 6,6; 7,34; 7,24 e 8,27 expondo também a mesma ordem crescente de resultados entre as unidades. Os primeiros 150 dias referentes ao *start up* do sistema, (primeira etapa) foram estudados pelo referido autor.

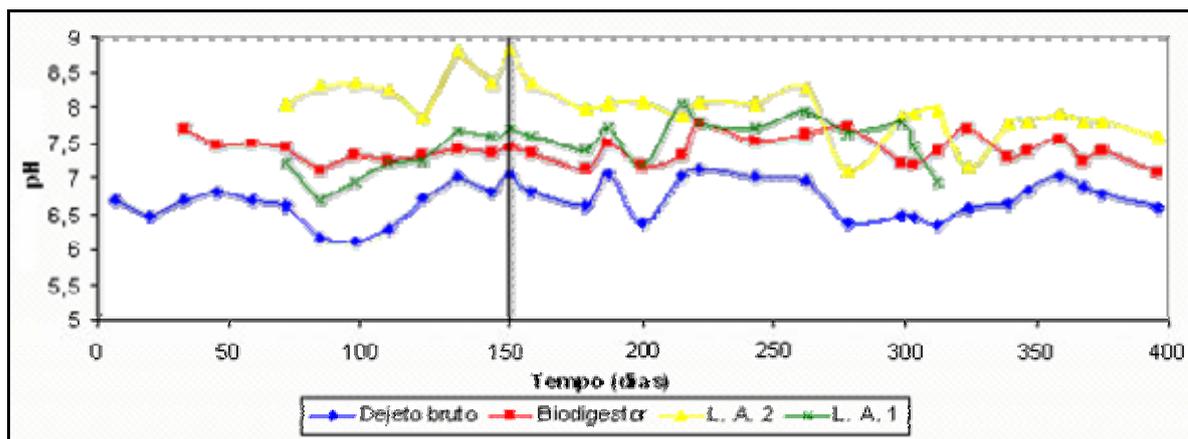


Figura 5.1: Evolução do pH nas unidades dos sistemas.

Em geral os quatro pontos de coleta tiveram um comportamento semelhante durante todo período estudado. Para a acidez, a partir da 149ª dia, esses resultados tenderam a igualdade de valores, com média em torno de 130 mg de CaCO_3/L . O dejeito bruto apresentou média de cerca de 476,25 mg de CaCO_3/L e o efluente do biodigestor 241,55 mg de CaCO_3/L onde seus valores máximos foram de 1.143 mg de CaCO_3/L para o afluente, como dito anteriormente e 502 mg de CaCO_3/L para o efluente. Os valores mínimos foram de 112,00 mg de CaCO_3/L para o afluente; 57,00 mg de CaCO_3/L para o efluente; 39,00 mg de CaCO_3/L para a L.A.2, e 41,00 mg de CaCO_3/L para a L.A.1; é importante ressaltar que a L.A.2 é alimentada com o efluente do biodigestor o que favorece a estabilização deste parâmetro para esta unidade.

As lagoas de armazenamento sempre estiveram com resultados, em média, abaixo de 180 mg de CaCO_3/L . Como discutido anteriormente, este fato se dá, entre outros motivos, devido a exposição contínua dessas unidades a interferência pluviométrica, temperatura, incidência solar. De acordo com Malina Jr. & Pohland (1992), Rita (2002) o acúmulo de ácidos voláteis é resultante de um desequilíbrio entre as populações de microrganismos acidogênicos e metanogênicos e a alcalinidade total do sistema, a qual aumenta a partir do consumo de ácido acético pelas bactérias metanogênicas resultando, conseqüentemente, num aumento do pH.

A Fig. 5.2 expõe os resultados de acidez total ao longo do tempo de operação dos sistemas nas unidades de armazenamento e no dejeito bruto durante a segunda etapa.

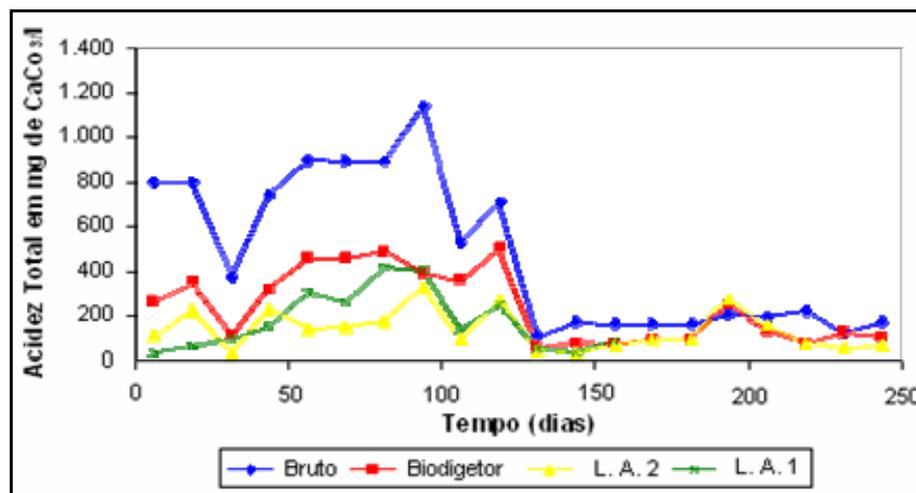


Figura 5.2: Evolução da acidez nas unidades dos sistemas.

5.1.2 Comportamento do potencial redox (Eh)

O dejetto das unidades de armazenamento, inclusive o dejetto bruto coletado na caixa de passagem, apresentam resultados de Eh distantes da faixa ideal descrita por Belli Filho (1995) que oscila entre -233 e -370 mV. Os resultados médios encontrados foram de cerca de 8 mV para o efluente bruto, -27 mV para o biodigestor, -52 mV para a L.A.1 e -42 mV para a L.A.2 expondo ambientes pouco redutores.

O afluente apresentou valores positivos de Eh, expondo características de um ambiente oxidativo. Os valores máximos e mínimos referentes ao Eh para o dejetto bruto obtido nas análises foram de 30 e -21 mV respectivamente, onde os maiores valores podem ser associados com os dias em que a caixa de passagem estava menos cheia e a agitação provocada pelo derramamento de dejetto dentro da mesma possa ter contribuído para uma pequena inserção de oxigênio no afluente.

O efluente do biodigestor apresentou valores relativamente altos se comparados com os encontrados na literatura pesquisada. Os valores máximo e mínimo para esta unidade ficaram na ordem de -8 e -75 mV, pouco expressivos, e indicam baixa anaerobiose. Segundo Malina Jr. & Pohland (1992), Belli Filho (1995) e Metcalf & Eddy (2003) o valor ideal seria de -300 mV.

O dejetto bruto na caixa de passagem e o efluente do biodigestor podem, segundo Oliveira (1993), estar apresentando um comportamento tendencioso a grande quantidade de ácidos voláteis presentes nestas unidades os quais provocam um aumento

do Eh. Apesar de serem muito baixos os resultados de Eh no biodigestor, este parâmetro vai de encontro com a produção de biogás medida no mesmo.

As lagoas de armazenamento apresentam valores máximos e mínimos de cerca de -19 e -109 mV para a L.A.2 e para a L.A.1 -8 e -63 respectivamente, também pouco significativos para a digestão anaeróbia e muito aquém dos encontrados por Gosmann (1997) que foram de cerca de -334 e -277, entretanto a boa remoção de carga orgânica nas lagoas indica que este parâmetro não foi determinante na digestão anaeróbia. A Fig. 5.3 apresenta a performance do Eh durante o período estudado para as três unidades de armazenamento e para o dejetto bruto.

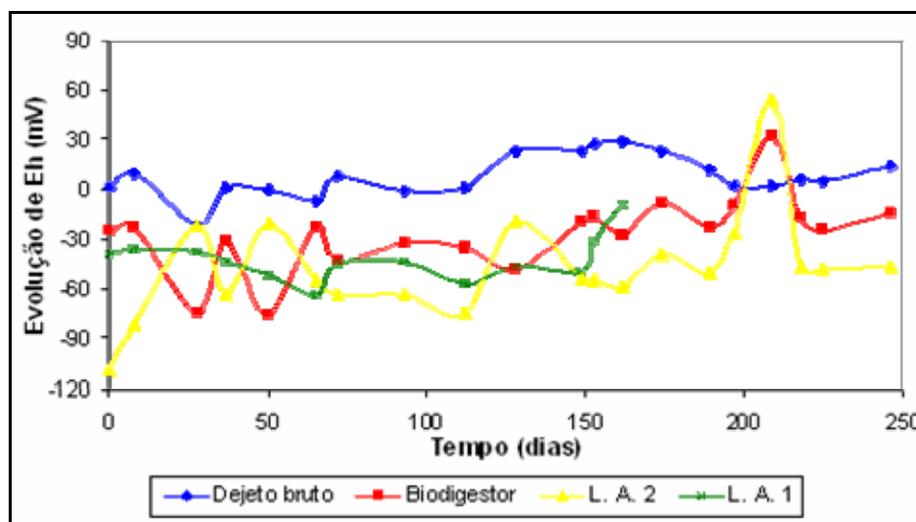


Figura 5.3: Evolução do Eh do dejetto bruto e nas unidades de armazenamento.

5.1.3 Série de sólidos

Dejetto bruto

A performance do dejetto bruto, avaliado sob a perspectiva da série de sólidos (neste caso: sólidos totais, fixos e voláteis), é exibida na Fig. 5.4, na qual podemos observar o comportamento desses parâmetros no decorrer dos 396 dias de monitoramento, utilizando para o início desta análise os resultados obtidos por Henn (2005) em 150 dias de observação.

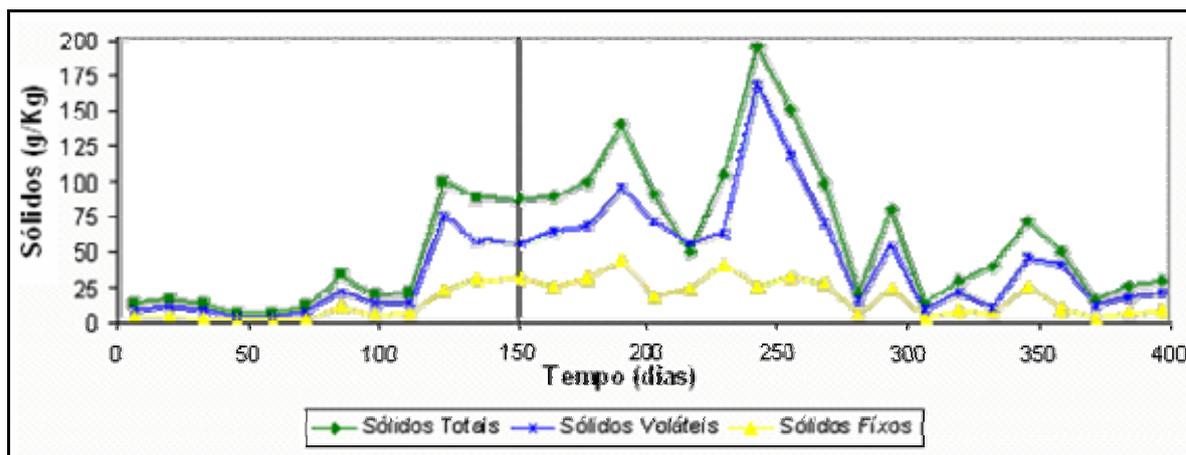


Figura 5.4: Evolução do dejetto bruto sob a análise de ST, SF e SV.

Em termos de ST, o dejetto bruto apresentou média de valores de cerca de 73 g ST/Kg, valor este relativamente elevado se levarmos em consideração os encontrados por Alves (2004), da ordem de 8 g/Kg, entretanto esses valores se relacionam com a DQO_t em proporção, pois este parâmetro também apresentou valores muito altos para o dejetto bruto. Os dados referentes à densidade e os sólidos sedimentáveis também fundamentam esse resultado.

A amplitude desse parâmetro tem como ocorrência mínima 13 g ST/Kg e máxima em torno de 191 g ST/Kg. O maior valor para este parâmetro foi obtido sob temperatura de 24,5°C, temperatura muito próxima da máxima que foi de 26,1°C. Coincidentemente, a menor concentração para os ST no dejetto bruto, se deu a uma temperatura mais baixa de cerca de 20,5°C provavelmente o aumento de temperatura diminui a umidade do dejetto na caixa de passagem assim como nas calhas de escoamento e influencia no comportamento excretório dos animais.

A média dos resultados anteriores à implantação dos bebedouros ecológicos encontrada por Henn (2005) foi 35 g ST/Kg comprovando a melhora de qualidade do dejetto bruto depois do 68º dia de operação.

A média de resultados encontrados para os SF foi 19,97 g/Kg, praticamente o dobro dos valores encontrados por Henn (2005) e Gosmann (1997). A alta nos valores médios para a série de sólidos se justifica, entre outros, principalmente pela redução do desperdício de água, conseguido após a implantação dos bebedouros ecológicos conferindo novas características para o dejetto bruto e sua evolução nos sistemas de armazenamento.

O valor médio, da ordem de 53 g SV/Kg, foi encontrado na análise que é, de certa forma, proporcional à média de ST quando leva-se em consideração o valor máximo encontrado, de cerca de 166 g SV/Kg e o valor mínimo igual a 9,45 g SV/Kg. A Fig. 5.4 demonstra de maneira nítida que as curvas de ST e SV variam em torno do mesmo valor do início ao fim das coletas caracterizando o grande potencial de produção de biogás do dejetos, entre outros.

Os primeiros 150 dias tiveram como resultado valores médios da ordem de 34 g de ST/Kg, 10 g de SF/Kg e 24 g de SV/Kg para o dejetos bruto, abaixo do obtido nos 246 dias restantes. Este fato pode está associado a implantação dos bebedouros ecológicos nas baias de criação de suínos durante a pesquisa de Henn (2005). A partir desta modificação que se deu no 71º dia, as características físicas e químicas do dejetos mudaram bastante como pode ser visto na Fig. 5.4.

Sólidos totais efluentes (ST)

Os resultados médios para cada unidade foram de 11,0; 4,30 e 3,98 g ST/Kg para o biodigestor, L.A.1 e L.A.2 respectivamente e as médias de remoção de sólidos foram de cerca de 85% para o biodigestor e 94% para as lagoas L.A.1 e L.A.2 simultaneamente. Até o 128º dia de coleta os ST apresentam-se estáveis nas três unidades e daí em diante os resultados da L.A.2 e do biodigestor apresentaram valores de pico divergentes dos demais caracterizando um comportamento bastante além das médias; da ordem de 27 g ST/Kg para o biodigestor e 18 g ST/Kg para a L.A.2. Para a L.A.1, a média de remoção ficou em torno de 94%. Todas unidades apresentaram média de remoção superior a 80% que seria um valor máximo para sistemas anaeróbios, entretanto isso não implica em erro analítico e levanta a possibilidade de sedimentação no fundo das unidades, ocorrência esta que está sendo verificada no item 5.4 sobre a análise do perfil de sólidos.

Com relação a grande diferença de resultados entre o 128º e o 147º dia para o biodigestor, evidenciada na Fig. 5.5, relaciona-se este resultado com o valor máximo para o dejetos bruto ocorrido durante o 93º dia de avaliação, da mesma forma que se obteve o valor máximo de DQO_t e de acidez no mesmo período, apontando que este resultado para sólidos não foi um caso isolado, porém muito além dos encontrados por

Belli Filho (1995) e Gosmann (1997). A performance do ST na análise das unidades é apresentada na Fig. 5.5.

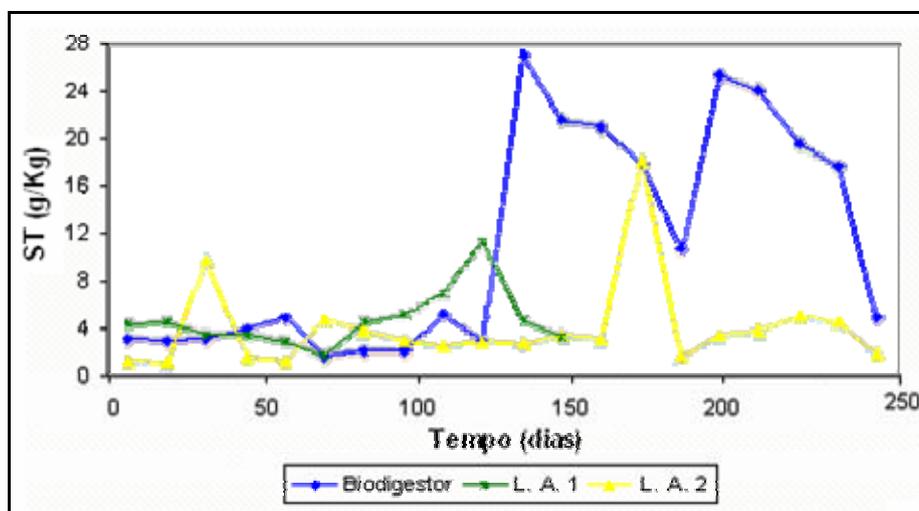


Figura 5.5: Evolução dos ST em cada unidade dos sistemas de armazenamento.

Sólidos fixos efluentes (SF)

No dejetos suíno analisado, este parâmetro é mínimo se comparado com os resultados de SV, sua composição é praticamente de minerais e a maior concentração se deu em análise de lodos oriundos nas lagoas de armazenamento. A performance deste parâmetro no biodigestor, e nas lagoas 1 e 2 é demonstrada na Fig. 5.6.

As médias de resultados obtidos nas 20 coletas foram de 5,4 g SF/Kg para o biodigestor, 2,47 g SF/Kg para a L.A.1 e de 2,46 g SF/Kg para a L.A.2. Como apresentado durante toda a série de sólidos, o comportamento dos SF teve maiores oscilações a partir do 128º dia e seu valor máximo chega a 15 g/Kg no 209º dia para o biodigestor; valor muito acima da média. Para as lagoas estes resultados correspondem a 5,0 e 9,25 g SF/Kg para as lagoas 1 e 2 respectivamente e a remoção da concentração é de cerca de 87% para ambas as lagoas e o biodigestor apresenta média de remoção próxima a 73%. As lagoas tiveram um comportamento semelhante durante as 10 primeiras coletas (128 dias), onde a L.A.2 destaca-se apresentando um efluente menos concentrado em termos de SF. No caso do biodigestor esta remoção média obtida, está de acordo com resultados de remoção para sistemas anaeróbios.

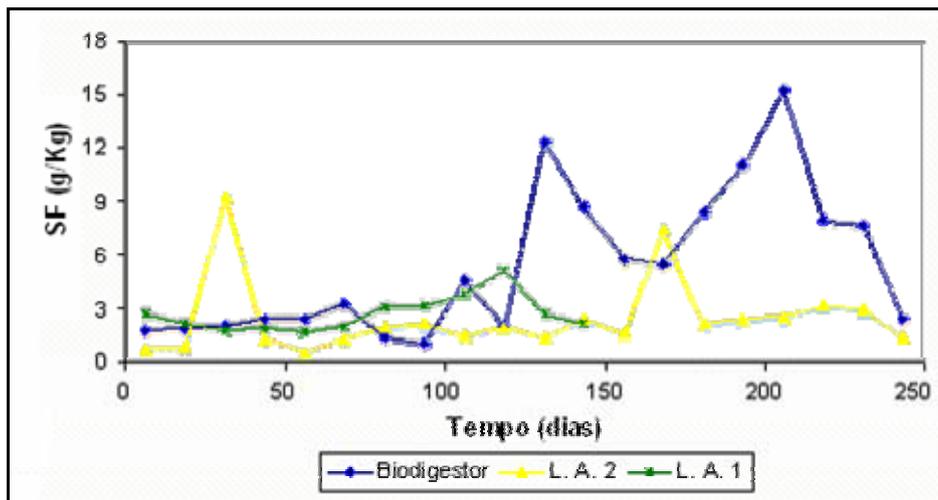


Figura 5.6: Evolução dos SF em cada unidade dos sistemas de armazenamento.

Sólidos voláteis efluentes (SV)

Assim como nos dejetos brutos, a evolução dos SV no efluente das três unidades é muito semelhante aos sólidos totais, onde os picos máximos e mínimos ficam representados nas mesmas coletas e seus valores são aparentemente iguais, em termos proporcionais, e as diferenças de resultados aparecem também após o 128º dia de coleta como exibe a Fig. 5.7. Os valores mínimos caracterizaram o grau de remoção exercido pelas unidades e foram de 0,63 g SV/Kg para o biodigestor; 0,79 e 0,18 g SV/Kg para as lagoas 1 e 2, caracterizando como melhor na degradação de SV a L.A.2.

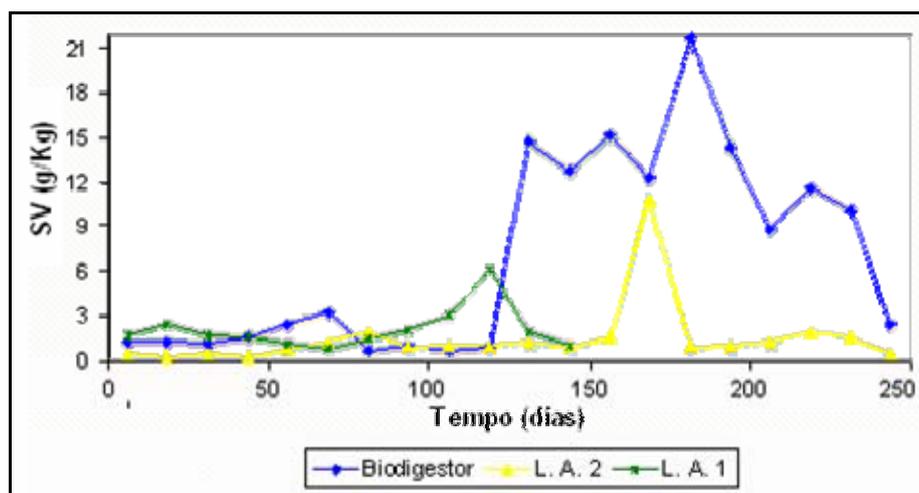


Figura 5.7: Evolução dos SV em cada unidade dos sistemas de armazenamento.

Oliveira (1991) cita como valor médio de sólidos voláteis, para uma ótima produção de biogás na degradação de dejetos suínos, de cerca de 70%, valor este aquém dos resultados médios obtidos nas análises para o biodigestor onde a média fica em torno de 73%. A temperatura apresenta-se como parâmetro limitante para a degradação desta alíquota de sólidos e também na transformação destes em biogás.

Os valores máximos encontrados para sólidos voláteis foram de 21,76; 10,86 e 6,15 g SV/kg para o biodigestor, L.A.2 e L.A.1 e as médias de remoção foram de cerca de 87,01; 97,21 e 96,40%. Comparando-se os resultados de SV com os de SF, conclui-se que, preponderantemente, o dejetos suíno apresenta alto grau de biodegradabilidade, ou seja, a quantidade de compostos e substâncias recalcitrantes no afluente é mínima favorecendo a utilização de sistemas biológicos de tratamento e/ou armazenamento.

5.1.4 Sólidos decantáveis (Ssed) e densidade (γ)

O dejetos bruto apresentou concentração máxima de 1000 mL/L de Ssed. onde foi observado uma leve expansão do volume, dentro do período analítico de uma hora, devido à intensa produção de gases; a mínima concentração observada foi de cerca de 280 mL/L. O biodigestor apresenta concentrações máximas e mínima de cerca de 750 e 5 mL/L e as lagoas ficaram na estreita faixa de cerca de 2 a 60 mL/L para a L.A.1, e 1 a 6 mL/L para a L.A.2. Este parâmetro fornece uma estimativa para o volume de sólidos que se acumulará, por efeito da gravidade, no fundo das unidades de armazenamento. A evolução desses resultados mostra que o dejetos bruto ficou menos concentrado e menos denso a partir do 153º dia de monitoramento e os efluentes aumentaram seu teor de Ssed. No 128º e 197º dia de monitoramento obteve-se o valor da ordem de 750 mL/L.

A densidade não foi um parâmetro monitorado continuamente no sistema e alguns resultados foram medidos pelo próprio produtor. O valor máximo obtido foi de cerca de 1085 Kg/m³ e o valor mínimo foi de 1.021 kg/m³, apontando para uma média de 1052 kg/m³, para o dejetos bruto com desvio padrão igual $\pm 30,53$. A Tab. 5.1 apresenta os resultados de densidade coletados durante 296 dias.

Os motivos pelos quais a densidade foi realizada são a possibilidade de comparar os resultados deste parâmetro com a os resultados dos nutrientes e comparar a pratica de laboratório com a rotina da propriedade para verificar a qualidade do dejetos para aplicação no solo.

Tabela 5.1: Resultados de densidade para o dejetto bruto, medidos em campo.

Data	10/11/03	01/03/04	25/03/04	22/04/04	20/07/04	01/09/04
γ (kg/m³)	1021	1076	1085	1078	1028	1024

Segundo Perdomo *et al.* (2003), uma densidade igual a 1085 kg/m³, como a medida no dia 25/03/04, apresenta valores de MS, PO₄-P, NTK-N da ordem de 18,77% (igual a 188 g/kg de ST); 13 kg/m³ e 13 kg/m³ respectivamente. O calculo de ST, PO₄-P e NTK-N através da densidade é uma estimativa prática utilizada para a aplicação do dejetto na lavoura segundo o autor. Entretanto, a análise dos resultados medidos em campo diverge bastante, pois, para a mesma densidade obteve-se 2,5 g/kg de PO₄-P e 1,5 g/kg para NTK-N, bastante aquém dos resultados estimados por Perdomo *et al.* (2003). Uma das possíveis justificativas seria o fato, já mencionado anteriormente, de que as coletas para o dejetto bruto foram realizadas após uma homogeneização manual efetuada na caixa de passagem e em seguida era feita a coleta com balde. A fim de evitar ao máximo que a amostragem tivesse características de sobrenadante. Quanto aos ST, esse parâmetro apresentou proximidades com os resultados estimados pelo autor onde, para a mesma data obteve-se 192 g/kg.

O dejetto bruto apresenta resultados de sólidos sedimentáveis e de densidade muito altos se comparados com os resultados do efluente das lagoas de armazenamento, por este motivo estes parâmetros servem como indicativo para outros parâmetros, não sendo tão significativos na avaliação dos sistemas.

5.1.5 DQO_t e DBO₅

A DBO₅ e a DQO_t são parâmetros que descrevem a situação do dejetto com relação a sua concentração carbonácea e são de suma importância para avaliar a eficiência e a eficácia dos sistemas de armazenamento em questão e que fornecem uma noção da quantidade de matéria orgânica que é volumétrica no solo.

O comportamento da DQO_t e da DBO₅ afluente nos 246 dias de operação permite a consideração de que o dejetto da suinocultura apresenta características pouco peculiares a outro tipo de efluente. A média de concentração para a DQO_t do dejetto bruto ficou em torno de 85 g DQO/kg onde, a partir do 278º dia, os resultados foram predominantemente abaixo da média tendo como período de concentração máxima o

128º dia da segunda etapa que foi igual a 171 g DQO/kg e período de concentração mínima de 21 g DQO/kg ocorrido no último dia de monitoramento desta pesquisa. Para a DBO_5 a média foi de cerca de 23 g DQO/kg, onde as coletas que se destacaram como concentração máxima e mínima apresentaram 38 g DQO/kg, referente ao 65º dia de monitoramento e 12,26 g DQO/kg referente ao 162º dia.

Após a implantação dos bebedouros ecológicos (7ª coleta), no período analisado por Henn (2005), a concentração deste se elevou muito, tanto para DQO_t quanto para DBO_5 . A média de resultados anteriores a implantação foi igual a 44 e 20 g/kg para DQO_t e DBO_5 , valores menores do que os encontrados no decorrer desta pesquisa assim como nos primeiros 150 dias analisados por Henn, 2005 (primeira etapa).

As Fig. 5.8 e 5.9 apresentam as concentrações de DQO_t , DBO_5 e suas respectivas médias, para o dejetos afluentes ao longo do período estudado.

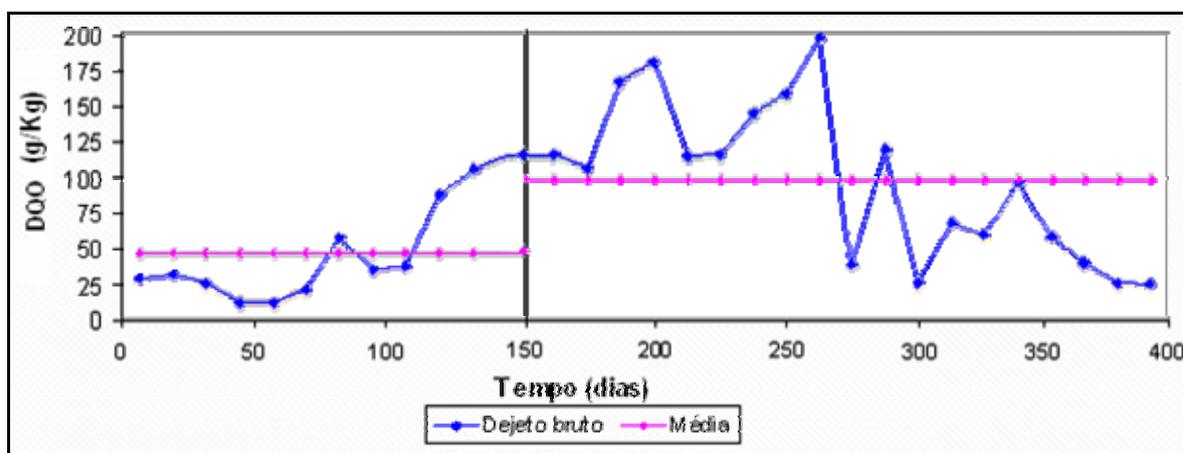


Figura 5.8: Comportamento evolutivo da DQO_t afluente, média nas etapas estudadas.

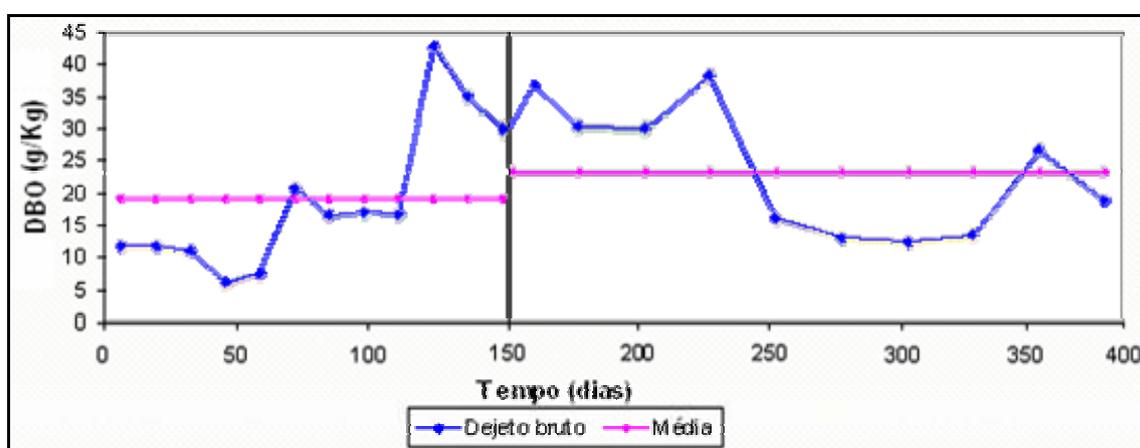


Figura 5.9: Comportamento evolutivo da DBO_5 afluente, média nas etapas estudadas.

Do 150° ao 278° dia apresentaram-se os maiores resultados de DQO_t tendo valor máximo equivale a 171 g de DQO/Kg e a média dos últimos 246 dias foi de cerca de 85 g de DQO/Kg . Henn (2005) obteve média de 42 g de DQO/Kg onde o valor máximo para este parâmetro foi encontrado na última coleta, sendo igual a 101 g de DQO/Kg .

A DBO_5 média encontrada por Henn (2005), foi de cerca de 19 g de DBO_5/Kg e neste trabalho chegou-se um valor igual a 23 g de DBO_5/Kg . O período de tempo caracterizado entre o 150° e o 250°, assim como para a DQO_t , expõe as maiores concentrações que variaram de 29 a 38 g de DBO_5/Kg , acima da média de 23 g de DBO_5/Kg . Os valores máximos encontrados por Henn (2005), para este parâmetro caracterizam o final de suas análises e ficam em torno de 30 a 43 g de DBO_5/Kg .

Nas unidades seqüentes o comportamento da DQO_t foi bastante variado, entretanto esses valores foram reduzidos por mais de 90% na maioria das coletas em relação ao dejetto bruto, as concentrações médias para o efluente do biodigestor, da L.A.1 e da L.A.2, foram de cerca de 8,50; 2,86 e 1,29 g de DQO_t/kg respectivamente.

Na análise gráfica, nota-se que a partir do 278° dia a concentração do efluente aumenta consideravelmente e este dado se torna mais expressivo devido à concentração do dejetto bruto ter apresentado resultados abaixo da média a partir deste período. O efluente da L.A.1 apresenta maior concentração nas coletas iniciais seguindo com resultados muito próximos da média, garantindo uma boa remoção de carga do dejetto. Para a L.A.2, que é alimentada com o efluente do biodigestor, essa remoção teve seu ápice no 339° dia apresentando 93% de remoção carbonácea. Ainda para a L.A.2 a análise gráfica demonstra com clareza que a concentração, durante todo o período estudado, não ultrapassou o valor máximo de 2,66 g/kg de DQO_t , a qual, além de proporcionar uma melhor remoção de carga orgânica também apresentou melhor homogeneidade de resultados suportando bem as variações de cargas volumétricas no sistema como um todo.

A Fig. 5.10 apresenta a performance da concentração efluente de DQO_t durante o período estudado nas três unidades de armazenamento.

O comportamento da DBO_5 no biodigestor, na L.A.1 e na L.A.2 apresentou uma oscilação muito grande e todas as unidades apresentaram picos de valores muitos distintos de difícil relação com a DQO_t , porém pode-se observar ainda algumas coincidências nos resultados de coletas e unidades de armazenamento específicas. As

coletas realizadas na L.A.1, apresentam variações de resultados de DBO_5 condizentes com as concentrações de DQO_t tomando como base os mesmos períodos de avaliação. Uma boa remoção da concentração carbonácea em termos de DBO_5 foi apresentada pela L.A.2 se comparado com os seus resultados de concentração afluente a remoção fica em torno de 98%. A Fig. 5.11 exibe a performance da concentração efluente DBO_5 durante o período estudado nas três unidades de armazenamento.

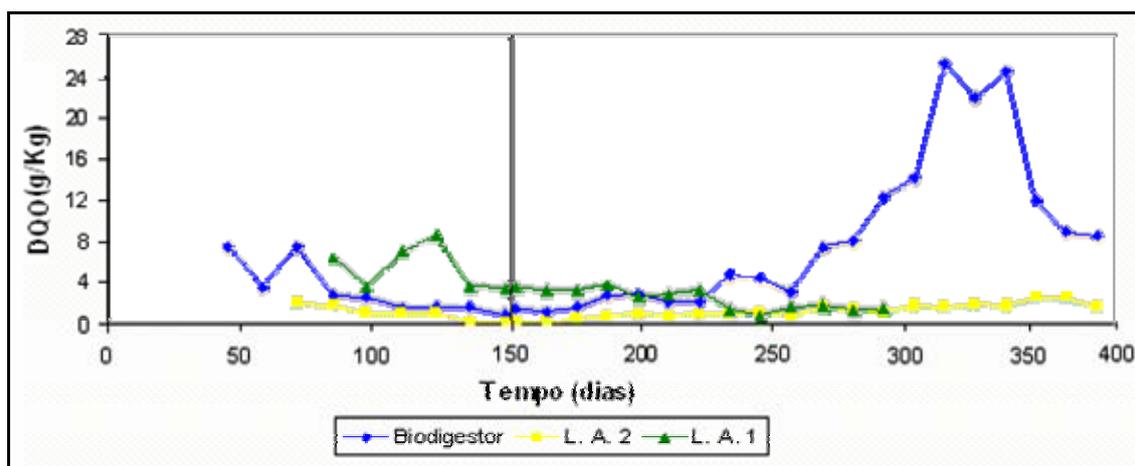


Figura 5.10: Evolução da DQO_t no efluente em cada unidade, nas duas etapas.

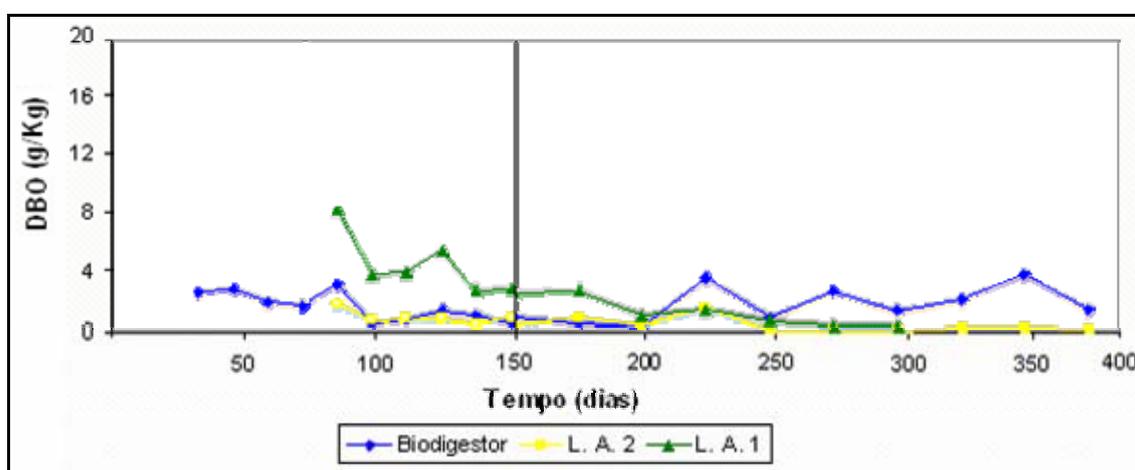


Figura 5.11: Evolução da DBO_5 no efluente em cada unidade, nas duas etapas.

A análise de DBO_5 foi utilizada em metade das coletas, entretanto este teste exibiu um grande número de limitações, pois a DBO_5 é comprometida pela toxidez de metais pesados (o cobre, por exemplo, que é constituinte da alimentação do suíno) e de substâncias orgânicas (fenóis e cianeto) assim como a presença excessiva de NH_3-N ,

que segundo Oliveira (1993) inibe a digestão anaeróbia com valores acima de 1.500 mg/L. Estes agentes diminuem a velocidade de oxidação da matéria orgânica, levando a DBO_5 a resultados inferiores aos reais. Tal justificativa pode ser levada em consideração pela baixa média de DBO_5 encontrada no período analisado.

Henn (2005) obteve resultados do monitoramento do comportamento de partida dos sistemas de armazenamento somente a partir do 26º dia para o biodigestor e para as lagoas a partir do 55º a média dos resultados de DQO_t e DBO_5 foi de 3,7 e 1,7 g/Kg respectivamente. Para ambos os parâmetros, os primeiros 150 dias mostram que o sistema estava em processo de estabilização e nos 246 dias seqüentes observa-se uma harmonia nos resultados os quais variaram sobre uma constante muito parecida. O caso específico da variação crescente da concentração de DQO_t no efluente a partir do 128º dia reflete as conseqüências de sobrecarga no sistema após a inutilização da L.A.1 que data do mesmo período.

Relação DBO_5/DQO_t

O efluente exibe valores baixos para a relação DBO_5/DQO_t nas lagoas de armazenamento, os quais apresentaram resultados de cerca de 0,46 para a L.A.1 e para o efluente da L.A.2 em torno de 0,30. Desta forma pode-se enquadrar os resultados como fermentáveis, necessitando de fontes selecionadas de microorganismos. O efluente do biodigestor que foi igual a 0,27; também se enquadra dentro do domínio fornecido por Rousseaux (1993) citado por Gosmann (1997), que varia de 0,2 a 0,6; porém num valor muito próximo ao limite inferior.

Entretanto os resultados de remoção de matéria orgânica vão de encontro a essa relação, pois o biodigestor reduziu em média 81%, a L.A.1 de cerca de 96% e a L.A.2 em torno de 97% da concentração de matéria orgânica, não aparentando dificuldades para a degradação, o que leva a concluir, para este caso, e especificamente sob as condições de coleta e análise, essa relação não é aplicável.

Pode-se trabalhar também com a relação DQO_t/DBO_5 , que varia à medida que o dejetos passa pelas unidades do sistema de armazenamento. A relação tende a aumentar devido a redução paulatina da fração biodegradável ao passo que a fração inerte é degradada sob uma constante de velocidade muito lenta. Assim o afluente expôs valores

da relação DQO/DBO5 igual a 3,67 e, como esperado, 4,72 para o efluente do biodigestor.

5.1.6 Nitrogênio total Kjeldahl (NTK-N)

Vale ressaltar de imediato que, para esta análise, as amostras foram congeladas devido a problemas no aparelho digestor e no Scroubber, para tratamentos dos gases gerados, adiando cerca de 6 meses as análises, provocando o descarte das amostras que tinham mais de 4 meses de armazenamento e não foram devidamente congeladas.

Os resultados médios obtidos para esta análise foram de 1,60 g NTK/kg para o dejetto bruto; 0,86 g NTK/kg para o efluente do biodigestor; 0,52 para L.A.1 e 0,25 NTK/kg para a L.A.1. As Fig. 5.12 e 5.13 apresentam a performance desse parâmetro no dejetto bruto e nas unidades de armazenamento.

O teor máximo encontrado para o dejetto bruto foi de cerca de 2,4 g NTK/kg e o mínimo foi de cerca de 0,85 g NTK/kg. Para as demais unidades a concentração máxima foi igual a 2,9 g NTK/kg para o biodigestor 0,5 g NTK/kg para a L.A.1 e 0,46 g NTK/kg para a L.A.2. O 209º e o 218º dias são caracterizados por apresentar maior concentração efluente do que afluente, isso ocorre caracterizando acúmulo desse nutriente no interior do sistema de armazenamento. As lagoas de armazenamento não apresentam resultados com a mesma justificativa, devido a grande parte do nitrogênio estar adsorvido na matéria orgânica em sua forma mineral, sedimentada no fundo das lagoas.

A L.A.1 apresentou melhores resultados de armazenamento do dejetto para NTK-N, com média de cerca de 19,5%, apesar de ser um valor baixo para uma lagoa que tem por objetivo manter o potencial nutritivo do dejetto esse valor representa somente a parcela de NTK-N referente ao sobrenadante. O biodigestor apresentou valor de acúmulo da ordem de 46,4% e para a L.A.2, o resultado foi de cerca de 18%. Ou seja, apenas esses percentuais de nitrogênio foram identificados na caracterização do dejetto armazenado nas unidades, em relação a concentração do dejetto bruto.

Henn (2005) encontrou média de resultados na caracterização do dejetto bruto de cerca de 1,7 g NTK/kg próximo ao valor encontrado nos últimos 246 dias de monitoramento que foi igual a 1,6 g NTK/kg. Somente na 10ª e na 11ª coleta desse autor obteve-se resultados que se distanciam da média e de maneira geral, a avaliação do

período total de 396 dias apresenta um afluente de característica homogênea ao longo do tempo.

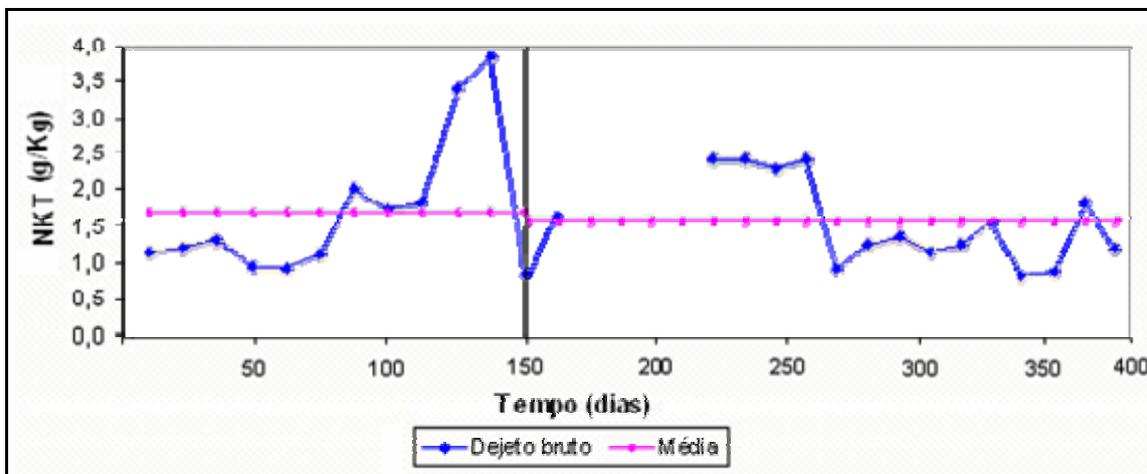


Figura 5.12: Evolução do NTK-N afluente e média nas etapas estudadas.

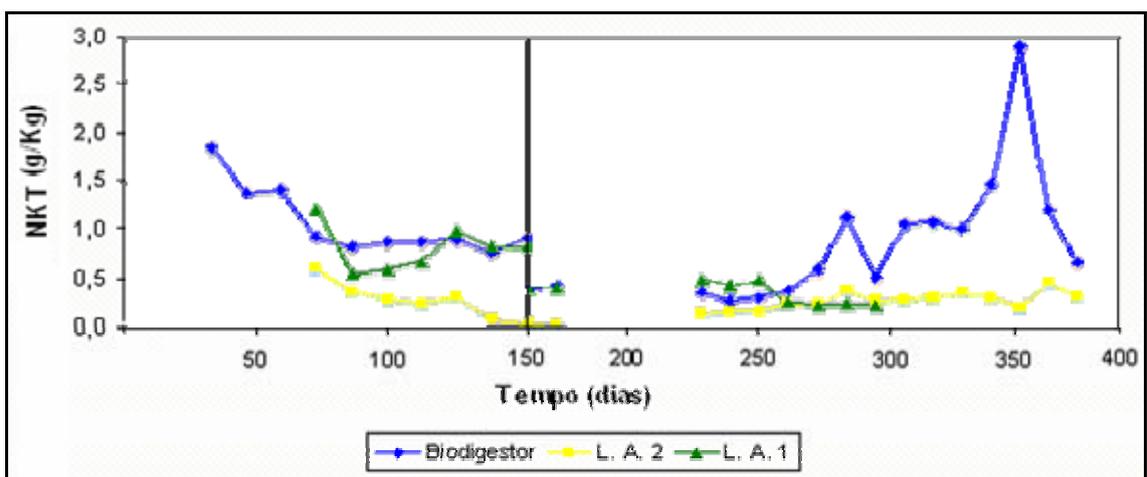


Figura 5.13: Evolução do NTK-N em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.

5.1.7 Nitrogênio amoniacal

Este pode estar presente no dejetos na forma de $\text{NH}_3\text{-N}$ ou na forma iônica, ($\text{NH}_4^+\text{-N}$). Como a média de pH foi de 7,41 para o biodigestor, 7,61 para a L.A.1 e 7,92 para a L.A.2, levando-se em consideração que para um pH igual a 7,0 apenas 7% do nitrogênio amoniacal estaria na forma $\text{NH}_3\text{-N}$, acredita-se que grande parte deste (mais de 70%) esteja sob a forma mineralizada. A média de resultados encontrados para dejetos bruto foi de cerca de 1,19 g de NH_4^+ /kg e as unidades subsequentes os valores foram da

ordem de 0,80 g de NH_4^+ /kg para o biodigestor; 0,66 e 0,57 para as lagoas de armazenamento 1 e 2. As três unidades de armazenamento apresentam valores médios de NH_4^+ muito acima dos tidos como limitantes para a normal atividade microbiana na degradação da matéria orgânica; contudo, os valores de pH garantem que a amônia apresenta-se predominantemente na forma iônica e não na forma de $\text{NH}_3\text{-N}$, que poderia inclusive, prejudicar a produção de biogás.

O teor máximo de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ encontrado para cada unidade foi de cerca de 1,82 g de NH_4^+ /kg para o afluente; 1,74 g de NH_4^+ /kg para o efluente do biodigestor; 1,97 g de NH_4^+ /kg para a L.A.1 e 2,25 g de NH_4^+ /kg para a L.A.2.

A Fig. 5.14 exhibe a performance do nitrogênio amoniacal no dejetto bruto, permitindo identificar que os 128 primeiros dias, com exceção do 28º dia (3ª coleta), estão acima da média de resultados. Da mesma forma, a Fig. 5.15 apresenta a performance dos resultados de NH_4^+ nas três unidades de armazenamento, mostrando que a partir do 50º dia da o efluente do biodigestor e das lagoas varia bastante e, se comparado com a Fig. 5.14 percebe-se que a maioria dos resultados de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ referentes às lagoas de armazenamento e o biodigestor são maiores que os de NTK-N.

Como justificativa para este acontecimento atribui-se o fato das amostras permanecerem muito tempo armazenadas. De maneira geral percebe-se que a coleta de superfície prejudica a fiel quantificação no nitrogênio, tanto o NTK-N quanto o $\text{NH}_4^+\text{-N}$ apontando valores abaixo dos encontrados por Gosmann (1997) e Oliveira (1991) o que implica em problemas com a metodologia de coleta.

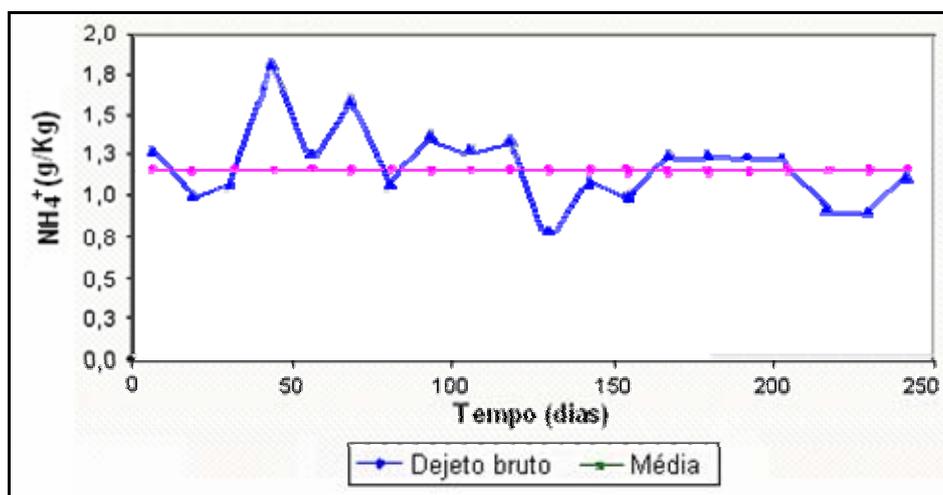


Figura 5.14: Evolução do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ afluente e média na etapa estudada.

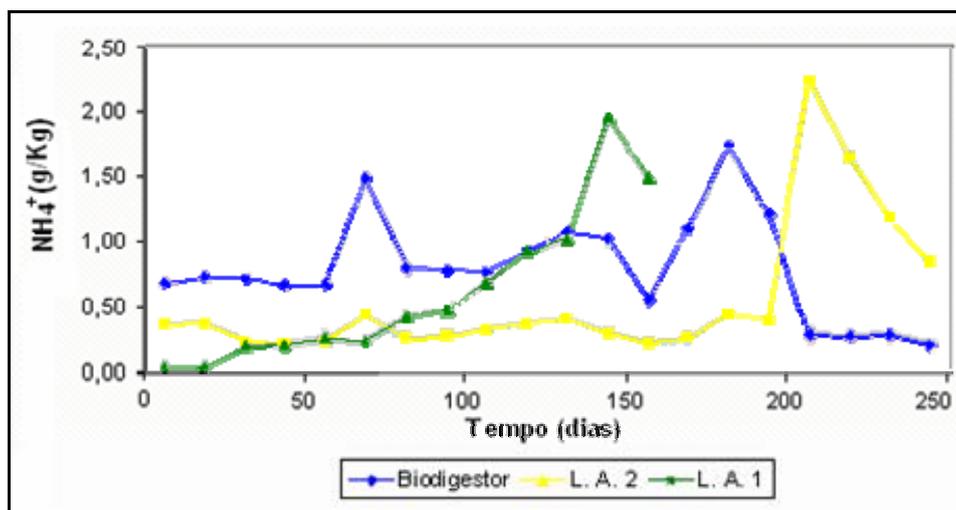


Figura 5.15: Evolução do NH_4^+ -N em cada unidade dos sistemas de armazenamento.

5.1.8 Fósforo total ($\text{PO}_4\text{-P}$)

Este nutriente apresentou porcentagem de acúmulo nos sistemas de cerca de 58% para o biodigestor, 3,1 e 6,5% para as lagoas 1 e 2 respectivamente. Resultados que refletem uma concentração efluente muito baixa e inesperada para sistemas de armazenamento, embora caracterizem o efluente sobrenadante das lagoas. Como justificativa, pode-se usar os valores expressos por Scherer (1995) citado por Gosmann (1997) onde 2/3 do $\text{PO}_4\text{-P}$ estaria sob a forma de sais insolúveis como o P_2O_5 e apenas 1/3 na condição de $\text{PO}_4\text{-P}$, solúvel no dejetos líquido. O biodigestor sustenta resultados médios condizentes com os encontrados na literatura pesquisada e os teores máximos encontrados para o $\text{PO}_4\text{-P}$ nesta unidade e nas lagoas 1 e 2, foram respectivamente 0,79 g $\text{PO}_4\text{/kg}$ no 218º dia; 0,24 g $\text{PO}_4\text{/kg}$ no 162º dia e 0,14 g $\text{PO}_4\text{/kg}$ também no 162º dia de monitoramento. O dejetos bruto apresenta valor de cerca de 1,92 g $\text{PO}_4\text{/kg}$ na 4ª coleta.

De acordo com Metcalf & Eddy (2003) o pH possibilita a transformação do $\text{PO}_4\text{-P}$ em P_2O_5 a medida que o meio se torna mais alcalino, e como já mencionado anteriormente, a média de pH para cada unidade foi da ordem de 7,41 para o biodigestor; 7,92 para a L.A.2 e 7,61 para a L.A.1, ou seja, levemente alcalino e devido esta propriedade, o fosfato tende a se apresentar na forma mineralizada (P_2O_5), o que ajuda a justificar os baixos resultados para o fosfato na forma solúvel ($\text{PO}_4\text{-P}$).

As Fig. 5.16 e 5.17 apresentam a performance do fósforo no dejetto bruto e jusante às unidades de armazenamento.

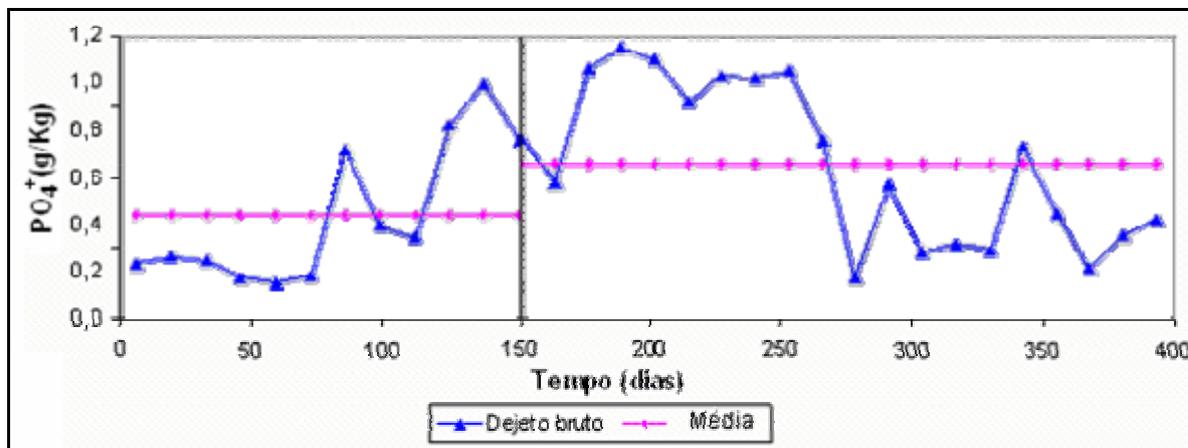


Figura 5.16: Evolução do $\text{PO}_4\text{-P}$ afluyente e média nas etapas estudadas.

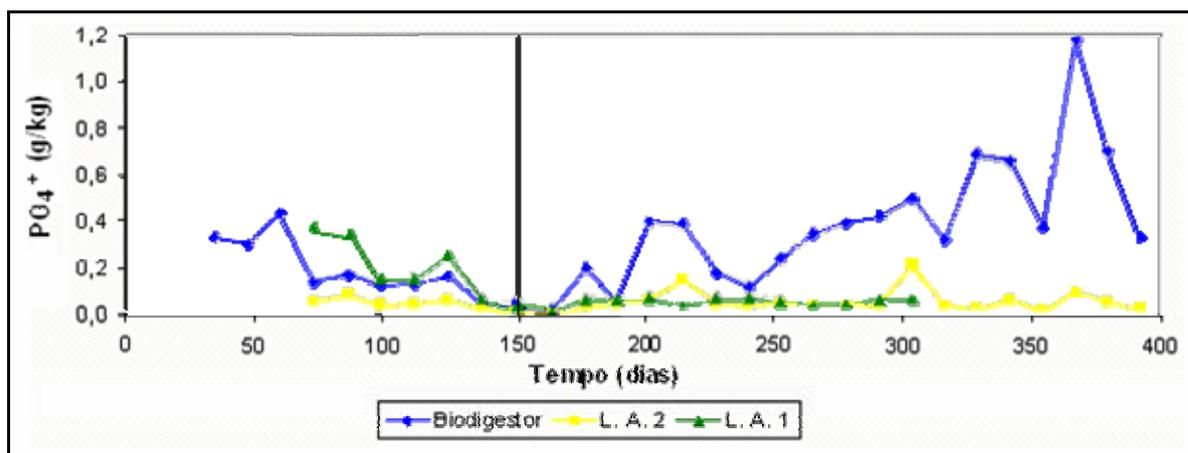


Figura 5.17: Evolução do $\text{PO}_4\text{-P}$ em cada unidade dos sistemas nas etapas estudadas.

O resultado médio nos primeiros 150 dias foi de cerca de 0,75 g PO_4/kg e nos seqüentes 246 dias foi em torno de 1,1 g PO_4/kg , ou seja, este parâmetro também sofreu interferências do aumento da concentração do dejetto devido a implantação dos bebedouros ecológicos, porém a variação não é tão expressiva quando leva-se em consideração a análise dos resultados a partir do 149º dia do segundo período.

A concentração média de C/N, que pode ser expressa na forma de DQO_t/NTK , foi da ordem de 40/1, acima do valor recomendado por Oliveira (1993) igual a 30/1.

Com o incremento do fósforo a relação média de C/N/P é aproximadamente em torno de 80/2/1.

5.1.9 Atividade metanogênica específica (AME)

Cada uma das triplicatas apresentara resultados dentro de uma semelhante linearidade. O gráfico plotado na Fig. 5.18 exhibe a produção de biogás em horas de ensaio do teste AME para a amostra do 62º dia de operação

O resultado do teste AME está expresso na Tab. 5.2 o qual pode-se comparar com o valor médio obtido por Henn (2005), sobre a análise do inóculo para o mesmo biodigestor, que foi da ordem de 0,0331 g DQO-CH₄/ g STV.dia. Esta relação apresenta um aumento de 146,83% da atividade metanogênica dentro do período de tempo caracterizado pelo início do experimento de Henn (2005), igual a 150 dias, até o dia 62º dia de análise do estudo (01 abril de 2004), totalizando 212 dias entre o primeiro e o último teste AME realizado nesse biodigestor.

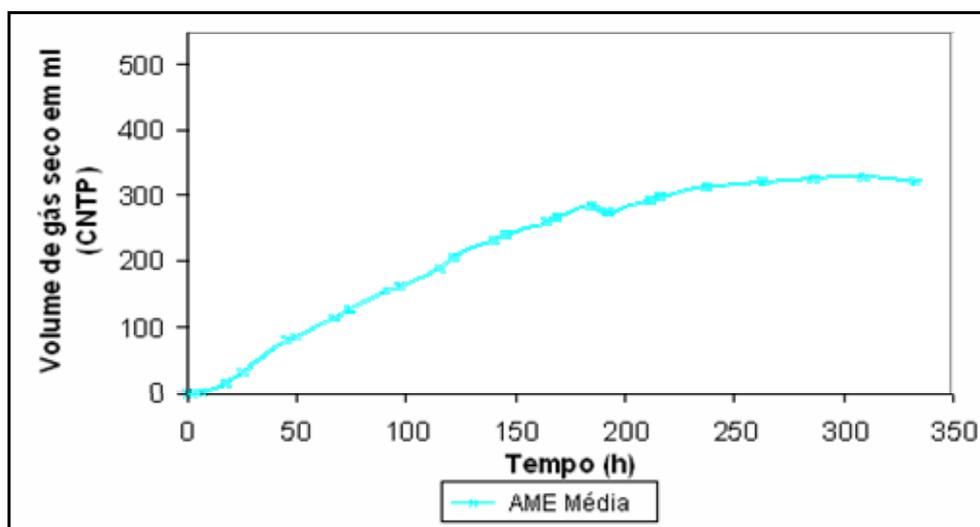


Figura 5.18: Média de produção acumulada de metano para a amostra de lodo em triplicata.

Tabela 5.2: Resultado do teste AME do lodo do biodigestor.

Atividade Metanogênica	L CH ₄ /g STV.d	g DQO-CH ₄ / g STV.d
Lodo	0,0170	0,0486

Obs.: 1 g DQO-0,35 LCH₄ (CNTP)

Comparando o resultado obtido em L CH₄/g STV.d, que foi igual a 0,017 com os encontrados por Pinto (2000), analisando percolado de resíduos sólidos urbanos, que foram da ordem de 0,13 L CH₄/g STV.d, nota-se que a atividade para dejetos suínos é muito baixa em relação aos resíduos sólidos urbanos.

Rita (2002), trabalhando também com resíduos sólidos urbanos na análise do percolado, na unidade g DQO-CH₄/ g STV.d, encontrou resultado médio do teste AME igual a 0,40 g DQO-CH₄/ g STV.d, também bastante acima do encontrado para dejetos suínos que foi da ordem de 0,0486 g DQO-CH₄/ g STV.dia.

A análise comparativa entre os resultados do teste AME para lodo de sistemas de armazenamento de dejetos suínos e percolado de resíduos sólidos urbanos mostra que a potencialidade de conversão do dejetos em biogás é baixa, entretanto, os resultados do teste AME para lodo provenientes de digestores de dejetos suínos, mesmo estando aquém dos resíduos sólidos urbanos, se equivale ao encontrado por Brummeler (1993) que analisou o inóculo com dejeções suínas e encontrou resultados da ordem de 0,0142 L CH₄/g STV.dia.

5.1.10 Microscopia óptica

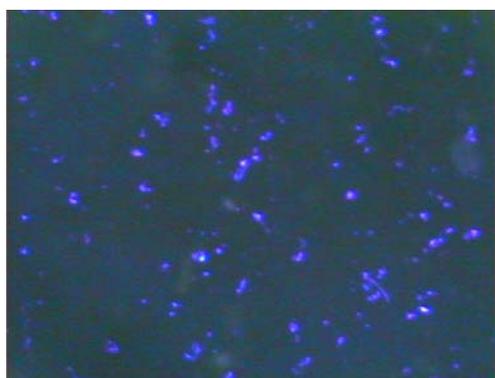
Os exames microbiológicos, realizados no 129° e no 223° dia de operação da segunda etapa, mostram a possível presença de colônias de bactérias metanogênicas no lodo do biodigestor e apresentam também a estrutura dos flocos.

A Fig. 5.19 (a) apresenta uma provável identificação de bactérias metanogênicas ativas (atividade atual) na biomassa coletada após o 129° dia de operação da segunda etapa. Essa identificação está fundamentada na propriedade que as mesmas (ou de enzimas metanogênicas) tem de refletir a luz. Pinto (2000) e Montenegro (2001) analisando lodo de reatores anaeróbios observaram semelhantes resultados de possíveis colônias de bactérias metanogênicas ativas.

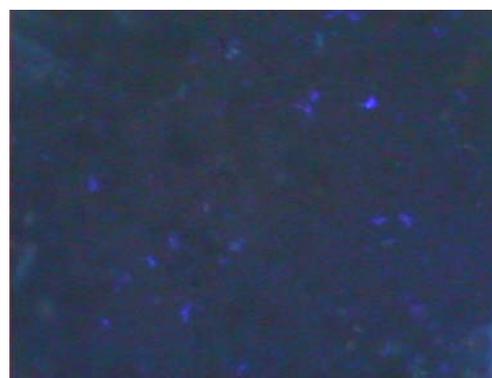
Para a mesma coleta realizou-se também a microscopia sob luz comum visualizando a estrutura dos flocos presentes na biomassa, pois o lodo não se encontra granulado. Percebe-se um comportamento tendencioso a formação de grânulos (Fig. 5.20 (b)), entretanto esta avaliação permite concluir que o biodigestor encontrava-se em processo de estabilização. A Fig. 5.20 (a) mostra a existência de bactérias livres na

biomassa o que é desfavorável, pois, devido o fato de não decantarem, são comumente retiradas dos sistemas após as descargas de saída do sistema. Outro ponto negativo da presença de bactérias livres no biodigestor se dá através das características do efluente final que apresenta maior concentração de sólidos (totais, fixos e voláteis), DQO_t, nitrogênio e fósforo.

A análise do 223º dia da segunda etapa ficou caracterizada como o período experimental onde somente uma pequena quantidade de colônias foi observada, fato este que pode estar relacionado com a baixa produção de biogás no biodigestor no mesmo período apresentado nas análises cromatográficas. A Fig. 5.19 (b) apresenta a microscopia de fluorescência no 223º dia, da segunda etapa.

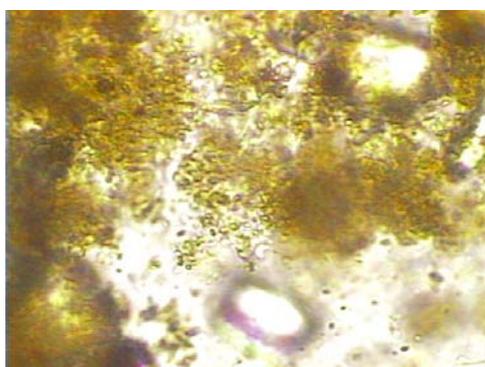


a)

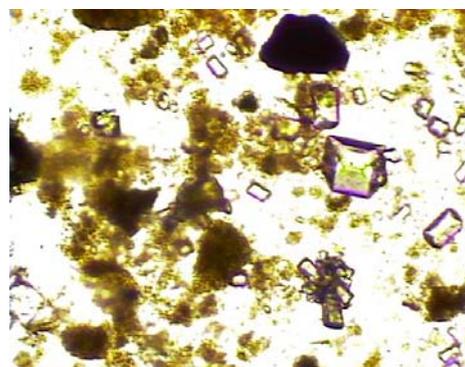


b)

Figura 5.19 (a) Microscopia de fluorescência do lodo (aumentado 100 x) com 129 dias de operação do biodigestor; (b) microscopia de fluorescência do lodo (aumentado 100 x) com 223 dias de operação do biodigestor, ambos os períodos da segunda etapa.



a)



b)

Figura 5.20: Microscopia de luz comum aos 129 dias de operação (a) verificação de bactérias livres (aumento de 400 x); (b) forma dos flocos e início da concepção de pequenos grânulos (aumento de 100 x), ambos os períodos da segunda etapa.

5.1.11 Cromatografia gasosa

Foram realizadas três coletas de gás, armazenados e analisados conforme descrito no item 4.7.8 no Cap. 4. A Tab. 5.3 Apresenta os resultados das concentrações e exibe a primeira coleta de biogás como a de maior quantidade de metano (CH₄) durante o período estudado. O resultado médio para a concentração de metano no biogás foi de cerca de 51,18% e, conseqüentemente, para o dióxido de carbono (CO₂) foi da ordem de 48,84%, (com desvio padrão da produção de CH₄ igual a $\pm 12,48\%$), valores que indicam um funcionamento bom da produção de biogás, pois, de acordo com Paula Jr. *et al.* (2003) a produção ideal de metano ao domínio de 50 a 75% de CH₄. A medição do volume diário de biogás produzido pelo biodigestor no período das coletas especificadas, foram realizadas através da leitura direta em um rotâmetro acoplado ao biodigestor, a média desse resultado foi de 32 m³/dia.

Tabela 5.3: Concentrações de CH₄ no biogás.

Concentração	28/mai	18/jun	1/jul
CH ₄	65,15%	55,97%	42,09%
CH ₄	67,94%	51,61%	28,21%
CH ₄	54,24%	52,47%	42,97%
Média CH₄	62,68%	53,35%	37,76%
Desvio padrão σ	$\pm 7,23\%$	$\pm 2,30\%$	$\pm 8,27\%$

O dejetto bruto aplicado no biodigestor apresentou carga orgânica volumétrica de sólidos voláteis totais (SVT) da ordem de 2,3 g SVT/Kg.d para a primeira, 0,5 g SVT/Kg.d para a segunda e 0,3 g SVT/Kg.d para a terceira coleta de biogás.

Analisando o fator produção de CH₄, relacionando carga volumétrica de SVT com a média dos períodos apreciados para a concentração de metano, verifica-se que a redução da carga de aplicação de STV coincidentemente ocorreu de maneira conjunta com o decaimento da produção de biogás que teve sua concentração em metano reduzida ao passo que a carga de STV foi diminuída como ilustra a Fig. 5.21, entretanto não há uma relação efetiva nisto.

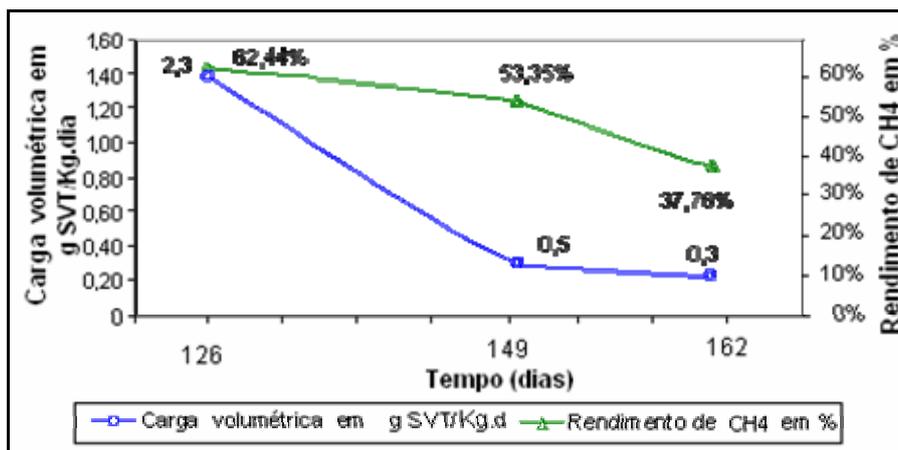


Figura 5.21: Carga volumétrica de SVT em g/Kg.d e rendimento de CH₄ em %.

5.2 Interferência sazonal

5.2.1 Variação da temperatura nas unidades de armazenamento

Os resultados médios de temperatura do dejetto bruto e efluentes do sistema de armazenamento, medidos nos dias de coleta foram de 20,97 para o afluente, 22,79°C para a L.A.1, 21,34°C para o biodigestor e de 21,21°C para a L.A.2. As temperaturas mais baixas foram de 16,7°C para a L.A.1, 16°C para o biodigestor e de 16,7°C para a L.A.2 e as mais altas foram de 26,5°C para a L.A.1, 26,6°C para o biodigestor e de 27°C para a L.A.2 todas medidas pela manhã entre 10 e 11 horas. A Fig. 5.22 expõe a evolução da temperatura no dejetto bruto, no biodigestor e nas duas lagoas de armazenamento no período analisado. Nota-se que a variação entre as unidades analisadas foi homogênea, ou seja, não houve discrepância de valores e todos os resultados variaram obedecendo a uma constante muito semelhante.

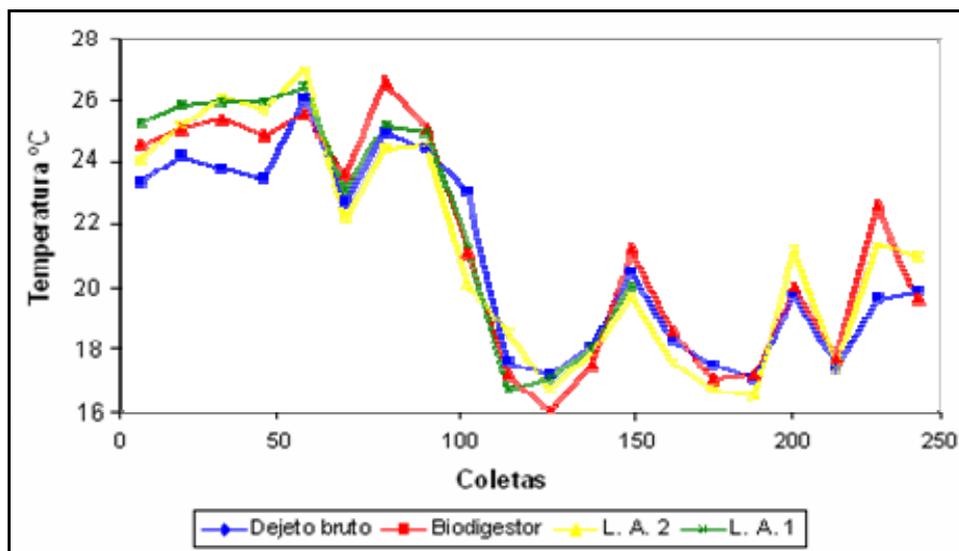


Figura 5.22: Evolução da temperatura no dejeito bruto e nos sistemas de armazenamento.

5.2.2 Avaliação da interferência da temperatura ambiente

A abordagem deste tópico se torna de suma importância quando se estabelece uma relação imediata entre as temperaturas medidas nas unidades de armazenamento e as encontradas no ambiente. A Fig. 5.23 demonstra a evolução da temperatura ambiente no decorrer dos 246 dias de análise (EPAGRI/CLIMERH, 2005).

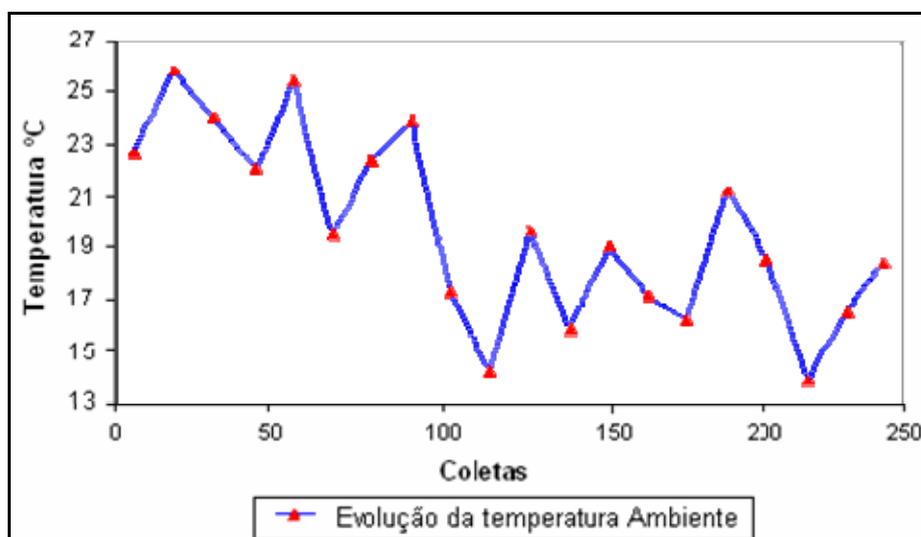


Figura 5.23: Evolução da temperatura ambiente na região estudada.

O comportamento desta variável foi característico das estações do ano estudadas (metade do verão, outono e inverno), entretanto, para as temperaturas médias diárias

apresentadas, somente na 10^a e 18^a coleta a temperatura ambiente foi abaixo de 15°C, caracterizando um ambiente favorável para as bactérias psicrófilas prejudicando a digestão anaeróbia, conseqüentemente a degradação da matéria orgânica e a produção do biogás nessas coletas. De acordo com Cohen (1982), Carmo Jr (1998) e Belli Filho *et al.* (2001) em temperaturas abaixo de 15°C as bactérias param de produzir metano, interrompendo o processo e gerando subprodutos que originam maus odores.

Relacionando esses resultados com a Fig. 5.22 que mostra a variação da temperatura do dejetos nas unidades de armazenamento, nota-se que a temperatura ambiente não interferiu a ponto de prejudicar a degradação, pois as temperaturas mínimas foram próximas a 15°C.

Nas demais coletas a temperatura ambiente foi favorável a digestão anaeróbia. A semelhança entre evolução da temperatura ambiente e do dejetos deixa claro que o clima na região é um importante fator a ser estudado na hora de empregar um sistema de digestão anaeróbia para o armazenamento, pois influencia sobremaneira na temperatura dos dejetos nas unidades.

5.3 Vazão de alimentação dos sistemas de armazenamento do dejetos (situações)

Esta avaliação está calcada na observação do comportamento dos parâmetros de monitoramento dos sistemas quando submetidos a testes de carga volumétrica em um determinado período de tempo.

É importante lembrar que o período de duração de cada uma das seis situações testadas nos sistemas e suas respectivas vazões de alimentação foram descritas na Tab. 4.1, citada no Capítulo 4, e que a concentração do afluente aplicado em ambos os sistemas é a mesma, devido a todo dejetos produzido ser encaminhado, por gravidade, para uma caixa de passagem (Fig. 4.3) e a partir daí recalado para os sistemas, levando em consideração o igual período de avaliação para os dois sistemas. Os testes de variação da vazão nas seis situações estão descritos na Fig.5.24.

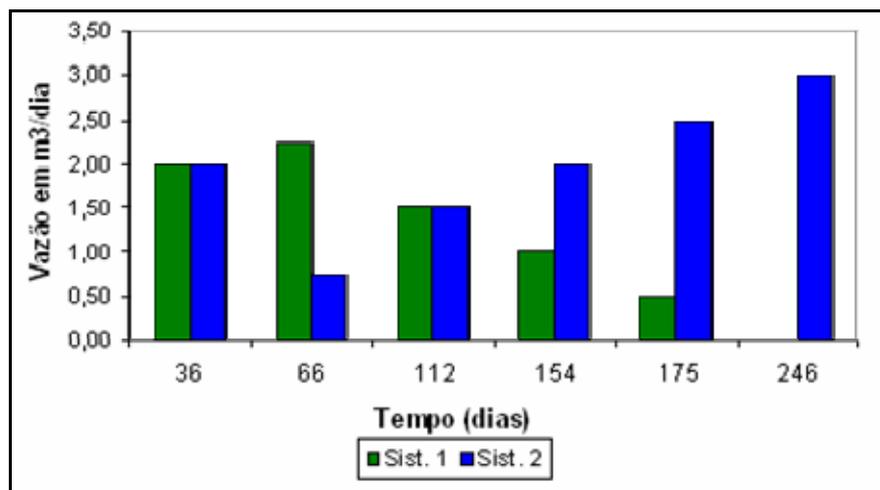


Figura 5.24: Variação da vazão de alimentação dos sistemas de armazenamento.

Pode-se observar que os sistemas foram submetidos a diferentes vazões variando de 0,50 a 3,00 m³/dia. Nota-se que na 6ª situação o sistema 1 não foi alimentado, fato este ocorrido devido a um vazamento no fundo da lagoa de armazenamento 1 (L.A.1), impedindo o funcionamento desse sistemas. Logo, todo dejetto produzido foi recalcado para o sistema 2.

A variada vazão de alimentação dos sistemas e conseqüentemente, as alternadas cargas volumétricas resultaram em diferentes tempos de detenção hidráulicos (TDH) para o biodigestor e tempos de armazenamentos (TA) para as lagoas, onde cada uma varia de acordo com sua respectiva situação e seu volume. As seis situações e os dados de TDH e TA para cada unidade estão descritos na Tab. 5.4.

5.3.1 Concentração (g DQO/Kg) e Carga volumétrica (g DQO/ Kg.d)

Os parâmetros empregados para análise do experimento expõem a evolução do desempenho em diferentes cargas em termos de DQO_t. A média de DQO_t em cada período de alimentação e a carga volumétrica são apresentadas na Tab. 5.5.

Tabela 5.4: Observação dos TDH e TA para cada unidade submetidos as seis situações.

Situações	Variação do TDH e TA em dias		
	L.A.1	Biodigestor	L.A.2
1 ^a	160	60	240
2 ^a	107	120	480
3 ^a	160	60	240
4 ^a	240	45	180
5 ^a	480	36	144
6 ^a	0	30	120

Tabela 5.5: Média afluyente de DQO_t g/Kg e carga volumétrica g/Kg.dia em cada situação.

Situações	DQO _t g/Kg Afluyente	Carga vol. g/Kg. d de DQO _t	
		Sist. 1	Sist. 2
1 ^a	90,9	0,57	0,38
2 ^a	145,7	1,4	0,30
3 ^a	104,5	0,65	0,43
4 ^a	111,3	0,46	0,62
5 ^a	60,4	0,13	0,42
6 ^a	44,4	0,00	0,37

O teor do dejetto bruto, com relação DQO_t, diversificou bastante no período estudado, implicando conseqüentemente numa variação de carga. A 2^a situação fica caracterizada pela maior concentração de dejetto no monitoramento do sistema, entretanto essa carga também sofreu interferências da alteração da vazão, que foi de 2,25 m³/dia para esta situação. A Fig. 5.25 apresenta a evolução da carga no decorrer das situações.

Independentemente de apresentar as maiores vazões na 5^a e 6^a situações, o sistema 2 não apresenta maior carga das situações, pois a concentração média do dejetto havia diminuído para 60,4 e 44,4 g/Kg de DQO_t respectivamente. Como mostram a Tab. 5.5 e a Fig. 5.25, o sistema 2 recebeu as maiores cargas, porém na 2^a situação, o sistema

1 destaca-se, pois obteve a maior aplicação de carga volumétrica durante todas as situações de alimentação do experimento com cerca de 1,4 g/Kg.dia.

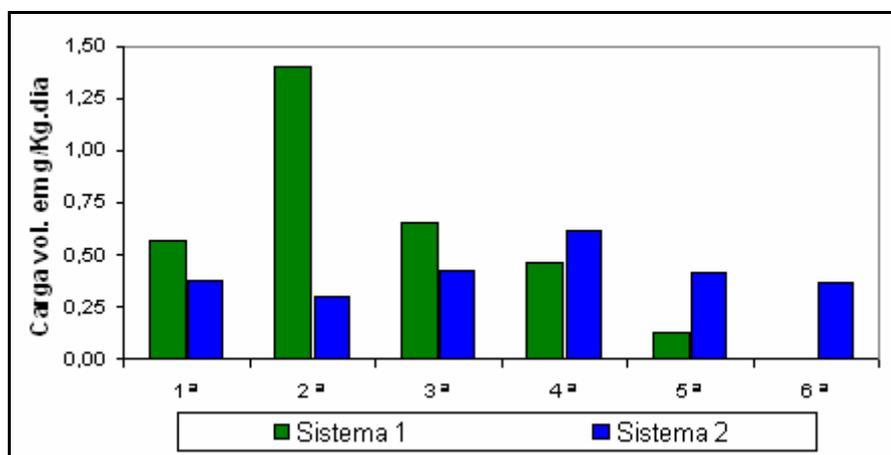


Figura 5.25: Variação da carga nos sistemas de manejos dos dejetos.

Como dito anteriormente, os sistemas não visam o tratamento do dejetos, todavia, a análise dos resultados nos permitiu uma verificação da remoção da matéria orgânica e a constatação de que a concentração do dejetos afluente diminuiu paulatinamente a partir da 3ª situação; por conseguinte, obtém-se uma comparação entre os dois sistemas.

A Tab. 5.6 apresenta os resultados médios de DQO_t efluente nos sistemas por avaliação.

Tabela 5.6: Média dos resultados de DQO_t efluente por situação nos sistemas 1 e 2.

Situações	DQO_t g/Kg Efluente	
	Sist. 1	Sist. 2
1ª	5,40	0,30
2ª	3,27	0,87
3ª	2,47	0,93
4ª	1,44	1,16
5ª	1,24	1,38
6ª	-	2,17

A análise dos dados apresentados na Tab. 5.6 permite concluir que o sistema 2 (composto por um biodigestor e uma lagoa de armazenamento, em série) efetua uma melhor remoção de carga orgânica nas quatro primeiras situações, superado somente na 5ª, onde o efluente do sistema 1 apresenta menor concentração de DQO_t no dejetos manejado. A 6ª avaliação é realizada somente pelo sistema 2 devido a inatividade da lagoa de armazenamento 1.

Na Fig. 5.26 pode ser visto a evolução da DQO_t efluente nas seis situações onde se observa cada unidade armazenamento pertencente aos sistemas 1 e 2. Os resultados se mantêm em uma faixa estreita de DQO_t , compreendida entre 0 e 6,0 g/Kg até a 4ª situação, e a partir da 5ª os resultados no sistema 2, tanto na L.A.2 quanto no biodigestor aumentaram. A 6ª situação é caracterizada pela interrupção abrupta do funcionamento da L.A.1, e pela alta concentração afluenta do biodigestor devido ao armazenamento integral dos dejetos produzidos na propriedade. A L.A.2 suportou bem essa variação mantendo o resultado em um mesmo patamar em relação às outras situações de alimentação.

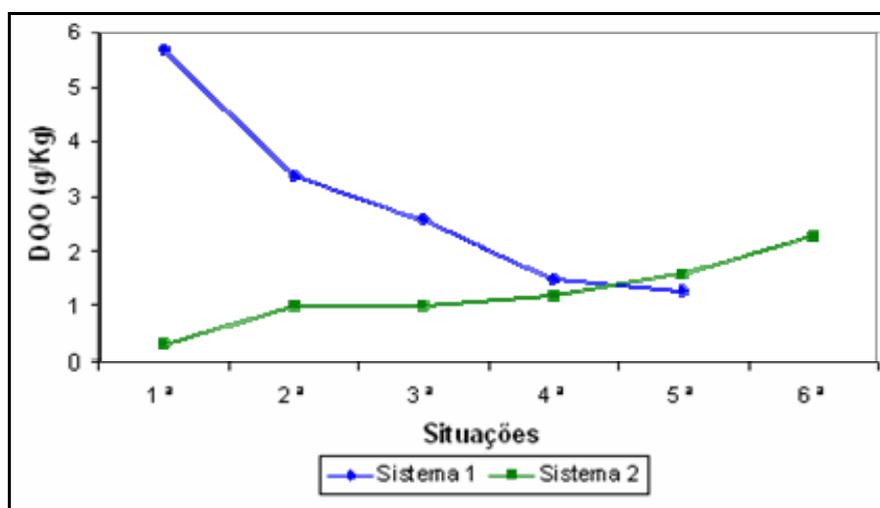


Figura 5.26: Variação da DQO_t efluente em cada unidade nos sistemas 1 e 2.

Em uma abordagem geral do desempenho dos sistemas 1 e 2 submetidos as diferentes vazões citadas, observou-se, em relação a concentração em termos de DQO_t , que o sistema 2 absorveu melhor as cargas volumétricas e, da mesma forma, proporcionou uma maior remoção de DQO_t do dejetos armazenado. Relacionando a Tab. 5.4 com a Tab. 5.5 pode-se estabelecer uma comparação, em termos percentuais, entre a

concentração do dejetos bruto e a concentração efluente aos sistemas de armazenamento. Esta análise fica melhor explicitada na Fig. 5.27, que mostra a variação da remoção de DQO_t em porcentagem e caracteriza o sistema 2 como mais eficiente no armazenamento dos dejetos com relação ao teor de DQO_t .

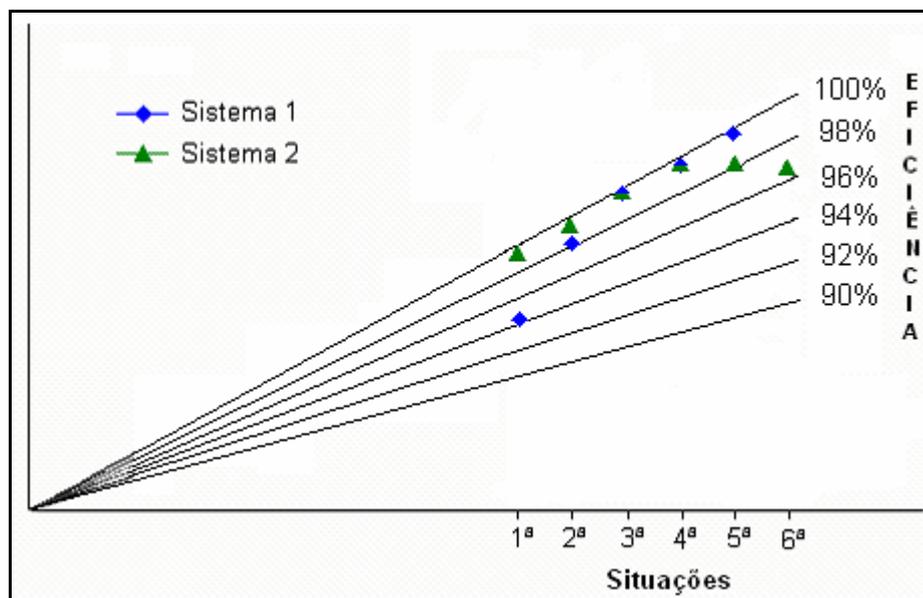


Figura 5.27: Porcentagem de remoção de DQO_t nos sistemas ao longo de cada situação.

5.3.2 Concentração de Sólidos Totais (g ST/Kg) e Carga volumétrica (g ST/Kg.dia)

Em cada uma das seis cargas volumétricas em g/Kg.dia de DQO_t , obteve-se uma concentração específica de ST e a concentração efluente é função da carga volumétrica. A Tab. 5.7 condensa os resultados de ST afluentes médios, cargas volumétricas nos diferentes sistemas e a concentração efluente de ST média em cada uma das situações.

Observa-se que a remoção máxima em termos de ST se deu na segunda situação onde a carga afluente foi reduzida a, praticamente, 98,6% em ambos os sistemas, resultado esse que não comprova a degradação e sugere uma verificação sobre a sedimentação de sólidos nas unidades de armazenamento. A menor remoção se deu na 6ª situação onde esse resultado representa somente 82,8%.

Tabela 5.7: Média de ST (g/Kg) e carga volumétrica (g/Kg.dia) em cada situação.

Situações	ST g/Kg Afluente	Carga vol. g/Kg.dia de DQO _t		ST g/Kg Efluente	
		Sist. 1	Sist. 2	Sist. 1	Sist. 2
1 ^a	90,78	0,57	0,38	4,08	4,02
2 ^a	113,45	1,4	0,30	1,57	1,43
3 ^a	124,37	0,65	0,43	1,40	3,13
4 ^a	88,61	0,46	0,62	2,53	2,71
5 ^a	45,68	0,13	0,42	1,59	3,21
6 ^a	33,21	0,00	0,37	0,00	5,70

A porcentagem de remoção de ST para todas as situações é exemplificada na Fig. 5.28.

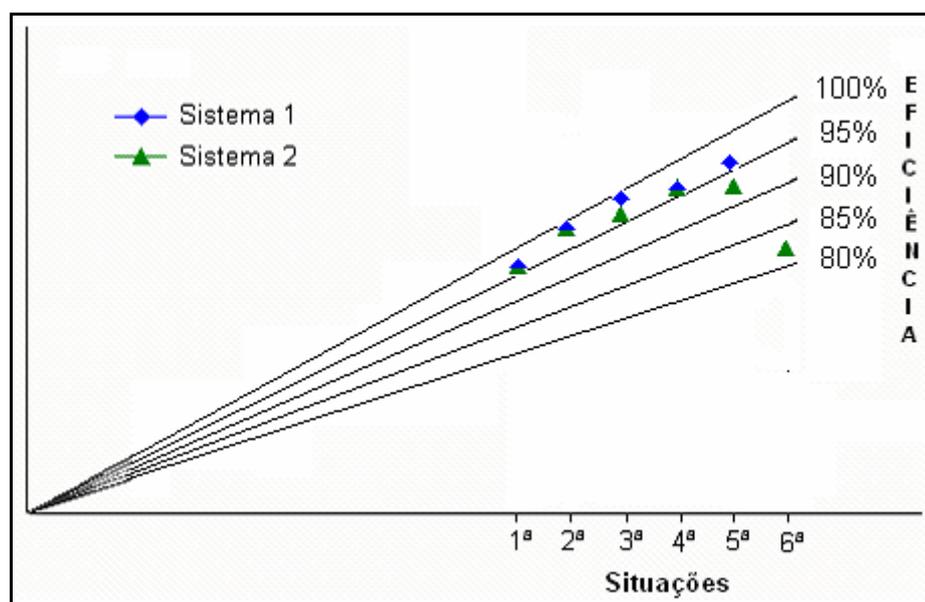


Figura 5.28: Porcentagem de remoção de ST nos sistemas ao longo de cada situação.

O estado dos ST nas seis situações é representada na Fig. 5.29. Nela pode-se perceber que ambos os sistemas, em uma análise global para este parâmetro, funcionam de melhor maneira quando submetidos as menores cargas, com exceção da 4ª avaliação para o sistema 1 que apresenta uma leve redução na sua carga de aplicação, de 0,65 g/kg.dia para 0,46g/kg.dia, entretanto sua concentração efluente de ST continua aumentando.

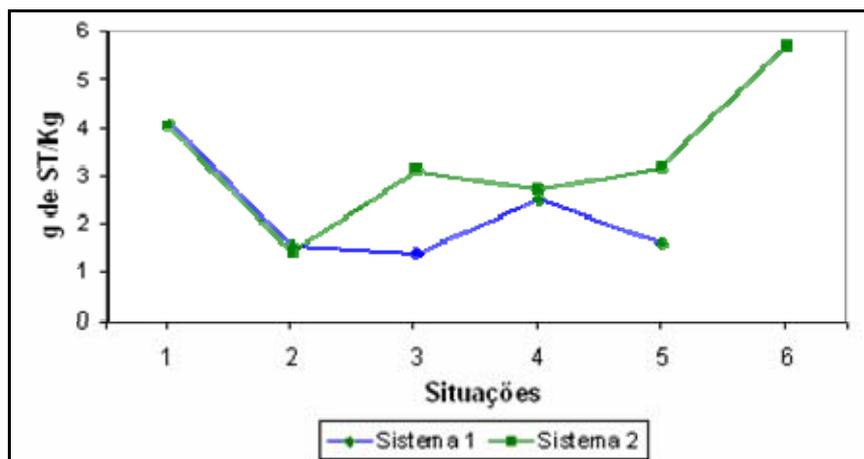


Figura 5.29: Variação dos ST efluente nos sistemas 1 e 2.

5.3.3 Concentração de nutrientes (g/Kg) e Carga (g/Kg.dia)

Nitrogênio total kjeldhal (NTK-N)

Cada avaliação apresenta uma carga média, em termos de DQO_t durante o período estudado, e cada carga é caracterizada pelo teor médio de NTK-N para o mesmo período. A análise desses resultados nos permite identificar a 5ª situação, dentre as seis, como a que mais conserva o potencial nutritivo dos dejetos com relação a concentração de nitrogênio em ambos os sistemas.

A Tab. 5.8 apresenta os resultados de concentração afluenta e efluente de NTK-N nos sistemas 1 e 2, assim como a carga volumétrica. Pode-se observar umas das menores concentrações afluenta e maior efluente de NTK-N na 5ª situação. O sistema 1, nesta tabela, é evidenciado como o melhor para a manutenção do potencial nutritivo do dejetos e a média, da concentração de NTK-N presente no dejetos bruto, para as seis situações é de cerca de 1,74 g/Kg NTK-N.

Tabela 5.8: Média de concentração afluente e efluente de NTK-N em g/Kg em cada situação.

Situações	Concentração	Concentração Efluente	
	Afluente	NTK-N g/Kg	
	NTK-N g/Kg	Sist. 1	Sist. 2
1 ^a	1,82	0,43	0,03
2 ^a	0,00	0,00	0,00
3 ^a	2,43	0,48	0,17
4 ^a	1,90	0,34	0,23
5 ^a	1,32	1,08	0,34
6 ^a	1,26	0,00	0,34

Fósforo total (PO₄-P)

A variação do fósforo nas seis situações apresenta uma média de concentração para o afluente de cerca de 1,22 g/Kg e os resultados apontam também para a 5^a situação, em ambos os sistemas, como a mais favorável para o armazenamento de dejetos no intuito de manter o potencial nutritivo.

A Tab. 5.9 mostra os resultados de teores afluente e efluente de PO₄-P nos sistemas 1 e 2, assim como a carga volumétrica para cada avaliação.

Tabela 5.9: Média de concentração afluente e efluente de PO₄-P em g/Kg em cada situação.

Situações	Concentração	Concentração Efluente	
	Afluente	PO ₄ g/Kg	
	PO ₄ g/Kg	Sist. 1	Sist. 2
1 ^a	1,34	0,03	0,01
2 ^a	1,88	0,04	0,04
3 ^a	1,65	0,04	0,06
4 ^a	1,10	0,04	0,03
5 ^a	0,71	0,15	0,09
6 ^a	0,66	0,00	0,03

Na Tab. 5.9 fica caracterizado também que o sistema 1 é mais eficiente na manutenção do potencial nutritivo dos dejetos. Nas seis situações o comportamento dos nutrientes NTK-N e $\text{PO}_4\text{-P}$, foram semelhantes quanto à eficiência no armazenamento dos dejetos, entretanto os resultados efluentes apresentam valores de concentração muito baixos em relação aos afluentes, o que pode ser justificado se o pH fosse muito acima do encontrado. Outro fator importante a ser levado em consideração na análise dos resultados é o fato das coletas nas lagoas de armazenamento serem realizadas com baldes, como descrito na metodologia. Por mais que se tentasse homogeneizar o dejetos armazenado, a amostragem era caracterizada como de superfície ou sobrenadante, logo, com um menor teor de nutrientes.

Fazendo uma relação com outros parâmetros, o pH na 5ª avaliação estava em torno de 7,25 para a L.A.1 e 8,00 para a L.A.2. Essa tendência para alcalinidade também é um fator que influencia a precipitação do fósforo nos sistemas de armazenamento.

Quanto à temperatura, os sistemas haviam sido submetidos as menores durante todo o estudo e estavam se restabelecendo, apresentando temperaturas da ordem de 19°C para ambas as lagoas de armazenamento. Para o nitrogênio, os valores encontrados estão de acordo com os estudados por Hensen *et al.* (1998), onde se obtém uma maior remoção de nitrogênio, entorno de 87%, sob a maior temperatura (37°C), logo, sob menor temperatura maior o acúmulo medido para a 5ª situação.

5.3.4 Influência da temperatura nas unidades

Esta abordagem se refere às relações existentes entre a temperatura e parâmetros como, DQO_t , $\text{PO}_4\text{-P}$, NTK-N e ST.

Na 8º e na 50º dia obtiveram-se os maiores resultados de temperatura ambiente média que foram de 25,8 e 25,4°C respectivamente e no 128º e no 219º encontraram-se as menores, que ficaram em 14,3 e 13,9°C simultaneamente. Para a DQO_t esses resultados implicaram num resultado esperado, pois sob a exposição da temperatura ambiente máxima, o biodigestor, no 8º dia, apresentou máxima remoção de DQO_t , de cerca de 98% e sob a menor temperatura a remoção ficou em torno de 65%. O mesmo comportamento foi seguido pela L. A.1.

Nesta análise, os resultados de sólidos totais indicam que as lagoas L.A.1 e L.A.2 apresentam remoção de fósforo de cerca de 96 e 98% nas temperaturas mais altas

respectivamente, e nas mais baixas a remoção foi de 89 e 68% simultaneamente. Para o biodigestor a interferência das temperaturas mais altas, no 8º e no 50º dia, apresentam média de eficiência em torno de 96% e nas temperaturas mais baixas, ao 128º e 218º dia, apresentam valor médio de 72% ficando bastante claro que a temperatura também influi nesse parâmetro.

O comportamento do fósforo e do nitrogênio total com relação às temperaturas máximas e mínimas foi semelhante, entretanto, as unidades visam a manutenção do potencial nutritivo do dejetos e não a remoção. Os resultados apresentados dizem respeito às coletas do sobrenadante, onde, sob as maiores temperaturas conseguiu-se a manutenção de pouco mais de 93% do total de fósforo para o biodigestor, 97% para a L.A.2 e 75% para a L.A.1, os resultados de análise de lodo contrapõem essa alta eficiência, pois o fósforo se encontra adsorvido ao mesmo no fundo das unidades.

O nitrogênio apresenta resultados que replicam os indicados por Obaja *et al.* (2003), sobre a temperatura limitante de 16°C para que haja uma remoção sem decréscimos de eficiência. No biodigestor a manutenção foi de 27% na temperatura mais alta e 16% na mais baixa; a L.A.1 também teve o mesmo comportamento obtendo eficiências de cerca de 25% sob as mais altas e 11% sob as mais baixas temperaturas.

Além do aumento da carga afluyente no sistema 2, uma outra suposição que justifique o acréscimo da concentração efluente de DQO_t, apresentada na Tab. 5.5.6, seria a queda da temperatura do dejetos no sistema causada pela redução da temperatura ambiente explicitada a seguir nas Fig. 5.30 de evolução da temperatura do dejetos bruto e unidades de armazenamento.

Segundo Belli Filho (1995), o distanciamento das temperaturas da faixa ótima para a anaerobiose (30 a 35°C), prejudica a degradação da matéria orgânica do dejetos, observação essa que justifica os resultados obtidos nos dias 128 e 149.

5.4 Perfil de sólidos

Nesta etapa, o sistema 2 de manejo, e especificamente o biodigestor, são objetos de análise onde se procurou verificar a variabilidade de resultados em níveis diferentes de profundidade; sobrenadante (1), meio (2) e fundo (3) no biodigestor e na L.A.2; sobrenadante (1) e fundo (2). Para o biodigestor efetuaram-se quatro coletas, no 71º dia,

no 111° dia, no 218° dia e no 246° dia, perfazendo um total de 175 dias para esta avaliação.

Como uma forma discreta e preliminar de realizar um perfil de sólidos e de nutrientes, trabalhou-se analisando resultados de amostras do sobrenadante e do lodo da L.A.2 no 218° dia, no 224° dia e no 246° como forma de quantificar a diferença entre a concentração de sólidos e de nutrientes no sobrenadante e no lodo de fundo dessa lagoa, durante o período de 28 dias.

5.4.1 Biodigestor

pH, temperatura e Eh

O pH apresentou média de resultados que tendem levemente à alcalinidade, medidos na superfície, a meia altura e no lodo, que expõem o sutil decaimento deste parâmetro à medida que se aproxima do fundo do biodigestor um ambiente que tende a neutralidade com um pH mais próximo ao ideal para a atividade anaeróbia. A temperatura aumentou com o distanciamento da superfície devido a grande atividade microbiológica exercida no lodo e a menor vulnerabilidade a oscilação de temperatura devido o biodigestor estar enterrado e o Eh aumentou quanto mais próximo da superfície onde se esperava um resultado contrário. A Tab. 5.10 apresenta os dados médios obtidos para estes parâmetros.

Tabela 5.10: Variação da temperatura, pH e Eh no biodigestor com a profundidade.

Profundidade	Temperatura °C	pH	Eh mV
Sobrenadante (1)	19,43	7,32	-22,20
Meia altura (2)	19,58	7,31	-21,93
Lodo de fundo (3)	20,73	7,23	-18,70

Nitrogênio, Fósforo e DQO_t

A avaliação destes parâmetros tem como objetivo identificar a diferença de concentração dos nutrientes nitrogênio e fósforo no dejetado sobrenadante e no lodo de fundo desta unidade. As Fig. 5.30 e 5.31 exibem esse comportamento, identificando, como já esperado e explicitado na literatura consultada, o acúmulo desses nutrientes no

fundo dos sistemas de armazenamento. Para os gráficos plotados nas figuras 5.30 e 5.31 o ponto 1 corresponde ao sobrenadante, o ponto 2 à meia altura e o 3 ao lodo de fundo. O NTK-N e o $\text{PO}_4\text{-P}$ apresentaram médias de resultados para todos os extratos conforme a Tab. 5.9.

Percebe-se na Fig. 5.30 que o comportamento do NTK-N, nas três primeiras datas, variou praticamente sob a mesma constante, entretanto, a coleta realizada no 246º dia apresentou concentrações de sobrenadante superior a de fundo e muito acima do ocorrido nas primeiras coletas, provavelmente acontecido devido a um revolvimento excessivo do lodo de fundo ocasionado pelo bombeamento ou pelo próprio método de coleta.

A evolução do $\text{PO}_4\text{-P}$ durante esta análise reflete um comportamento normal, quando levamos em consideração as concentrações crescentes, à medida que se aproxima do fundo do biodigestor. Outro fator relevante é o fato deste parâmetro apontar média de cerca de 0,82 g/kg no fundo do biodigestor, superior a média obtida para NTK-N que foi da ordem de 0,72 g/kg como mostra a Tab. 5.11

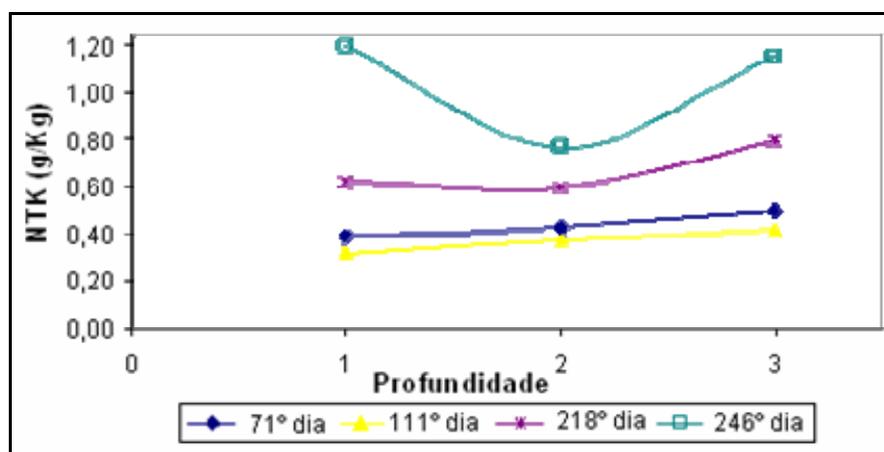


Figura 5.30: Variação da concentração de NKT nos três extratos de profundidade.

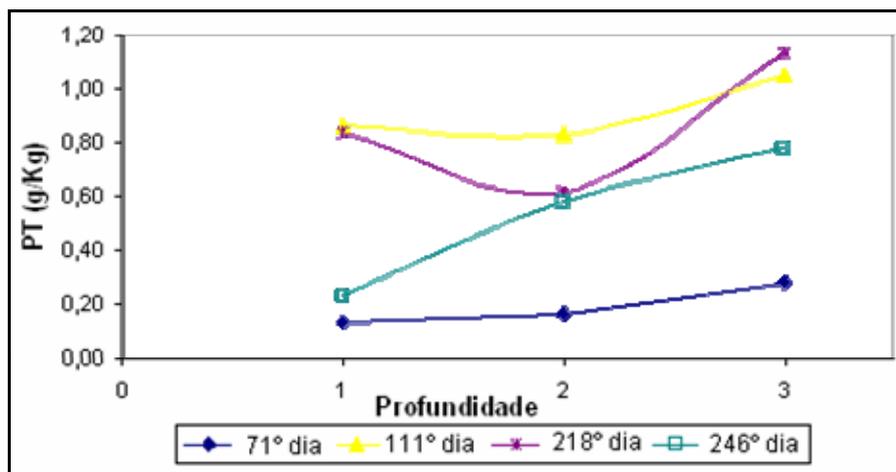


Figura 5.31: Variação da concentração de fósforo total ($\text{PO}_4\text{-P}$) nos três extratos de profundidade.

O desempenho da DQO_t para as quatro coletas durante os 175 dias de avaliação do perfil de sólidos, apresentou média de resultados nas três profundidades conforme apresenta a Tab. 5.9. A Fig. 5.32 apresenta a evolução da DQO_t durante o período estudado.

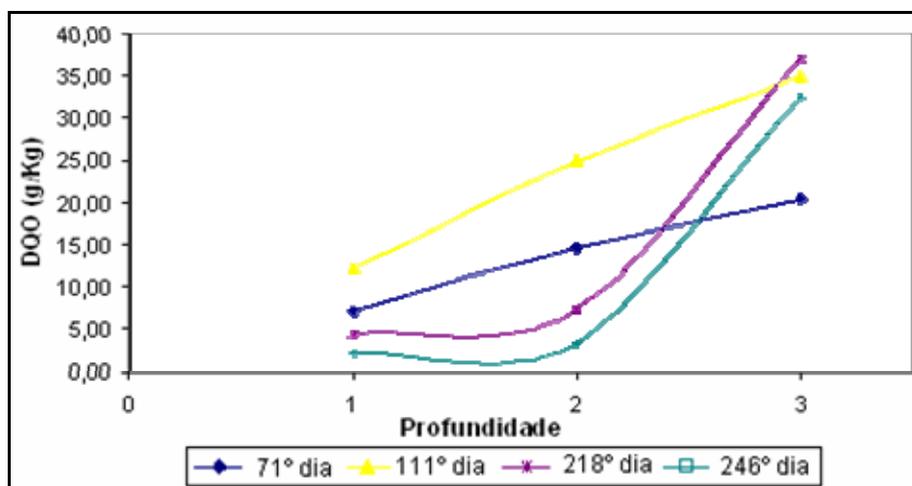


Figura 5.32: Variação da concentração de DQO_t nos três extratos de profundidade.

Tabela 5.11: Resultados médios e desvio padrão de NKT-N, PO₄-P e DQO_t em g/Kg nos três extratos de profundidade.

Profundidade	NKT-N	σ	PO₄-P	σ	DQO_t	σ
Sobrenadante (1)	0,63	0,38	0,51	0,4	6,58	4,4
Meia altura (2)	0,65	0,28	0,46	0,17	12,63	9,54
Lodo de fundo (3)	0,72	0,38	0,81	0,33	31,33	7,5

Série de sólidos

A avaliação da série de sólidos, sob a perspectiva das análises de ST, SF e SV, é um importante meio de análise comparativa entre a matéria orgânica que foi evidentemente degradada e a que está sedimentando no leito do biodigestor. As Fig 5.33, 5.34 e 5.35 exibem o comportamento da série de sólidos nos três diferentes níveis de profundidade realizado nas quatro coletas durante os 175 dias de avaliação.

A Fig. 5.33 mostra que a concentração de ST presente no lodo é nitidamente superior à concentração do mesmo parâmetro para o sobrenadante nas quatro avaliações realizadas. Um dos fatores a ser levado em consideração para justificar esse ocorrido é o elevado tempo de detenção hidráulico do biodigestor, da ordem de 30 a 45 dias estipulado em média para esta pesquisa. As concentrações médias para o sobrenadante, meia altura e lodo de fundo foram de cerca de 10,50; 13,69 e 33,40 g/Kg. A mesma figura apresenta uma pequena, mas perceptível diferença da concentração do sobrenadante para a meia altura no biodigestor.

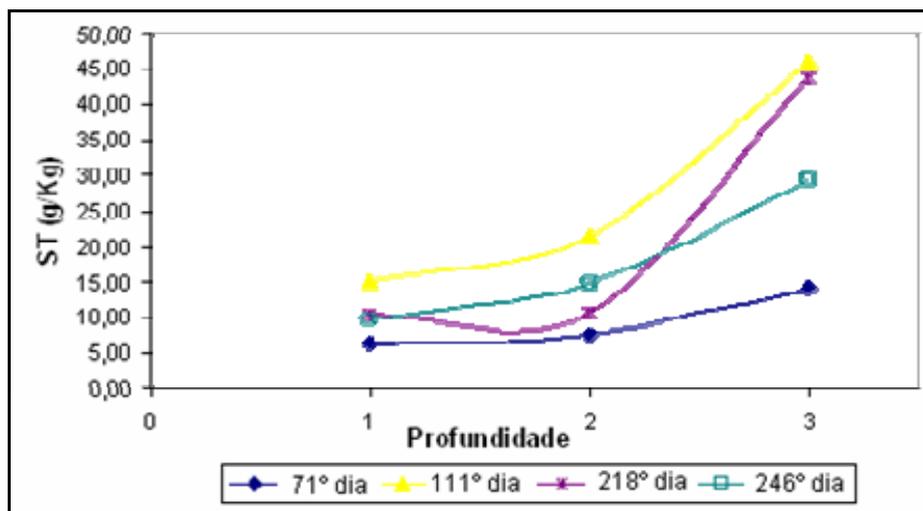


Figura 5.33: Variação da concentração de ST nos três extratos de profundidade.

A concentração de SF no lodo de fundo do biodigestor teve seu ápice na coleta do 111º dia, (11/05) alcançando o valor da ordem de 19,09 g/Kg e a concentração mínima se deu na primeira coleta de lodo no 71º dia (01/04) como é exposto na Fig. 5.34. As médias obtidas para os resultados de sobrenadante, meio e lodo ficaram em torno de 3,10; 4,58 e 11,99 g/Kg.

A Fig. 5.34 exhibe também uma relativa homogeneidade de resultados encontrados para este parâmetro, e se verifica um crescimento paulatino dos valores de concentração entre o sobrenadante e o lodo de fundo. Como os SF são compostos, principalmente, por minerais e materiais inertes estes se apresentam em quantidade expressiva no lodo.

As concentrações de SF em cada nível de profundidade, para seu respectivo período de coletas, estão apresentadas na Fig. 5.34.

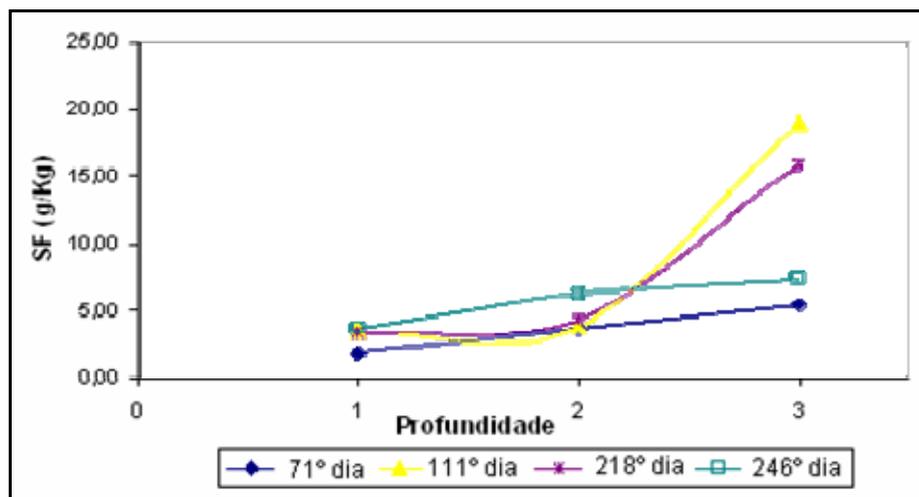


Figura 5.34: Variação da concentração de SF nos três extratos de profundidade.

O comportamento dos SV se apresentou de maneira crescente, do sobrenadante para o lodo, da mesma forma que o comportamento dos ST e SF, entretanto, essa evolução é muito semelhante ao que corre com os ST, a comparação entre as Fig. 5.33 e 5.35 ilustram esse comentário, onde o análogo comportamento se dá, devido a concentração de SF ser inferior a de SV, o qual apresenta-se com composição média para esta análise igual a 65% dos ST.

A média de concentração para os SV no lodo do biodigestor foi de cerca de 21,41 g/Kg, a meia altura foi próximo a 9,11 g/kg e no sobrenadante em torno de 7,39 g/Kg.

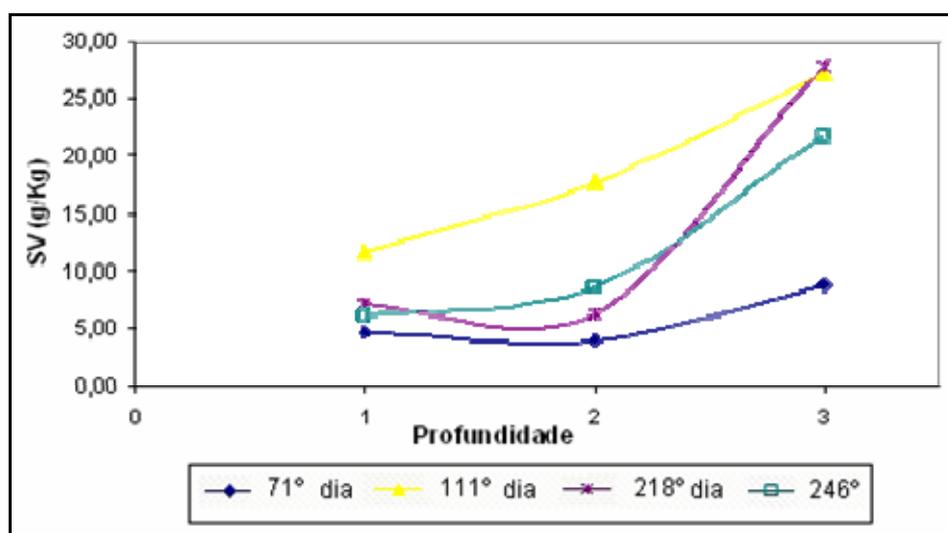


Figura 5.35: Variação da concentração de SV nos três extratos de profundidade.

A média dos resultados para o dejetto bruto durante o período de avaliação do perfil de sólidos no biodigestor se deu conforme apresentado na Tab. 5.12 onde se verifica que há um decréscimo de concentração com o passar do tempo, entretanto não interfere no acúmulo de sólidos por sedimentação no biodigestor que continuou subindo. Ainda, a Tab. 5.12 mostra que a maior concentração afluyente ao biodigestor foi na segunda coleta do perfil de sólidos, fato este que confirma a coleta do 111º dia 11 de maio de 2005 como unânime para as avaliações de ST, SF e SV exibindo os maiores resultados como mostraram as Fig. 5.33, 5.34 e 5.35.

Tabela 5.12: Concentração de ST, SF e SV em g/Kg nos quatro períodos analisados para o dejetto bruto.

Parametro	ST em g/Kg	SF em g/Kg	SV em g/Kg
01/04/2004	108,62	42,70	65,93
11/05/2004	157,74	34,13	123,61
26/08/2004	15,72	4,07	11,65
22/09/2004	29,90	8,32	21,58

5.4.2 Lagoa de armazenamento 2

A avaliação desta lagoa sob a comparação analítica dos resultados de sobrenadante e de lodo de fundo foi realizada num período de 28 dias, compreendido entre 218º e o 246º dias de monitoramento.

pH, temperatura e Eh

A variação média do pH no sobrenadante e no fundo apresentou resultados que, assim como no biodigestor, tendem a alcalinidade sendo que no lodo de fundo o pH é menor que na superfície, aproximando-se de um pH neutro. O valor máximo e mínimo de pH encontrado na L.A.2 foi de cerca de 7,98 e 7,6 na superfície e no lodo 7,45 e 7,25. A temperatura esteve na maioria das coletas próximo a 19°C exibindo como resultado máximo e mínimo 21,4 e 17,4°C para o sobrenadante e para o lodo. Os resultados foram 19,8 e 16,9°C respectivamente. Os resultados de Eh (em mV) não condizem com os comumente apresentados na literatura pesquisada. A faixa ideal descrita por Belli Filho (1995) oscila entre -233 e -370 mV, resultado muito além dos obtidos em campo tanto para sobrenadante quanto para o lodo do fundo da lagoa de

armazenamento. Às médias dos resultados de temperatura, pH e Eh estão apresentadas na Tab. 5.13.

Tabela 5.13: Variação da Temperatura, pH e Eh na L.A.2.

Profundidade	Temperatura °C	pH	Eh
Sobrenadante	19,93	7,74	-46,51
Lodo de fundo	19,00	7,36	-7,73

Nitrogênio, Fósforo e DQO_t

A concentração de nitrogênio e fósforo no efluente expõe uma grande diferença entre os resultados no sobrenadante e no lodo de fundo, esses nutrientes estão em grande parte adsorvidos à biomassa, mas sofrem interferências diretas, como visto anteriormente, principalmente da variação de temperatura e do pH.

A média de concentração de NTK-N no lodo e no sobrenadante estão apresentadas na Tab. 5.14. A performance desse parâmetro no monitoramento da L.A.2 para esta avaliação está apresentada na Fig. 5.36. Os resultados médios de fósforo total para o lodo e para o sobrenadante estão apresentados na Tab. 5.14 e na Fig.5.37 apresenta a grande diferença entre as concentrações de sobrenadante e de lodo de fundo para este parâmetro.

Como visto no biodigestor, a DQO_t do lodo é consideravelmente superior ao sobrenadante da L.A.2, essa diferença chega a 97% apresentando uma leve diminuição de concentração com passar do tempo tanto no lodo como no sobrenadante. Os resultados médios e as variações de concentração são apresentados na Tab. 5.14. A Fig. 5.38 apresenta a performance da DQO_t do lodo e do sobrenadante nas três coletas realizadas para esta lagoa.

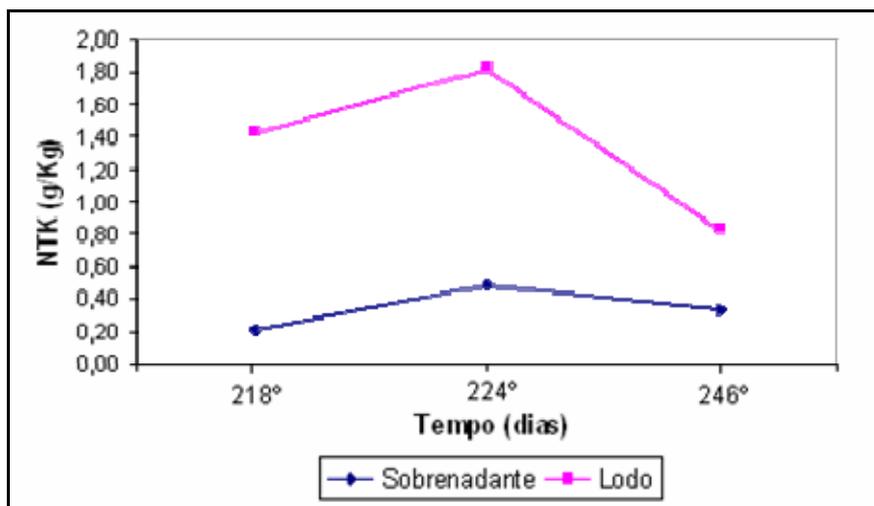


Figura 5.36: Variação da concentração de NKT no sobrenadante e no lodo de fundo.

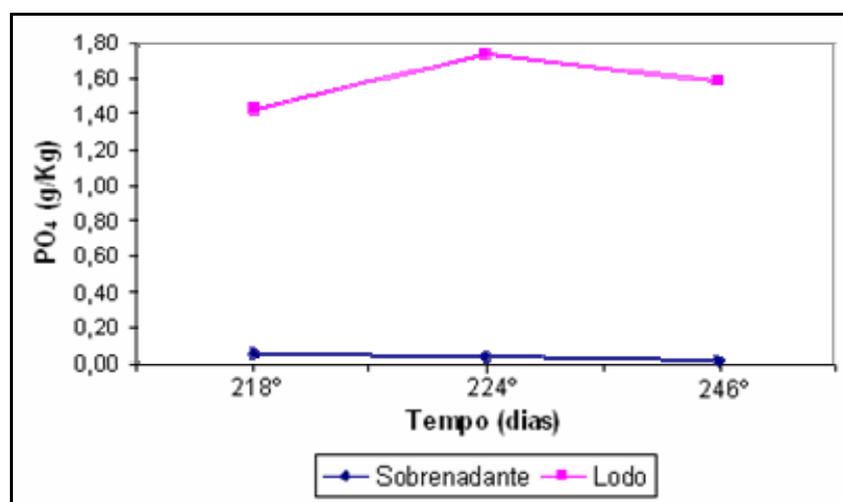


Figura 5.37: Variação da concentração de PO_4 -P no sobrenadante e no lodo de fundo.

Tabela 5.14: Resultados médios e desvio padrão de NKT-N, PO_4 -P e DQO_t em g/Kg nos dois extratos de profundidade.

Profundidade	NTK-N	σ	PO_4 -P	σ	DQO_t	σ
Sobrenadante	0,35	$\pm 0,14$	0,04	$\pm 0,02$	2,32	$\pm 0,55$
Lodo de fundo	1,37	$\pm 0,49$	1,59	$\pm 0,15$	78,85	$\pm 4,97$

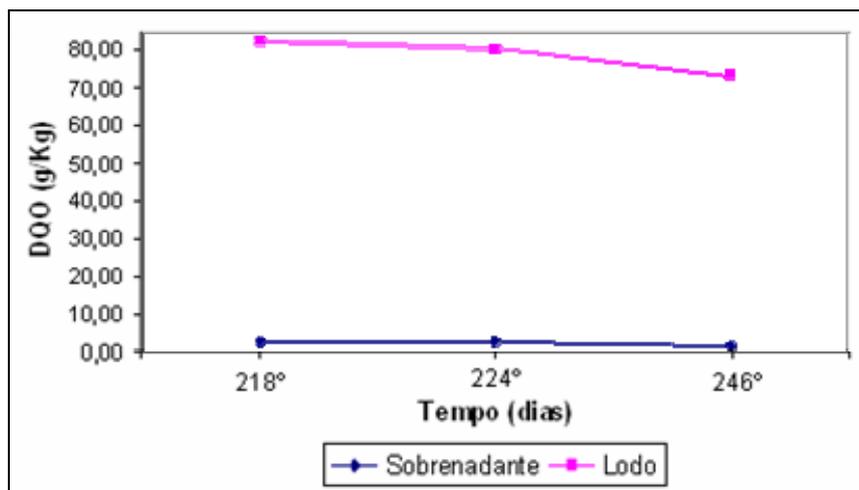


Figura 5.38: Variação da concentração de DQO_t nos dois extratos de profundidade.

Série de sólidos

A comparação da concentração de ST, SF e SV entre o lodo e o sobrenadante da lagoa exibe um resultado bastante oposto entre os dois extratos, entretanto os resultados são condizentes com o esperado, tendo como base os apresentados para o biodigestor.

Das três coletas efetuadas no período de 28 dias realizada no 224° apresentou maior concentração de sólidos totais fixos e voláteis tanto no sobrenadante quanto no lodo. O resultado médio de ST obtido para o sobrenadante foi de cerca de 6,36 g/Kg e para o lodo foi de cerca de 41,57 g/Kg, nota-se que este resultado de ST para o lodo da lagoa é inferior ao obtido a partir da análise do dejetos bruto que foi igual a 72,70 g/Kg, porém, este valor é aproximado ao encontrado no biodigestor que foi de cerca de 33,40 g/Kg como apresentado no item 5.4.1.

O desempenho dos SF na lagoa apresenta como característica, a maior concentração em termos percentuais no sobrenadante, esse valor chega a 69% dos sólidos totais e no lodo o resultado chega a 37%, tornando evidente que, além do lodo do biodigestor, o lodo da lagoa apresenta maior concentração de SV, uma maior biomassa, que favorece a remoção da concentração do dejetos afluentes nesta lagoa.

A maior concentração de SV para a lagoa é no lodo o que favorece a aplicação desse material no solo. Percebe-se com a análise do lodo que grande parte dos ST acaba sedimentando na lagoa, daí a justificativa para os maiores resultados de SV.

As Fig. 5.39, 5.40 e 5.41 apresentam o desempenho da série de sólidos na avaliação comparativa entre sobrenadante e o lodo da L.A.2 no período de 28 dias.

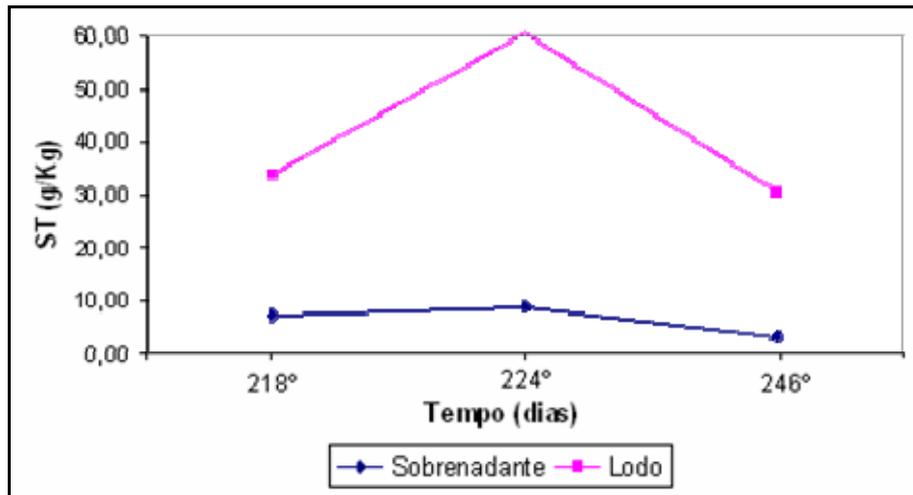


Figura 5.39: Variação da concentração de ST no lodo e no sobrenadante.

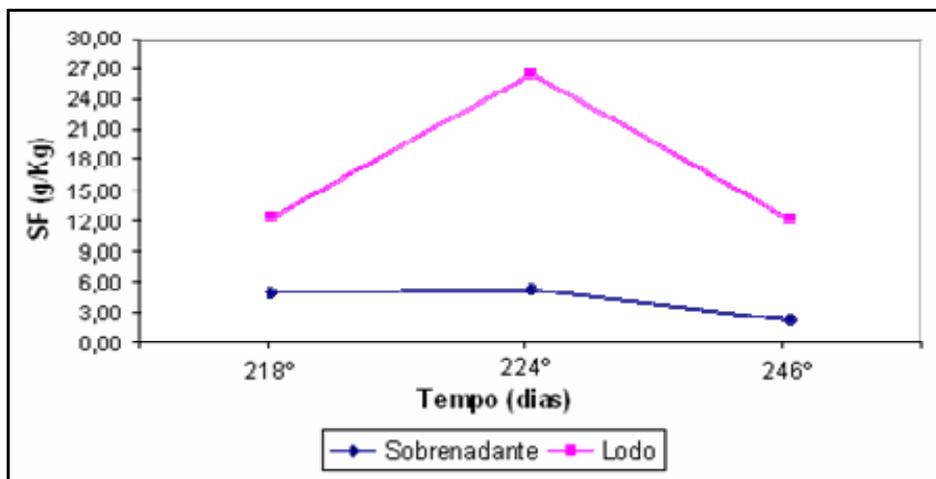


Figura 5.40: Variação da concentração de SF no lodo e no sobrenadante.

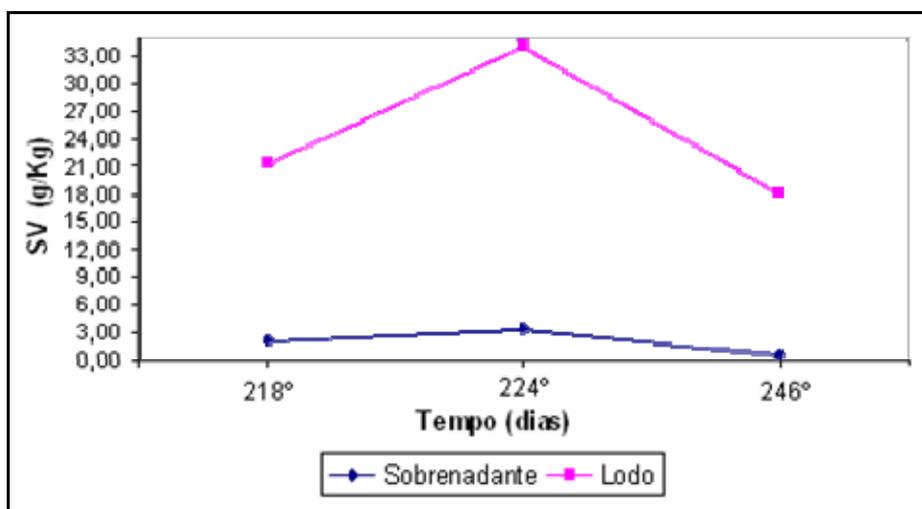


Figura 5.41: Variação da concentração de SV no lodo e no sobrenadante.

5.5 Aporte legislativo

A criação de suínos em confinamento faz parte da lista de atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental, necessitando de autorização prévia do órgão ambiental para funcionamento. Mesmo nas propriedades que possuem as licenças para o desenvolvimento da atividade, o processo de degradação é facilitado pela falta de fiscalização contínua da mesma.

Na propriedade em questão existe um pequeno rio, com menos de 10 m de largura, que alimenta o açude para criação de peixes e está aproximadamente a 50 metros do sistema de armazenamento. De acordo com o código florestal (Lei 7.803, de 18/7/89) fica restrito qualquer tipo de edificação ou retirada de vegetação de suas margens numa distância mínima de 30 m para cada lado. Já o Decreto Estadual 14.250, em seu artigo 9º, de 05/6/81 ressalta a que depósitos de armazenagem de substâncias capazes de proporcionar riscos aos recursos hídricos deverão ser dotados de sistemas de segurança e prevenção de acidentes e localizados a uma distância mínima de 200 metros dos corpos d'água. O que não ocorre na propriedade.

Atualmente, a média de produção diária de dejetos na propriedade em estudo é da ordem de $3\text{m}^3/\text{dia}$ o que implica em uma produção anual de $1095\text{m}^3/\text{ano}$ de dejetos. De acordo com a instrução normativa da FATMA IN 11 (suinocultura), de 2003, fica definido a aplicação máxima de dejetos no solo de $50\text{m}^3/\text{ha.ano}$, após o tempo necessário de armazenamento de 120 dias. A propriedade dispõe de uma área total de 24 ha e a área agricultável é igual a 22 ha, logo se verifica que a mesma está no limite do cumprimento dos padrões de aplicação de dejetos no solo. A Fig. 5.42 apresenta a distribuição de área na propriedade estudada e desta forma presume-se que para cada suíno, criado em sistemas de confinamento, onde o destino final dos dejetos após manejo adequado é o solo, necessita-se de 440m^2 de área livre para a aplicação do dejetos por ano.

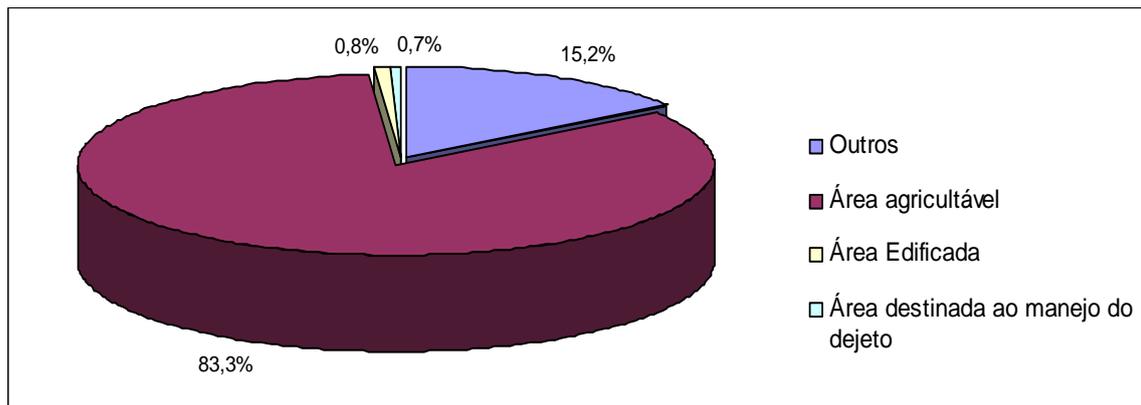


Figura 5.42: Utilização do solo na propriedade

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que o manejo dos dejetos suínos por lagoas de armazenamento e biodigestor é uma solução que não demanda custos altos e possibilita que o suinocultor utilize os insumos produzidos de maneira a agregar valores a propriedade, minimizando os impactos ambientais originados nesta atividade.

De maneira específica o trabalho apresenta as seguintes conclusões:

- O pH se comportou de maneira favorável a digestão anaeróbia em ambos os sistemas proporcionando um ambiente conveniente a proliferação e a normal atividade dos microorganismos responsáveis por este processo.
- A acidez no dejetos bruto coletado na caixa de passagem apresentou indícios do acúmulo de ácidos voláteis totais o que se justifica devido ao volume superdimensionado da caixa de passagem aumentando o período de tempo em que o dejetos permanece na mesma.
- O potencial redox apresentou resultados muito altos em relação aos esperados para a digestão anaeróbia, entretanto, esse parâmetro não foi determinante na avaliação do sistema.
- A remoção de sólidos para o biodigestor e para as lagoas apresentaram valores médios da ordem de 87 e 94%, respectivamente.
- A DQO_t apresentou remoção acima de 90% para todas as unidades e a DBO₅ obteve remoção máxima de 98% na lagoa do sistema 2, porém essa remoção não é suficiente para que o dejetos apresente a concentração de 60mg/l estabelecido pela legislação estadual (Decreto 14.250/81 de Santa Catarina) alcançando somente os 80% também prescritos neste decreto.
- A concentração de fósforo no efluente do biodigestor foi de 58% em relação a concentração do dejetos bruto, confirmando um bom desempenho dessa unidade na manutenção desse nutriente. Para as lagoas os resultados foram muito baixos, entretanto, justificados quando se leva em consideração os resultados de análise do lodo.

- A concentração de NTK-N retido no efluente foi de 46 e 19% para o biodigestor e para as lagoas, porém, assim como o ocorrido com o fósforo, os resultados da análise do lodo apresentam maiores concentrações desse nutriente.
- A carga volumétrica, em termos de DQO_t, que proporcionou um melhor desempenho das unidades de armazenamento foi de 1,4 g DQO/Kg.dia caracterizando a 2ª situação como a mais eficiente.
- A análise do perfil de sólidos evidencia que as concentrações efluentes, tanto de carga orgânica quanto de nutrientes, não são justificadas somente pela degradação microbiológica e que os resultados sofrem interferência direta da sedimentação nas unidades, explicados pelos elevados valores encontrados nas análises do lodo.
- O biogás produzido apresenta boa qualidade, entretanto a descontinuidade da produção impossibilita uma análise conclusiva e os problemas com vazamento dificultam o aproveitamento deste como recurso energético alternativo.
- Os sistemas conseguem manter o dejetos efluente dentro de uma faixa tolerável, a propriedade dispõe de área agricultável suficiente para suportar a quantidade de dejetos aplicada no solo após o manejo, porém as unidades de armazenamento não se encontram dentro do limite mínimo de distância de corpos d'água, como prescreve a legislação Estadual.
- A comparação dos resultados do início da pesquisa de Henn (antes da implantação dos bebedouros) com os obtidos neste trabalho, evidencia a qualidade do dejetos quanto às características volumétricas, físicas e químicas.

Esse trabalho reflete a importância de se desenvolver pesquisas sobre os impactos causados através da atividade suinícola e apresenta contribuições baseadas nos resultados obtidos que podem servir de base comparativa para outros estudos referentes ao manejo dos dejetos.

O estudo também confirma, como apresentado por outros autores, viabilidade de se utilizar as lagoas e biodigestores no armazenamento dos dejetos suínos, agregando valores à propriedade. Contudo, pode-se concluir que os sistemas minimizam o impacto causado pela aplicação do dejetos no meio ambiente e permite que a propriedade atenda a Legislação.

7 RECOMENDAÇÕES

Quanto ao monitoramento recomenda-se:

- Intensificar as análises de cromatografia gasosa, atividade metanogênica específica e densidade para se traçar com mais segurança as características do dejetos e suas potencialidades na geração de biogás e de fertirrigação.
- Realizar análise de ácidos graxos voláteis.
- Investigar os efeitos da aplicação do dejetos no solo com vistas a identificar os benefícios dessa prática.
- Intensificar as análises de microscopia óptica e adaptar uma metodologia para a contagem de bactérias metanogênicas na biomassa.
- Otimizar os procedimentos desenvolvidos nas coletas das amostras de maneira a valorizar as variações de concentração ao longo da profundidade.
- Analisar os sistemas de modo a identificar o período de tempo necessário para se efetuar o descarte do lodo em cada unidade.
- Verificar o efluente quanto à remoção de coliformes fecais e de outros microorganismos patogênicos.
- Monitorar a variação da temperatura ambiente no local e verificar as interferências desse parâmetro no manejo, assim como relacionar esses resultados com os obtidos por centros de pesquisa (como por exemplo, CLIMERH-EPAGRI) na região.
- Utilizar para a medição da produção acumulada de biogás no biodigestor um rotômetro de maior precisão.

Quanto aos aspectos construtivos recomenda-se:

- Implantar de uma haste plástica dentro do biodigestor, treliçada, em formato semi-esférico, e que dê sustentação a manta que cobre o biodigestor. Esse procedimento evitaria o acúmulo de água da chuva no biodigestor durante o *start up* do sistema prevenindo problemas com vazamento de biogás através das junções da manta com a estrutura de concreto do biodigestor no selo hídrico.

- Projetar registros para a coleta do lodo ao longo da profundidade do biodigestor o que a tornaria mais fácil e dispensaria o uso de bombas hidráulicas ou a abertura da cobertura do biodigestor.
- Fixar a tubulação de alimentação da lagoa do sistema 1 minimizando os riscos de perfurar a lona que envolve a lagoa.
- Reduzir o volume útil da caixa de passagem com vistas a diminuição do tempo de permanência do dejetos nesta unidade.
- Aumentar os beirais das coberturas das baias de maneira a evitar a introdução de água da chuva nas calhas de escoamento do dejetos.
- Padronizar determinado período de tempo para a limpeza das baias e raspagem das calhas, evitando a diluição excessiva e/ou a introdução de cargas de choque no sistema.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V; VON SPERLING, M; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos - tratamento e disposição final.** DESA-UFMG, v. 6, 483 p. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INFORMAÇÕES E PESQUISA EM CARNE SUÍNA-ABIPECS. Relatório **Anual de Produção de Suínos.** Disponível em: <http://www.abipecs.com.br>. Acesso em: 21/2/2005.

ALVES, R. G. C. M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios - avaliação de situação real de diversos reatores.** Resultados apresentados na qualificação do projeto de tese do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental/UFSC, outubro, 2004.

BEAL, L. J; RAMAN, D. R. **Sequential two-stage anaerobic treatment of confectionery wastewater.** Journal Agricultural Engineering Research, 76, p. 211-217, 2000.

BELLI FILHO, P. **Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc.**Thèse de Doctorat de L'Université de Rennes I. France. 1995.

BELLI FILHO, P. *et al.* **Lodos de Tanques Sépticos – Caracterização e Tratamento Anaeróbio em um Digestor Piloto.** XXIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Rico, 2004.

BELLI FILHO, P, *et al.* Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande-PB, v. 5, n. 1, p. 166-170, jan./abr. 2001.

BLEY Jr, C. A. **Suinocultura e o Meio Ambiente.** Encontro técnico da ABRAVES-SC; Associação Brasileira de Veterinários Especialistas em Suínos. 2001. Disponível em <http://abavares-sc.cnpsa.embrapa.br/memórias.html>.

BRASIL, D. M. **Apontamentos sobre o valor do prejuízo ecológico: Alguns Parâmetros da suinocultura em Braço do Norte.** 2002, 222 p. il. Dissertação de Mestrado, PGRN/UFSC, Florianópolis-SC.

CARMO JR. G. N. R. **Aplicabilidade do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) para tratamento de resíduos líquidos da suinocultura.** 1998. 69 p. Dissertação de mestrado. PPGEA/UFSC. Florianópolis-SC.

CAZARRÉ, M.M. **Otimização de lagoas anaeróbias para tratamento de dejetos de suínos.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. 112 p. 2000.

COHEN, T. **Optimization of Anaerobic Digestion of Soluble Carbohydrate Containing Wastewaters by Phase Separation.** Amsterdam. 1982. 83 p.

Comissão de Fertilidade do Solo - RS /SC. **Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3^a ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul / EMBRAPA - CNPT: 1995. p 57 - 67.

Costa, O. A. D. Comparação dos Sistemas Intensivos de Criação de Suínos Criados ao Ar Livre (Siscal) e Confinado (Sisco). **Comunicado Técnico** nº 209, EMBRAPA–CNPSA, Março/1994, p. 1–2.

COSTA, O. A. D. Caracterização do sistema hidráulico e da qualidade da água em granjas de suínos da região sul do Brasil nas fases creche, crescimento e terminação. **Comunicado técnico**, CT / 247 / Embrapa Suínos e Aves, Junho/2000, p. 1–5.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios.** Belo Horizonte, MG: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. v. 5. 246 p.

DALAVÉQUIA, M. A. **Avaliação de lagoas de estabilização Para tratamento de dejetos de suínos.** 2000, 131 p. Dissertação de Mestrado. PPGEA/UFSC. Florianópolis-SC.

DARTORA, V. *et al.* **Manejo de dejetos de suínos**, **Boletim Informativo de Pesquisa-Embrapa Suínos e Aves e extensão**. EMATER/RS, ano 7, BIPERS no 11 março/1998, Concórdia-SC.

DIESEL, R; MIRANDA C. R; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**, Boletim Informativo Pesquisa & Extensão-BIPERS, ANO 10, no 14 2002, Embrapa Suínos e Aves e Extensão-EMATER/RS.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DE EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Centro Integrado de Informações de Recursos Ambientais - CIRAM. **Inventário das terras da sub-bacia hidrográfica do rio Coruja / Bonito**. Florianópolis: EPAGRI – CIRAM, 2000. 112 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DE EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Centro Integrado de Informações de Recursos Ambientais - CIRAM. **Inventário das terras da sub-bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito**. Florianópolis: EPAGRI – CIRAM, 2000. 112 p.

FIUZA, J, L; BUYS, B; CORRAL, M, A; OMIL, F.; MÉNDEZ, R. **Toxic effects exerted on methanogenic, nitrifying and denitrifying bacteria by chemicals used in a milk analysis laboratory**. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 31, p. 976-985, 2002.

FREDERICK, D. G. **Application of Anoxic/Aerobic (A/A) Biological Treatment to Swine Wastewater**. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Southwestern Louisiana. Department of Biological and Agricultural Engineering. Dissertação de mestrado, 2002, Louisiana, EUA.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos com bioesterqueira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina / UFSC. 1997. 126 p.

GOSMANN, H. A, *et al.* **Armazenagem dejetos suínos**. Seminário sobre tecnologias para dejetos suínos. EPAGRI-CIRAM, 2004. Florianópolis-SC.

GUIVANT, J. S. **Conflitos e Negociações nas Políticas de Controle Ambiental: o caso da suinocultura em Santa Catarina.** Revista Ambiente e Sociedade. Ano I, nº 2, primeiro semestre de 1998.

HADLICH, G. M. **Poluição Hídrica Na Bacia do Rio Coruja-Bonito (Braço Do Norte- SC) e Suinocultura: Uma Perspectiva Sistêmica 2004.** 272p. il. Tese de doutorado, PGRN/UFSC, Florianópolis-SC.

HANSEN, K H; N ANGELEDAKI, I. and AHRING, B. K. **Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia.** Water Research vol. 32, nº 1 p 5-12, 1998.

HENN, A. **Comportamento de partida e evolução de um sistema de tratamento e armazenamento de dejetos suínos em uma pequena propriedade rural no município de Braço do Norte/SC,** Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia sanitária ambiental, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Relatórios Estatísticos. Censo Demográfico.** Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 06/02/2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, no ano de 2005. **Estimativas das Populações Residentes, em 01.07.2004. Censo realizado no município de Braço do Norte, em Santa Catarina.** Disponível em <http://www.ibge.com.br>. Acesso em 11/03/2005.

Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina-ICEPA/SC. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2003. Florianópolis-SC, 2003, v.1, p.127.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida.** 1980. 111 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Veterinária Universidade Federal de Minas Gerais-BH.

KONZEN, E.A. **Valorização Agrônômica dos Dejetos Suínos: utilização dos dejetos suínos como fertilizantes.** I Ciclo de Palestras Sobre Dejetos suínos no Sudoeste Goiano, 1997, Rio Verde, GO. Anais... p.113-136.

LALLAI, A; MURA, G; ONNIS, N. **The effects of certain antibiotics on biogas production in the anaerobic digestion of pig waste slurry.** *Bioresource Technology*, 82; 205-208; 2002.

LUCAS, J; SANTOS, T. M. B.; OLIVEIRA, R. A.; **Possibilidade de uso de dejetos no meio rural.** In: WORKSHOP: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1, 1999, Campinas. Memória. Embrapa Meio Ambiente, 1999. p. 42.

MALINA Jr. J. F; POHLAND, F.G. **Design of Anaerobic Processes for the treatment of industrial and Municipal Wastes,** Techtronic Publishing Inc. USA. Vol. 7, 214 p, 1992.

MASSÉ, D. I; LU, D; MASSE, L; DROSTE, R. L. **Effect of antibiotics on psychrophilic anaerobic digestion of swine manure slurry in sequencing batch reactors.** *Bioresource Technology*, 75, 205-211, 2000.

MEDRI, W. Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos. Tese de doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 205 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal And Reuse.** 4^a ed. McGraw-Hill, New York,USA, 1334 p. 2003.

MIRANDA, C. R; ZARDO, A. O; GOSMANN, H. A. **Uso de dejetos de suínos na agricultura.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2000. (EMBRAPA-CNPSA) instrução técnica para suinocultor disponível em: <http://www.suino.com.br/embrapa/011.htm>. Acesso em: 21/2/2004.

MONTEIRO, L. W. S. *et al.* **Estudo de Caso do Manejo Ambiental dos Dejetos Suínos Integrado a Potencialidade de Geração de biogás.** III Congresso Nacional de Meio Ambiente. Salvador-BA, 2004. Anais.

MONTENEGRO, M. A. P. **Avaliação de um reator anaeróbio híbrido (RAH) e da atividade de populações de microorganismos anaeróbios na ausência e na presença**

de pentaclorofenol. 2001. 184 p. Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos-EESC-USP, São Carlos-SP.

MORAES, L. M. & PAULA Jr; D. R. **Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de Águas Residuárias da Bovinocultura e da Suinocultura.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa-PB.

OBAJA, D. S. et al. **Nitrification, Denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a Sequential Batch Reactor.** Bioresource technology. 103-111. 2003.

OELTJEN, G. **Armazenagem dejetos suínos.** Seminário sobre tecnologias para dejetos suínos. EPAGRI-CIRAM, 2004. Anais, Florianópolis-SC.

OLIVEIRA, P. A. V. **Bebedouro de Nível para Suínos,** Comunicado técnico CT / 171 /Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves EMBRAPA–CNPSA, Março/1991, p. 1–3.

OLIVEIRA, P. A. V. (Org.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos.** Santa Catarina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1993.

PAULA Jr, D. R, *et al.* **Estabilização anaeróbia de lodos.** In: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Digestor de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Coordenação: Sérgio Túlio Cassini. 1ª ed; cap. 3, p. 53-93. Vitória-ES, 2003.

PERDOMO, C. C. et al. **Produção de suínos e meio ambiente.** 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, 25 a 27 de abril de 2001 — Gramado-RS.

PERDOMO, C. C. **Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2000. (EMBRAPA-CNPSA. Instrução técnica para suinocultor. Disponível em: <http://www.suino.com.br/embrapa/012.htm> Acesso em: 01/04/2004.

PERDOMO, C. C; OLIVEIRA, P. A. V; KUNS, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico.** SEBRAE / EMBRAPA, documento 85, Concórdia-SC. 2003.

PERDOMO, C.C. *et al.* **Dimensionamento de sistemas e tratamento (decantador de lagoas) e utilização de dejetos suínos.** Concórdia-SC. Comunicado Técnico n. 234, Embrapa Suínos e Aves, p. 1–5, Abril/1999.

PINTO, D. M. C. L. **Avaliação da partida da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos inoculados com percolado.** 2000. 176p. Tese de Doutorado. Escola de engenharia de São Carlos-EESC-USP, São Carlos-SP.

PIRES, A. M. B; *et al.* **Efeito de Antibióticos Sobre a Digestão Anaeróbia,** III Congresso Acional de Meio Ambiente. Salvador-BA, 2004. Anais.

REVISTA SUPER INTERESANTE. São Paulo: Editora Abril, fevereiro de 2005, volume 1. Quinzenal.

RITA, F. **Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o Tratamento anaeróbio de líquidos percolados de resíduos sólidos urbanos.** 2002, 98 p. il Dissertação de Mestrado. PPGEQ/UFSC. Florianópolis-SC.

ROESLER, M. R. V. B & CESCO NETO, E. A. **A produção de suínos e as propostas de estão de ativos ambientais: o caso da região de Toledo no Paraná.** pg. 19. Toledo-PR, 2004.

SCHERER, E. E; AITA, C; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante.** Florianópolis: EPAGRI, 1996, 46 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 79).

SEPLAN-Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Programa integrado de desenvolvimento sócio econômico. **Diagnóstico municipal de Braço do Norte.** Florianópolis, 1990. 30 p.

SEZERINO, P. H. et al; **Nutrient removal of piggery effluent using vertical constructed Wetlands in south Brazil.** 2002.

SOARES, H. M. & HIRATA, Y. S. (1999). Apostila de Aula Prática. **IV Curso de Tratamento Biológico de Resíduos.** Florianópolis.

SHEEN, S.Y. *et al*; **Swine Waste Treatment in Taiwan, 2000.**

SOARES, H. M. e HIRATA, T. S. **Práticas de laboratório. Florianópolis.** In: III CURSO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS. CBAB, MCT/CNPq, CPGEQ/UFSC, CDB, 23 p. 1997.

TRAMONTINI, P. **Relatório do programa de expansão da suinocultura e controle da poluição.** Apresentação oral, Reunião, Concórdia, março de 1999.

Van HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto: Um manual para regiões de clima quente.** 1994, 245 p. il. João Pessoa-PB.

WHO-World Health Organization. Wastewater. Stabilization ponds: Principles of planning & practice. Aexandria, 1987, 139 p.

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. **Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenal - Programa de Pós-graduação de em engenharia Ambiental. 2003. Blumenal-SC.**

ZHANG, R.H; YIN, Y. and DAGUE, R. R. **Anaerobic treatment of swine waste by the anaerobic sequencing batch reactor.** Transactions of the ASAE. 40(3): 761. 1997.

ANEXOS

ANEXO A

Atividade metanogênica específica

Tabela 1- Composição das soluções estoques de nutrientes.

Solução 1: Macronutrientes			
NH ₄ Cl	170 g/L	MgSO ₄ .7H ₂ O	11,5 g/L
KH ₂ PO ₄	37 g/L	CaCl ₂ .2H ₂ O	8 g/L
Solução 2: Micronutrientes			
FeCl ₃ .6H ₂ O	2000 mg/L	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂ .4H ₂ O	90 mg/L
CoCl ₂ .6H ₂ O	1088 mg/L	Na ₂ SeO ₃	100 mg/L
MnCl ₂ .4H ₂ O	500 mg/L	NiCl ₂ .6H ₂ O	50 mg/L
CuSO ₄ .5H ₂ O	38 mg/L	EDTA	1000 mg/L
ZnSO ₄ .7H ₂ O	106 mg/L	HCl concentrado	1 mL/L
H ₃ BO ₃	50 mg/L		
Solução 3: Meio Redutor			
Na ₂ S.9H ₂ O			100 mg/L

ANEXO B**Temperatura diária**

Estação: Urussanga – SC; Fonte: Epagri/Inmet

Localização da estação meteorológica: Latitude: 28°31`S, Longitude: 49°19`O Altitude: 48 metros.

Data	Tp_média diária (°C)	Data	Tp_média diária (°C)
21/1/2004	22,7	17/6/2004	19,7
29/1/2004	25,8	22/6/2004	15,9
17/2/2004	24	1/7/2004	19,1
26/2/2004	22,1	13/7/2004	17,2
10/3/2004	25,4	28/7/2004	16,3
25/3/2004	19,5	5/8/2004	21,2
1/4/2004	22,4	17/8/2004	18,6
22/4/2004	23,9	26/8/2004	13,9
11/5/2004	17,3	1/9/2004	16,6
26/5/2004	14,3	22/9/2004	18,5

ANEXO C

Resultados obtidos por Henn (2005)

Tempo em dias e concentração, para todos os parâmetros, em g/l, onde bruto representa o dejetto bruto, biodigestor representa o efluente desta unidade e LA1 e LA2 o efluente das lagoas de armazenamento.

DBO				
Tempo	Bruto	Biodigestor	L. A. 2	L. A. 1
0	12,01			
12	11,88			
26	11,18	2,53		
41	6,21	2,83		
48	7,38	1,87		
55	20,82	1,70	1,55	20,00
68	16,63	3,20	1,80	8,20
76	17,02	0,53	0,73	3,85
83	16,92	0,78	0,83	3,95
98	42,97	1,30	0,83	5,40
139	35,27	0,98	0,40	2,75
147	30,09	0,60	0,95	2,85

DQO				
Tempo	Bruto	Biodigestor	L. A. 2	L. A. 1
0	25,86			
12	27,50			
26	22,06	8,05		
41	10,32	7,26		
48	10,04	3,58		
55	18,66	7,26	1,83	16,70
68	49,73	2,68	1,71	6,30
76	30,23	2,47	1,02	3,49
83	33,06	1,51	0,91	6,82
98	76,98	1,58	1,03	8,42
139	91,63	1,59	0,22	3,53
147	100,58	0,74	0,10	3,30

ST				
Tempo	Bruto	Biodigestor	L. A. 2	L. A. 1
0	13,84			
12	16,21			
26	12,45	7,84		
41	7,06	7,23		
48	6,73	4,82		
55	11,77	3,96	2,74	3,24
68	33,02	3,78	2,27	1,93
76	19,48	1,99	1,98	1,74
83	20,91	2,33	1,90	1,95
98	97,71	3,59	2,11	2,40
139	87,06	3,05	1,26	2,68
147	88,55	3,01	1,14	2,10

NTK				
Tempo	Bruto	Biodigestor	L. A. 2	L. A. 1
0	1,14			
12	1,21			
26	1,33	1,85		
41	0,96	1,37		
48	0,93	1,40		
55	1,12	0,92	0,60	1,20
68	2,02	0,81	0,35	0,53
76	1,73	0,87	0,27	0,59
83	1,84	0,87	0,25	0,67
98	3,41	0,88	0,31	0,98
139	3,83	0,76	0,07	0,81
147	0,85	0,90	0,02	0,81

PO₄-N				
Tempo	Bruto	Biodigestor	L. A. 2	L. A. 1
0	0,39			
12	0,44			
26	0,41	0,33		
41	0,30	0,30		
48	0,25	0,43		
55	0,31	0,14	0,05	0,37
68	1,20	0,17	0,08	1,16
76	0,66	0,12	0,04	0,15
83	0,57	0,13	0,05	0,15
98	1,38	0,16	0,06	0,26
139	1,67	0,05	0,03	0,06
147	1,26	0,04	0,02	0,02

APÊNDICE

APÊNDICE A - Resultados afluentes e efluentes das unidades de armazenamento medidos em campo.

Tabela 1:

Temperatura																				
Pontos	0	8	28	37	50	65	72	93	112	128	149	153	162	174	189	197	209	218	225	246
Dejeto Bruto	23,4	24,2	23,8	23,5	26,1	22,7	25	24,5	23,1	17,6	17,2	18,1	20,5	18,3	17,5	17,1	19,8	17,4	19,6	19,9
Biodigestor	24,6	25,1	25,4	24,9	25,6	23,6	26,6	25,1	21,1	17,2	16	17,5	21,2	18,6	17,1	17,2	20	17,7	22,6	19,6
L. A. 2	24,1	25,2	26,1	25,7	27	22,2	24,5	24,6	20,1	18,6	16,7	17,9	19,7	17,6	16,7	16,5	21,2	17,4	21,4	21
L. A. 1	25,3	25,9	26	26	26,5	23,1	25,2	25	21,4	16,7	17,1	18	20,1							

Tabela 2:

pH																				
Pontos	0	8	28	37	50	65	72	93	112	128	149	153	162	174	189	197	209	218	225	246
Dejeto Bruto	7,03	6,81	6,62	7,07	6,38	7,05	7,13	7,02	6,97	6,38	6,48	6,47	6,36	6,58	6,65	6,84	7,04	6,89	6,8	6,61
Biodigestor	7,41	7,37	7,14	7,51	7,19	7,33	7,76	7,54	7,62	7,72	7,24	7,2	7,4	7,69	7,3	7,4	7,55	7,25	7,39	7,09
L. A. 2	8,76	8,35	7,99	8,08	8,09	7,89	8,1	8,08	8,29	7,11	7,88	7,94	7,98	7,17	7,79	7,82	7,94	7,81	7,81	7,6
L. A. 1	7,67	7,6	7,42	7,71	7,19	8,04	7,79	7,73	7,95	7,64	7,79	7,47	6,95							

Tabela 3:**Eh**

Pontos	0	8	28	37	50	65	72	93	112	128	149	153	162	174	189	197	209	218	225	246
Dejeto Bruto	1	9,9	-20,8	1,2	0,2	-6,8	8,1	-1,1	1,2	23,8	23,1	27,5	29,7	23	12,3	1,7	2,1	5,8	5	14,5
Biodigestor	-24,7	-21,9	-74,3	-30,9	-75,1	-22,2	-43,1	-32,1	-35,4	-48,6	-19,4	-16,3	-26,9	-7,9	-22,9	-9,7	32,2	-16,6	-23,8	-14,4
L. A. 2	-109	-81,2	-21	-63,5	-19,7	-54,6	-63,9	-63,3	-74,8	-19,1	-53,7	-54,5	-58,4	-38,9	-50,7	-25,9	54,8	-46,42	-47,2	-45,9
L. A. 1	-39,2	-36,2	-37,1	-43,1	-51,3	-63,5	-44,7	-43,5	-56,8	-46,1	-48,9	-30,7	-8,5							

Tabela 4:**Sólidos decantáveis**

Pontos	0	8	28	37	50	65	72	93	112	128	149	153	162	174	189	197	209	218	225	246
Dejeto Bruto	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	750	850	750	700	1000	500	280	600	620
Biodigestor	9	5	10	6	8	16	10	17	16	70	370	400	390	450	400	750	350	400	150	160
L. A. 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	6	4	1
L. A. 1	11	3	7	6	3	2	3	2	2	2	4	30	60							

APÊNDICE C - Cronograma de Coletas de campo.

Tabela 8:

	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a	6^a	7^a	8^a	9^a	10^a
Coletas	21/1/04	29/1/04	17/2/04	26/2/04	10/3/04	25/3/04	1/4/04	22/4/04	11/5/04	26/5/04
Período (Dia)	1	8	28	37	50	65	72	93	112	128
	11^a	12^a	13^a	14^a	15^a	16^a	17^a	18^a	19^a	20^a
Coletas	17/6/04	22/6/04	1/7/04	13/7/04	28/7/04	5/8/04	17/8/04	26/8/04	1/9/04	22/9/04
Período (Dia)	149	153	162	174	189	197	209	218	225	246

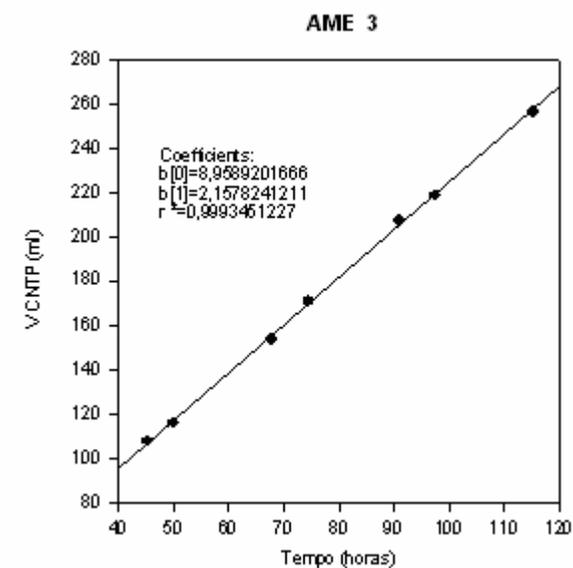
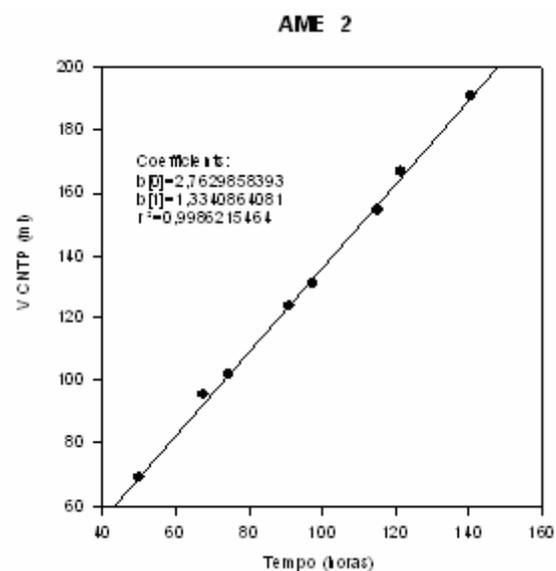
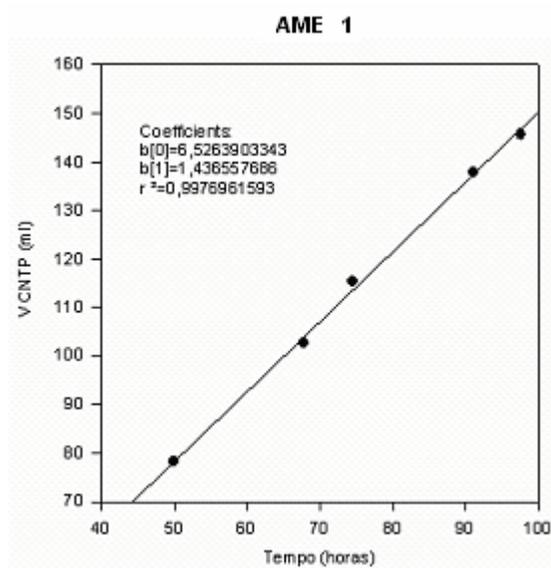
Tabela 9:

Período de alimentação	Vazão aplicada		
	Situações	Sist. 1	Sist. 2
36 dias	1 ^a	1,50	1,50
30 dias	2 ^a	2,25	0,75
46 dias	3 ^a	1,50	1,50
42 dias	4 ^a	1,00	2,00
21 dias	5 ^a	0,50	2,50
71 dias	6 ^a	0,00	3,00

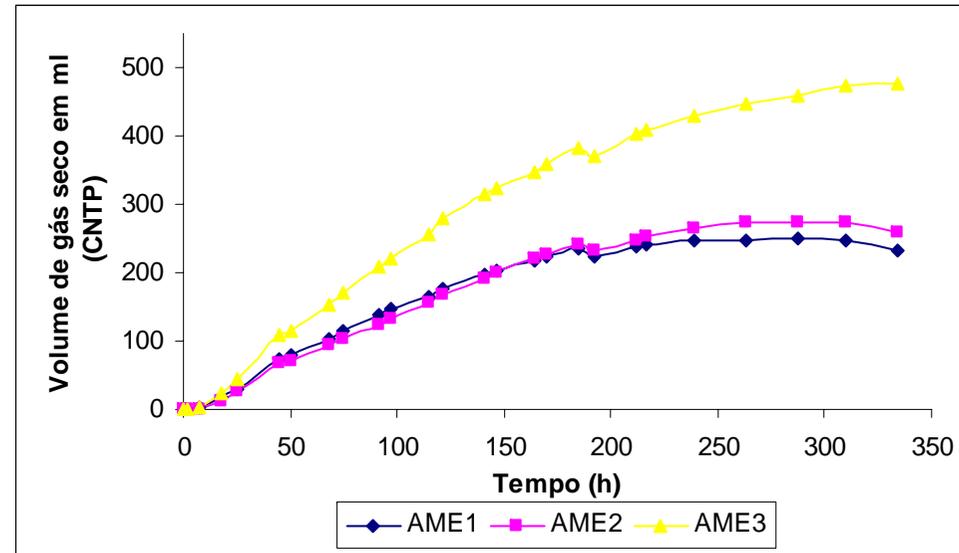
APÊNDICE D – Atividade Metanogênica Específica (AME).

As retas tangentes aos pontos de inflexão de cada curva e seus respectivos domínios em horas.

Gráficos 1, 2 e 3:



Gráficos 4: Volume acumulado de gás seco nas (CNTP) em ml para a análise do lodo do biodigestor.



APÊNDICE E - Perfil de Sólidos.

As concentrações de ST, SF e SV em cada nível de profundidade para o biodigestor em seus respectivos períodos de coleta, estão descritas nas Tab. 10, 11 e 12.

Tabela 10: Concentração de ST em g/Kg nos três níveis de profundidade.

Data	Sobrenadante (1)	Meio (2)	Lodo (2)
1/4/2004	6,45	7,63	14,26
11/5/2004	15,18	21,54	46,29
26/8/2004	10,53	10,58	43,73
22/9/2004	9,83	14,99	29,29

Tabela 11: Concentração de SF em g/Kg nos três níveis de profundidade.

Data	Sobrenadante (1)	Meio (2)	Lodo (3)
1/4/2004	1,84	3,72	5,48
11/5/2004	3,52	3,90	19,09
26/8/2004	3,34	4,31	15,89
22/9/2004	3,71	6,39	7,49

Tabela 12: Concentração de SV em g/Kg nos três níveis de profundidade.

Data	Sobrenadante (1)	Meio (2)	Lodo (3)
1/4/2004	1,84	3,72	5,48
11/5/2004	3,52	3,90	19,09
26/8/2004	3,34	4,31	15,89
22/9/2004	3,71	6,39	7,49