

Luciano dos Santos Rodrigues

T 636.033 4

R 636a

2003



**Avaliação "in vitro" da Eficiência de Diferentes Inóculos no Tratamento
Anaeróbio de Efluentes Líquidos de Suinocultura**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Medicina Veterinária.

Área: Epidemiologia

Orientador: Prof. Israel José da Silva

**Belo Horizonte
Escola de Veterinária – UFMG
2003**

R696a Rodrigues, Luciano dos Santos, 1975-
Avaliação "in vitro" da eficiência de diferentes inóculos no tratamento anaeróbico de efluentes líquidos de suinocultura / Luciano dos Santos Rodrigues. – 2003
61 p.: il.

Orientador: Israel José da Silva
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária
Bibliografia: p.

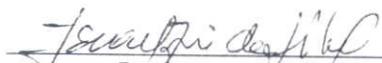
1. Suíno – Teses. 2. Digestão anaeróbica – Teses. 3. Resíduos de animais – Tratamento – Teses. I. Silva, Israel José da. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária. III. Título

CDD – 636.08



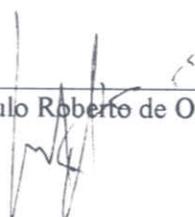
0349-90360

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2003, pela Comissão Examinadora constituída por:


Prof. Dr. Israel José da Silva
(Orientador)


Prof. Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos


Prof. Dr. Marcos Von Sperling


Prof. Dr. Paulo Roberto de Oliveira

*A Deus
A meus pais Célio e Clerionice
A meus irmãos Juliano e Lucimara
A todos meus parentes e amigos*

AGRADECIMENTOS

À meu orientador, professor Dr. Israel José da Silva, pela amizade e confiança a mim depositados.

À Banca Examinadora formada pelos professores: Cláudio Milton Montenegro Campos, Marcos Von Sperling e Paulo Roberto de Oliveira, pelas críticas e sugestões ao trabalho.

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pela oportunidade de realização deste trabalho.

À professora Christiane Maria Barcellos Magalhães da Rocha, pela amizade e incentivo durante o curso.

Aos amigos André Almeida Fernandes e Flávio Lúcio da Silva.

Aos Laboratórios de Saneamento do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Nutrição Mineral do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, e ao Laboratório de Análises Físico-químicas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG (DESA/UFMG), por possibilitarem a realização das análises necessárias a execução do trabalho.

À direção e aos funcionários da Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa, por todo apoio dado durante a fase experimental do trabalho.

À Deivid Alencar Ferreira pela amizade e apoio dado durante a fase experimental do trabalho.

SUMÁRIO

	LISTA DE ABREVIATURAS	10
	RESUMO	11
	ABSTRACT	11
1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVO	13
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	LITERATURA CONSULTADA	13
3.1.	Importância sanitária do tratamento de esgotos	13
3.2.	Características dos dejetos de suínos.....	13
3.2.1.	Características quantitativas	13
3.2.2.	Características qualitativas	14
3.3.	Caracterização da matéria orgânica	15
3.3.1.	Matéria orgânica carbonácea	15
3.3.2.	Matéria orgânica nitrogenada	16
3.4.	Principais processos de tratamento de dejetos de suínos.....	16
3.4.1.	Tratamento físico.....	16
3.4.2.	Tratamento químico.....	16
3.4.3.	Tratamento biológico.....	16
3.4.3.1.	Biorremediação e Bioaugmentação.....	17
3.5.	Digestão anaeróbia	18
3.6.	Fatores que afetam o processo de digestão anaeróbia	19
3.6.1.	Efeitos da temperatura no processo de digestão anaeróbia	21
4.	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1.	Considerações	22
4.2.	Definição dos experimentos.....	22
4.3.	Coleta e caracterização dos dejetos de suínos	22
4.4.	Inóculos.....	23
4.4.1.	Comercial	23
4.4.2.	Alternativos.....	23
4.5.	Determinações analíticas.....	27
4.6.	Análise estatísticas	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1.	Experimento I – Inverno.....	28
5.1.1.	Acidez, alcalinidade e pH.....	28
5.1.2.	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	31
5.1.3.	Demanda Química de Oxigênio Total (DQOt) e Relação DQOt/DBO ₅	33
5.1.4.	Nitrogênio amoniacal.....	35
5.1.5.	Sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis.....	36
5.2.	Experimento II – Verão	40
5.2.1.	Acidez, alcalinidade e pH.....	40
5.2.2.	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	43
5.2.3.	Demanda Química de Oxigênio Total (DQOt) e Relação DQOt/DBO ₅	44
5.2.4.	Nitrogênio amoniacal.....	46
5.2.5.	Sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis.....	47
5.3.	Análise conjunta dos experimentos I e II	51
5.3.1.	Temperatura	51

5.3.2.	Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos totais e Nitrogênio amoniacal	53
5.3.3.	Constante de Degradabilidade K.....	54
6.	CONCLUSÕES	55
7.	SUGESTÕES	55
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
9.	APÊNDICES	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.....	14
Tabela 2.	Características químicas dos dejetos de suínos (mg/l) obtida na Unidade do Sistema de Tratamento de Dejetos da EMBRAPA/CNPQA, Concórdia-SC.....	15
Tabela 3.	Características Físico-químicas do Inóculo bovino – A.....	23
Tabela 4.	Características Físico-químicas do Inóculo de cama de frango - B.....	24
Tabela 5.	Características Físico-químicas do Inóculo de esgoto doméstico - C.....	24
Tabela 6.	Valores (*) de Acidez em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	28
Tabela 7.	Valores (*) de Alcalinidade em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	30
Tabela 8.	Valores (*) de pH em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	31
Tabela 9.	Valores (*) de Demanda Bioquímica de Oxigênio em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno	32
Tabela 10.	Percentagem (%) de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	32
Tabela 11.	Valores (*) de Demanda Química de Oxigênio em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno...	34
Tabela 12.	Percentagem (%) de redução da Demanda Química de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno	34
Tabela 13.	Valores (*) de Nitrogênio Amoniacal em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno	36
Tabela 14.	Valores (*) de Sólidos Totais em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	37
Tabela 15.	Valores (*) de Sólidos Totais Voláteis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno	38
Tabela 16.	Valores (*) de Sólidos Sedimentáveis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno	39
Tabela 17.	Percentagem (%) de redução de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Sedimentáveis para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Inverno.....	39
Tabela 18.	Valores (*) de Acidez em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	41
Tabela 19.	Valores (*) de Alcalinidade em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	42
Tabela 20.	Valores (*) de pH em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	42

Tabela 21.	Valores (*) de Demanda Bioquímica de Oxigênio em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	43
Tabela 22.	Porcentagem (%) de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	44
Tabela 23.	Valores (*) de Demanda Química de Oxigênio em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	45
Tabela 24.	Porcentagem (%) de redução da Demanda Química de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	45
Tabela 25.	Valores (*) de Nitrogênio Amoniacal em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	47
Tabela 26.	Valores (*) de Sólidos Totais em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	48
Tabela 27.	Valores (*) de Sólidos Totais Voláteis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	49
Tabela 28.	Valores (*) de Sólidos Sedimentáveis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão.....	50
Tabela 29.	Porcentagem (%) de redução de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Sedimentáveis para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas – Verão	51
Tabela 30.	Valores médios de temperatura do ar e do líquido durante os dois experimentos (verão e inverno)	51
Tabela 31.	Valores médios da Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos totais e nitrogênio amoniacal	53
Tabela 32	Valores da Constante de Degradabilidade k para a DBO ₅ nas épocas do inverno e verão.....	54
Tabela 33	Valores da Constante de Degradabilidade k para a DQO _t nas épocas do inverno e verão.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Seqüências metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia	20
Figura 2.	Bateria de recipientes PET usadas no delineamento experimental	25
Figura 3.	Inóculos alternativos empregados na composição dos tratamentos	25
Figura 4.	Acidez do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	29
Figura 5.	Alcalinidade do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	30
Figura 6.	pH do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	31
Figura 7.	Demanda Bioquímica de Oxigênio do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	33
Figura 8.	Demanda Química de Oxigênio do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	34
Figura 9.	Relação DQO/DBO ₅ do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	35
Figura 10.	Nitrogênio Amoniacal do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	36
Figura 11.	Varição da concentração de Sólidos Totais nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	37
Figura 12.	Varição da concentração de Sólidos Totais Voláteis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	38

Figura 13.	Variação da concentração de Sólidos sedimentáveis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	40
Figura 14.	Acidez do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	41
Figura 15.	Alcalinidade do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	42
Figura 16.	pH do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	43
Figura 17.	Demanda Bioquímica de Oxigênio do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	44
Figura 18.	Demanda Química de Oxigênio do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	45
Figura 19.	Relação DQO/DBO ₅ do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	46
Figura 20.	Nitrogênio Amoniacal do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.....	47
Figura 21.	Variação da concentração de Sólidos Totais nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	48
Figura 22.	Variação da concentração de Sólidos Totais Voláteis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	49
Figura 23.	Variação da concentração de Sólidos sedimentáveis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica	50
Figura 24.	Variação da temperatura na Época 1 (inverno)	52
Figura 25.	Variação da temperatura na Época 2 (verão)	52

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio aos cinco dias

DQOt – Demanda Química de Oxigênio total

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

ST – Sólidos Totais

STV – Sólidos Totais Voláteis

SSe – Sólidos Sedimentáveis

SST – Sólidos Suspensos Totais

PET – Politerifalato de Etileno

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ASBR – Reator Anaeróbio Sequencial de Batelada

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do emprego de inóculos na degradação dos dejetos líquidos de suínos, em diferentes tempos de detenção hidráulica (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 horas) em duas épocas distintas (inverno e verão) denominados de experimento 1 e experimento 2. Foram utilizados um inóculo comercial na dose recomendada pelo fabricante e três inóculos alternativos à base de esterco bovino, cama de frango e esgoto doméstico, todos eles aplicados na dose de 5 ml/l, além do controle (sem inóculo). Os experimentos foram instalados na Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa, situada na cidade de Igarapé/MG. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três repetições, sendo que o ensaio de digestão anaeróbia foi realizado em recipientes de politerifalato de etileno (PET) de cor verde e com capacidade para dois litros. Após cada tempo de detenção foram realizadas as seguintes análises: acidez, pH, alcalinidade, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio total (DQO_t), nitrogênio amoniacal, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis, além do monitoramento das temperaturas do ar e do líquido. Os resultados foram analisados sendo realizadas análise de variância (ANOVA), teste de médias (Tukey-Kramer) para os inóculos e análise de regressão para os tempos de detenção hidráulica, além de análise conjunta das duas fases de (inverno e verão) avaliação referente ao efeito do tratamento na época do inverno e verão. No experimento 1 os inóculos comercial e alternativo à base de cama de frango promoveram maior redução de DBO_5 que os demais, sendo que o inóculo comercial promoveu uma redução de 68,5%, enquanto que o inóculo alternativo à base de cama de frango reduziu em 67,5%. No experimento 2, tanto os valores de redução de DBO_5 como o de DQO_t de todos os tratamentos foram semelhantes e menores que no inverno. Tanto no experimento 1 como no experimento 2, houve uma elevada redução de sólidos sedimentáveis, em todos os tratamentos.

Palavras-chave: efluentes de suinocultura, bioaugmentação, digestão anaeróbia

ABSTRACT

The present study had the purpose of evaluating the effect of the use of seeding material in the degradation of swine liquid waste at different times of hydraulic detention (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 hours) in two different seasons (winter and summer) named experiment 1 and experiment 2. One used a commercial seeding material according to the manufacture's dosage recommended and three alternative seeding material based on bovine manure, chicken manure, and domestic sewage, all of them applied at the dosage of 5 ml/l, besides the control (without seedling material). The experiments took place on Professor Helio Barbosa Experimental Farm, situated in the town of Igarapé/MG. It was used the entirely randomized outline in the scheme of subdivided fragments using three repetitions, such being that the polyethylene terifalato recipients (PET) with green color of two liters of capacity. After each detention time, the following analysis have been performed: acidness, pH, alkalinity, oxygen biochemical demand (DBO_5), total oxygen chemical demand (DQO_t), ammonia nitrogen, total solids, total solid volatile, settling solids, besides the air monitoring and liquid temperatures. The results have been analysed being performed the variance analysis (ANOVA), average test (Tukey-Kramer) for the seeding materials and regression analysis for the times of hydraulic detention besides the set analyses of the two seasons (winter and summer) of evaluation referred to the effects of the treatment. In the winter alternative seeding material based on chicken waste (manure) promoted a higher reduction of DBO_5 than the other ones, where as the commercial seeding materials has promoted a 68,5% reduction while the alternative seeding material based on chicken manure has reduced in 67,5%. In the experiment 2, as well the reduction values of DBO_5 as DQO_t of all treatments were similar and lower in the winter. As well in the experiment 1 as in the experiment 2, there has been a high reduction of settling solids in all treatments.

Keywords: swine liquid waste, bioaugmentation, anaerobic digestion

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande relevância no complexo agroindustrial brasileiro, por ser predominante de pequenas propriedades rurais, e por empregar um contingente significativo de mão-de-obra, parte preponderante de origem familiar. Os papéis de gerar emprego e renda, bem como da capacidade de produzir uma quantidade de alimento de alta qualidade, em reduzido espaço físico e curto espaços de tempo, comparada com outras espécies animais de médio e grande porte, fazem da atividade um importante instrumento de fixação do homem no campo, minimizando os problemas sociais advindos do êxodo rural (Oliveira, 1993; Talamini, 1999).

Segundo dados estimados da FAO (Food and Agriculture Organization) das Nações Unidas, no ano de 2001 a produção mundial de carne suína foi de 76.335 mil toneladas, sendo que o Brasil ocupava o 4º lugar, atrás da China, União Européia e Estados Unidos, com um rebanho de 31.310 milhões de cabeças e uma produção de 2.062 mil toneladas de carne suína por ano, representando 2,16% da produção mundial (Giroto, 2002).

O consumo de carne suína no Brasil de 12,44 Kg/hab/ano é relativamente baixo quando comparado ao de outros países, apesar das diversas campanhas de esclarecimento dos consumidores sobre a qualidade da carne suína realizadas pela Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS) nos últimos anos (Giroto, 2002).

As exportações brasileiras no ano de 2001 ficaram em torno de 220 mil toneladas de carne suína, levando o Brasil ao 4º lugar no ranking mundial. Dentre os principais compradores brasileiros se destacam Hong Kong, Argentina e atualmente a Rússia, que no ano 2001 importou 55% da carne suína brasileira exportada (Giroto, 2002).

A demanda por carne suína e seus derivados estimulou a expansão da criação

de suínos, resultando na intensificação dos criatórios em confinamento. Isso trouxe, em consequência, um grande aumento da quantidade de dejetos produzidos, os quais, inadequadamente tratados e reaproveitados, passaram a causar poluição ambiental. A nova realidade dos mercados consumidores, exigindo produtos de qualidade, preços competitivos e oriundos de sistemas não-poluidores do ambiente, passou a exercer crescente pressão para a reciclagem desses resíduos, dentro dos padrões aceitáveis sob o ponto de vista sanitário, econômico e ambiental (Seganfredo, 2000). Por isso, o estudo de alternativas de tratamento dos efluentes provenientes da suinocultura tornou-se necessário.

Dentre os vários processos existentes para o tratamento destes efluentes, o tratamento anaeróbio tem sido o mais utilizado, devido principalmente ao aproveitamento dos subprodutos na forma de biogás e fertilizantes orgânicos.

O tratamento anaeróbio é um processo altamente influenciado pelas condições ambientais. O processo pode apresentar desempenhos diferentes de acordo com a região e a época do ano, devido às condições climáticas. Dentre os fatores que afetam o processo anaeróbio, a temperatura é o fator físico que mais influencia. A reprodução e o crescimento das bactérias anaeróbias são mais lentos que o das bactérias aeróbias, o que traz como consequência a necessidade de maiores tempos de detenção hidráulica (TDH) para a degradação do material orgânico. Com isso, há a necessidade de estruturas de tratamento maiores, aumentando o custo e muitas vezes inviabilizando o uso de alguns sistemas de tratamento como, por exemplo, as lagoas de estabilização. Quando se consegue obter microrganismos externos capazes de acelerar o processo de degradação biológica, estes devem ser introduzidos no sistema com o intuito de aumentar a eficiência do sistema e diminuir o TDH.

2. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é estudar o efeito do emprego de diferentes inóculos na redução da carga orgânica dos efluentes líquidos de suinocultura.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do emprego de diferentes inóculos na redução do tempo de detenção hidráulica no tratamento anaeróbio de dejetos de suínos.
- Avaliar o efeito do tratamento sobre duas épocas do ano distintas (inverno e verão)

3. LITERATURA CONSULTADA

3.1. Importância sanitária do tratamento de esgotos

As ações de saneamento básico no meio rural são atividades importantes da saúde pública como meio de prevenção de doenças. O objetivo maior do saneamento é a promoção da saúde do homem, em seu mais amplo sentido "um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência da doença" (Rouquayrol, 1994).

Muitas doenças podem proliferar devido à carência de medidas de saneamento, como a não disponibilidade de água de boa qualidade, a má disposição dos dejetos domésticos e industriais, o destino inadequado do lixo, além de outros fatores que contribuem para uma maior incidência de doenças (Rouquayrol, 1994).

A contaminação da água se dá pela presença de microrganismos patogênicos e à poluição devido a presença de matéria orgânica em excesso ou produtos químicos nocivos (Rouquayrol, 1994).

Os poluentes ou contaminantes, quando presentes na água, podem resultar em danos ao homem, às outras formas de vida no próprio ambiente aquático. Um dos mais importantes aspectos da poluição das águas

é o relacionado ao fator higiênico, e às doenças de veiculação hídrica. Um corpo d'água receptor do lançamento de esgotos pode incorporar a si toda uma gama de agentes transmissores de doenças afetando alguns dos usos preponderantes a eles destinados, tais como abastecimento de água potável e balneabilidade (Von Sperling, 1996a).

É de fundamental importância o conhecimento da epidemiologia dos agentes transmissores de doenças presentes em um corpo d'água, a partir do seu lançamento até os locais de utilização. A presença destes agentes reflete as características sanitárias da população (humana e animal) da região. (Von Sperling, 1996a; IMPACTO..., 2000).

As águas dos cursos d'água contaminadas com microrganismos patogênicos, usadas para consumo doméstico, dessedentação de animais ou irrigação de culturas, podem servir de veículo na transmissão de doenças ao homem e aos animais através dos vírus, bactérias, protozoários e helmintos. As patologias causadas por estes organismos no homem, são variáveis, podendo se apresentar na forma de simples diarreia até a gastroenterite severa, hepatites, meningites, infecções respiratórias, alterações neurológicas, dentre outras. Nos animais, além das patologias citadas precedentemente, deve-se avaliar o risco de condenação de vísceras e de carcaças que causam severos prejuízos ao sistema de produção (IMPACTO..., 2000).

O controle da poluição da água deve ser essencialmente preventivo, sendo a medida mais eficaz a implantação de sistemas sanitários de coleta e remoção de esgotos domésticos e industriais (Rouquayrol, 1994).

3.2. Características dos dejetos de suínos

3.2.1. Características Quantitativas

As práticas de manejo de suínos que utilizam uma grande quantidade de água para dessedentação dos animais, como também para a adequação da ambiência

destes, são fatores essenciais para a produtividade. O desperdício de água que se observa no manejo da maioria das granjas de produção, com descontrole de uso, vazamentos e escorrimentos contínuos agravam os problemas com dejetos de suínos.

O volume produzido depende do tipo da criação, construções, alimentação, distribuição de água, manejo adotado e estado psicológico dos animais.

As variações quantitativas e qualitativas dos dejetos produzidos estão basicamente associadas ao sistema de manejo utilizado, onde o volume de dejetos como sua composição química, dependem de inúmeros fatores (Silva, 1996).

A quantidade total de dejetos líquidos produzidos por um suíno varia de acordo com o seu estágio de desenvolvimento. Variando de 8,5% a 4,9% do seu peso vivo por dia, para uma faixa de peso de 15 a 100 Kg. Um dos componentes que influi na quantidade de dejetos líquidos é a produção de urina que está diretamente ligada à ingestão de água pelo animal (Tab. 1). Loehr (1974), indica que a quantidade de urina corresponde a 30% do peso total dos excrementos. A quantidade de água desperdiçada pelos bebedouros e usada na higienização das instalações também contribui para o aumento do volume diário (Oliveira, 1993).

Tabela 1 – Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos

Fases de Produção	Esterco Kg/dia	Esterco + Urina Kg/dia	Dejetos Líquidos l/dia	m ³ /animal/mês Dejetos Líquidos
25 – 100 Kg	2,30	4,90	7,00	0,25
Porcas	3,60	11,00	16,00	0,48
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00	0,81
Macho	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,27

Konzen (1980)

Botelho (1983), avaliando o consumo médio diário de água e volume de efluente residual de bovinos, suínos e aves, relata um consumo diário para porcas em lactação e gestação de respectivamente 9,5% e 8,5% do seu peso vivo/dia, e um volume de efluente de respectivamente 75% e 79% do total de água consumida (bebida, perdas e lavagem das instalações).

Silva (1973) encontrou a produção de um volume diário de dejetos de suínos de 5% do seu peso em animais com 100 Kg de peso vivo.

Loehr (1974) encontrou para suínos de 45 Kg de peso vivo, uma quantidade de dejetos correspondente a 6% do seu peso vivo.

3.2.2. Características Qualitativas

Os dejetos de suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo produtivo (Konzen, 1983).

Os dejetos podem apresentar grandes variações em seus componentes, dependendo do sistema de manejo adotado e, principalmente, da quantidade de água e nutrientes em sua composição.

Os valores de DBO₅ variam de acordo com o ciclo produtivo de 32 g/cab de DBO₅ para leitões desmamados até 340 g/cab para porcas com leitões (Oliveira, 1993).

Silva (1973) encontrou valores de DBO_5 variando de 150 a 240 g/cab/dia, em animais pesando de 70 a 115 Kg, com uma média de 180 g/cab/dia de DBO_5 para animais com 100 Kg de peso. O mesmo autor relata valores da relação $DBO_5/DQOt$ de 0,45 para animais de 100 Kg, sólidos voláteis de 295 a 330 g/cab/dia, sólidos totais de 360 a 410 g/cab/dia para animais de 70 a 115 Kg, e pH variando de 6,9 a 7,7.

Em média, os suínos produzem 6700 g/dia de dejetos contendo uma umidade de 75 a

85%, valores de DBO_5 , sólidos totais e voláteis variando de 200 – 250, 500 – 970 e 350 – 800 g/dia respectivamente para animais com 100 Kg de peso (Oliveira, 1993).

A Tabela 2 a seguir mostra algumas características químicas dos dejetos de suínos em termos de concentração (mg/l) descritas por Silva (1996) e Medri (1997) em seus trabalhos desenvolvidos na unidade de crescimento de suínos da EMBRAPA/CNPISA em Concórdia-SC.

Tabela 2 – Características químicas dos dejetos de suínos (mg/l) obtida na Unidade do Sistema de Tratamento de Dejetos da EMBRAPA/CNPISA, Concórdia-SC

Parâmetro	Mínimo		Máximo		Média	
	Silva	Medri	Silva	Medri	Silva	Medri
DQOt	11530	4300	38448	81200	25543	21647
Sólidos totais	12697	4209	49432	78866	22399	17240
Sólidos totais	8429	2777	39024	66534	16389	10266
voláteis						
Sólidos totais fixos	4268	1584	10408	56190	6010	6974
Sólidos sedimentáveis	220	-	850	-	429	-
Nitrogênio total	1660	1018	3710	4451	2374	2205
Fósforo total	320	119	1180	2306	578	633
Potássio total	260	-	1140	-	536	-

Fonte: Silva (1996) e Medri (1997)

3.3. Caracterização da matéria orgânica

3.3.1. Matéria Orgânica Carbonácea

Segundo Von Sperling (1996b), a matéria orgânica carbonácea presente nas águas residuárias pode ser dividida quanto ao tamanho, forma e biodegradabilidade. Quanto ao tamanho e forma, ela pode ser dividida em suspensa (particulada) ou dissolvida (solúvel), e quanto à biodegradabilidade em inerte ou biodegradável. A matéria orgânica inerte passa pelo sistema de tratamento sem nenhuma mudança na sua forma, e podem ser identificadas duas frações com relação ao estado físico: uma fração solúvel que não sofre transformações, deixando o sistema na mesma concentração em que entrou, e uma fração particulada que é envolvida pela biomassa, sendo removida conjuntamente com o lodo.

A matéria orgânica biodegradável sofre alterações na sua passagem pelo sistema, sendo identificadas duas frações com relação à facilidade de degradação e, indiretamente, ao estado físico: uma rapidamente biodegradável que se apresenta usualmente na forma solúvel, consistindo de moléculas simples, que podem ser utilizadas diretamente pelas bactérias heterotróficas, e uma lentamente biodegradável que se apresenta na forma particulada, embora possa haver matéria orgânica solúvel de degradação lenta. Este material de degradação lenta consiste de moléculas relativamente complexas, que não são utilizadas diretamente pelas bactérias, sendo necessário um mecanismo de conversão da matéria orgânica particulada em matéria orgânica solúvel. Este mecanismo de conversão é denominado hidrólise (Von Sperling, 1996b).

3.3.2. Matéria Orgânica Nitrogenada

A matéria nitrogenada pode ser inorgânica ou orgânica. A matéria nitrogenada inorgânica é representada pela amônia, tanto na forma livre (NH_3) quanto na forma ionizada (NH_4^+).

A matéria nitrogenada orgânica divide-se, de forma similar à matéria carbonácea, também em duas frações quanto à biodegradabilidade: inerte (solúvel e particulada), e biodegradável (rapidamente biodegradável, lentamente biodegradável e amônia) (Von Sperling, 1996).

3.4. Principais processos de tratamento dos dejetos de suínos

Vários são os processos de tratamento (físico, químico e biológico) 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 como: características dos dejetos e do local, operações e recursos financeiros e que atendam a legislação ambiental (Diesel, 2002). Portanto, constitui-se um grande desafio tecnológico, o desenvolvimento de sistemas de tratamento para resíduos de origem animal, que reduzam os custos de investimento, requeiram o mínimo custo operacional, e que permitam a fácil disposição dos subprodutos, de forma a gerar um desenvolvimento sustentado, garantindo desta forma a sobrevivência da suinocultura e minimizando os impactos ambientais (Dalavéquia, 2000).

3.4.1. Tratamento Físico

Existem basicamente duas formas de tratamento físico dos dejetos de suínos: a separação de fases e a desidratação. Na separação de fases ocorre a separação das partículas maiores contidas nos dejetos da fração líquida, e pode ser efetuada através dos processos de decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem. Já na desidratação ocorre a redução do conteúdo de umidade presente nos dejetos (Oliveira, 1993).

3.4.2. Tratamento Químico

A adição de produtos químicos em águas residuárias tem por finalidade precipitar partículas e material coloidal e deste modo reduzir a demanda de oxigênio (Loehr, 1974). Segundo o mesmo autor, este método não é apropriado para remoção de compostos orgânicos solúveis, mas sim compostos inorgânicos solúveis, semelhantes aos fosfatos, que são removidos através da formação de precipitados insolúveis.

O uso da precipitação através de produtos químicos é justificado na remoção do fósforo nos dejetos animais, quando estes não são aproveitados na fertilização dos solos ou quando se procede a separação de fases, utilizando-se parte como fertilizante e tratando-se a outra parte para descarga em águas superficiais (Oliveira, 1993). Os produtos mais usados na precipitação do fósforo são a cal, e os sais de alumínio e ferro.

3.4.3. Tratamento Biológico

O processo biológico divide-se em aeróbio e anaeróbio. No processo aeróbio, a estabilização dos despejos é realizada por microrganismos aeróbios e facultativos; no processo anaeróbio os microrganismos atuantes são os facultativos e os anaeróbios (Braile, 1979).

A essência dos processos biológicos de tratamento de esgotos reside na capacidade dos microrganismos envolvidos utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, transformando-os em subprodutos que podem ser removidos do sistema de tratamento. Os subprodutos formados podem se apresentar na forma sólida (lodo biológico), líquida (água) ou gasosa (gás carbônico, metano, H_2S). Qualquer que seja o processo utilizado, aeróbio ou anaeróbio, a capacidade de utilização dos compostos orgânicos depende da atividade microbiana da biomassa presente (Chernicharo, 1997).

Vários sistemas de armazenamento e tratamento de dejetos de suínos têm sido utilizados em todo mundo, sendo os

principais: a bioesterqueira, a esterqueira, separação de fases, as lagoas de estabilização (anaeróbias, facultativas e maturação), compostagem e reatores anaeróbios (Dalaváquia, 2000).

3.4.3.1. Biorremediação e Bioaugmentação

A utilização de microrganismos promotores de degradação de resíduos orgânicos tem sido uma alternativa que deve ser considerada. Vários autores relatam uma boa redução de carga orgânica realizada por microrganismos (Schneider, 1990; Cañizares et al., 1993).

O termo que vem sendo utilizado para o uso de agentes biológicos para degradar ou tornar não-perigosos alguns produtos é a biorremediação. Este termo pode ser usado para definir o processo de degradação e mineralização de resíduos orgânicos que compõe o ciclo do carbono, realizado por microrganismos ou por enzimas secretadas por eles. Estes microrganismos envolvidos na biorremediação podem ser divididos em duas categorias: endógenos e exógenos. Os microrganismos endógenos, também chamados de nativos, geralmente não apresentam boa eficiência na degradação, pois não são especializados em decompor produtos específicos como lipídios e ligninas. Eles degradam primeiro o material menos resistente como fonte de energia para o seu crescimento. Os microrganismos exógenos, ao contrário dos endógenos podem ser eficientes na degradação de resíduos (Schneider, 1991).

Apesar da ocorrência generalizada de microrganismos capazes de degradar compostos orgânicos, existem fatores limitantes da biorremediação que devem ser avaliados. A análise da biotratabilidade define a viabilidade de uso de bioprocessos para tratar determinado problema, no qual se identificarão, principalmente, os fatores limitantes e as maneiras de solucioná-los. Para conseguir uma efetiva biodegradação são necessárias a presença de microrganismos ou de consórcios apropriados e as condições ambientais adequadas para a atividade biológica. A proporção e a disponibilidade de

contaminantes, substratos e nutrientes, as condições de umidade, a aeração e temperatura e a presença de compostos inibitórios são fatores que geralmente limitam o processo de biorremediação (MICROORGANISMOS..., 1994).

Outro termo também utilizado é a bioaugmentação, definida por Macêdo (2000) como sendo a suplementação de microrganismos externos de ocorrência natural, tais como bolores e leveduras e, principalmente bactérias, na unidade de tratamento biológico. Os aditivos bioquímicos para a bioaugmentação são produtos biotecnológicos compostos por consórcios de bactérias saprofíticas de ocorrência natural, não patogênica, além de enzimas e nutrientes necessários a uma ótima atividade degradativa desses microrganismos, que permitirão adequar o efluente às exigências legais para seu lançamento em um curso hídrico ou até mesmo permitir o reuso do efluente tratado.

A estabilização de efluentes de características orgânicas se baseia na ação de enzimas, que são metabolizadas pelos microrganismos, levando à formação de compostos inorgânicos como CO_2 , SO_4^{-2} , NO_3^{-1} , e água, gerando também uma biomassa, que resulta do processo de crescimento bacteriano e a massa resultante após a estabilização da matéria orgânica (Macêdo, 2000).

Em função da variedade de bactérias e enzimas associadas, que trabalham em simbiose, é necessário um certo período para a obtenção dos resultados almejados, pois o programa de bioaugmentação procura atingir um estágio de equilíbrio entre a microbiota no tratamento biológico e os novos microrganismos adicionados. A manutenção de uma dinâmica como esta só é possível com a adição de microrganismos externos que passaram por um processo seletivo de adaptação, em laboratório e no campo, nas condições adversas do meio, levando à formação de um pool genético capaz de exercer a chamada "degradação de alta taxa" (Rosa, 1995).

Segundo Rosa (1995), os principais resultados que se conseguem alcançar com um programa de bioaugmentação são:

- Eliminação do acúmulo de camadas de gordura;
- Aumento da remoção de DBO₅ e DQO;
- Maximização do desempenho e performance de ETE's;
- Controle do crescimento de bactérias filamentosas;
- Controle da formação de espuma em tanques de aeração e digestores;
- Redução da necessidade de aeração;
- Aumento da digestão de sólidos;
- Aumento da resistência a choques de carga tóxica e sobrecarga orgânica;
- Ocorrência da biodegradação de compostos orgânicos recalcitrantes;
- Controle dos níveis de nitrificação;
- Melhora significativa da clarificação de efluentes;
- Eliminação dos depósitos e assoreamento de lodo;
- Redução e eliminação da formação de odores;
- Facilitação e ampliação da capacidade de bombeamento e de desaguamento.

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do processo de bioaugmentação no tratamento de efluentes orgânicos, inclusive para os dejetos de suínos. Schneider (1991) relata a utilização de microrganismos na redução da amônia em criações de suínos. Neste caso os tanques que recebiam os dejetos eram tratados diariamente com os microrganismos, trazendo como consequência a oxidação do nitrogênio amoniacal (amônia), e com isso a redução do odor, da população de moscas e acumulação de sólidos. Um outro estudo da utilização de microrganismos no tratamento de dejetos de suínos foi realizado na Inglaterra, em que depois de várias semanas de tratamento, os níveis de amônia diminuíram até 50%. Essa redução foi constante por vários meses, com tratamento diário contínuo.

No Brasil há também vários exemplos da utilização de microrganismos no tratamento de dejetos de suínos, como o que relata Ibsizuka (1997), numa criação de suínos no

estado de Santa Catarina. Neste caso foi utilizado um produto comercial na forma de grânulos por um período de 2,5 meses, sendo aplicado a cada 14 dias tendo como resultado, uma eficiência de remoção de sólidos totais, fixos e voláteis de 84,1%, 77,5% e 87,9%, respectivamente, nitrogênio amoniacal de 86,7%, fósforo total de 92,2% e DQOt de 91,6%.

Rosales (2001), estudando a aplicação de inóculos em esterqueiras, constatou que estes produtos melhoraram as características macroscópicas, como mau cheiro e redução na viscosidade, facilitando o manejo do esterco. Os inóculos também apresentaram eficiência na redução de parâmetros físico-químicos, tais como Nitrogênio amoniacal, DBO₅ e SST.

Duda (1997) avaliou a influência de dois tipos de inoculantes (comercial e alternativo a base de esterco bovino) na degradação de resíduos líquidos de suínos, com diferentes tempos de detenção (0, 12, 24, 36 e 74 horas) e diferentes doses, sendo que os dois inóculos utilizados proporcionaram diminuição da DBO₅, DQOt e dos sólidos sedimentáveis.

3.5. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial. As bactérias metanogênicas desempenham duas funções primordiais: elas produzem um gás insolúvel (metano), possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente anaeróbio, além de utilizarem o hidrogênio, favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, o qual é convertido a metano (Chernicharo, 1997).

Segundo Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), como a seguir:

Hidrólise: na hidrólise ocorre a conversão de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (monômeros), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Esta conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

Acidogênese: os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos compostos mais simples, os quais são então excretados pelas células. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas.

Acetogênese: as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário, que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato.

Metanogênese: a etapa final no processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As bactérias

metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. As bactérias metanogênicas podem formar o metano por duas formas principais: uma utilizando o ácido acético ou o metanol (acetoclásticas), e um outro grupo que produz o metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono (hidrogenotróficas).

O processo de digestão anaeróbia é mostrado na Figura 1.

As bactérias metanogênicas são bastante sensíveis às condições ambientais. Caso ocorra redução na sua taxa de reprodução, ocorre acúmulo de ácido com interrupção da conversão de DBO₅ e geração de maus odores (Von Sperling, 1996c).

3.6. Fatores que afetam o processo de digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que requer uma interação das bactérias fermentativas e metanogênicas. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Atenção especial deve ser dispensada às bactérias metanogênicas, consideradas as mais vulneráveis às mudanças das condições ambientais. Os principais requisitos ambientais da digestão anaeróbia são: nutrientes, temperatura, pH, alcalinidade e ácidos voláteis (Chernicharo, 1997).

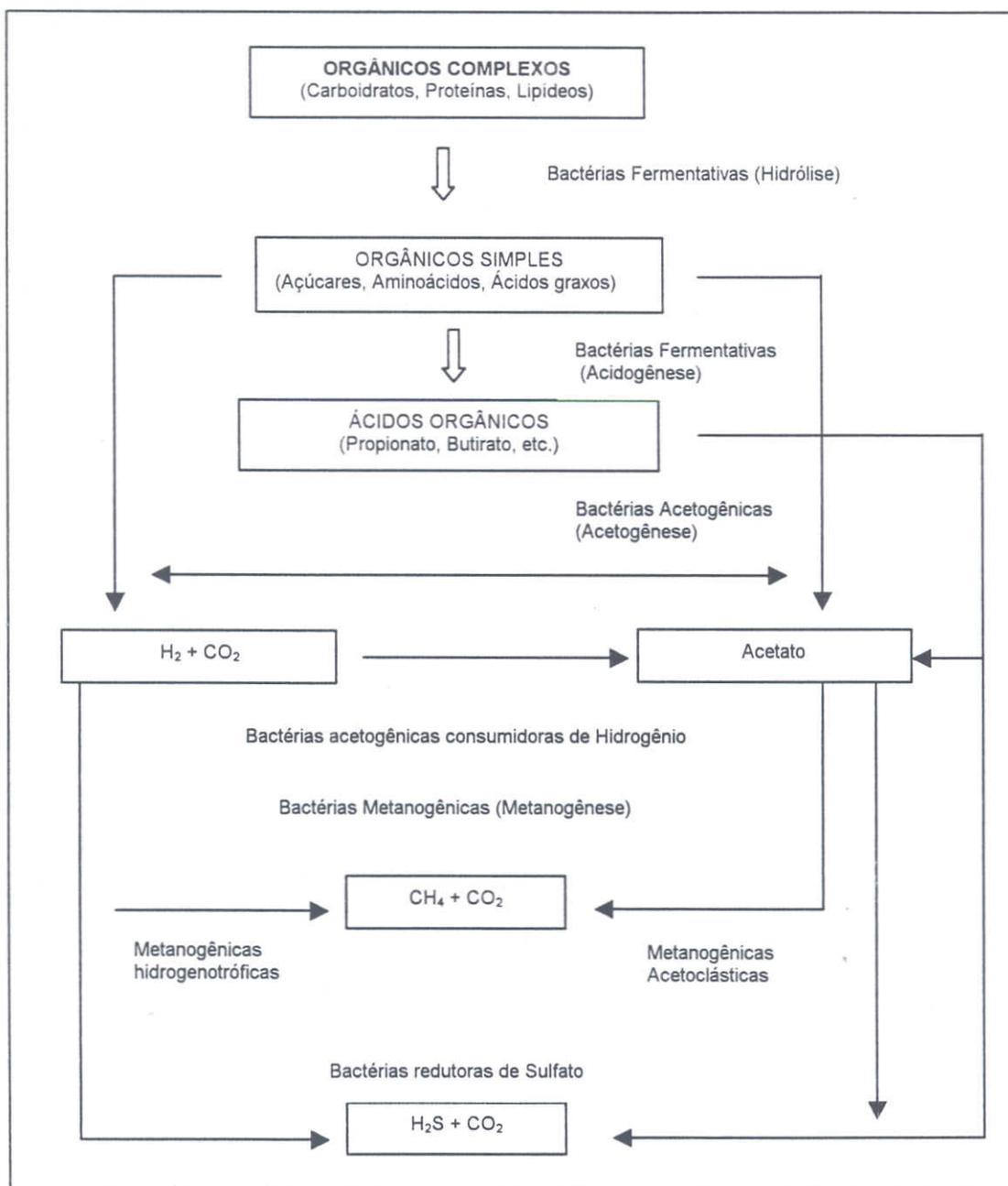


Figura 1 - Seqüências metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia (Chernicharo, 1997).

3.6.1. Efeitos da Temperatura no Processo de Digestão Anaeróbia

Dentre os fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies. Os microrganismos não possuem meios de controlar sua temperatura interna e, dessa forma, a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura ambiente externa.

Três faixas de temperatura são normalmente associadas ao crescimento microbiano na maioria dos processos biológicos: faixa psicrófila (entre 0 a 20°C), faixa mesófila (20 a 45°C) e faixa termófila (45 a 70°C). Em cada uma dessas faixas, onde o crescimento microbiano é possível, são normalmente associados três valores de temperatura para caracterizar o crescimento das espécies de microrganismos:

- Temperatura mínima: abaixo da qual o crescimento não é possível;
- Temperatura máxima: acima da qual o crescimento também não é possível;
- Temperatura ótima: onde o crescimento é máximo.

A taxa de crescimento microbiano em temperaturas próximas à mínima é tipicamente baixa, mas aumenta exponencialmente com o acréscimo da temperatura, atingindo o máximo à temperatura ótima. A partir do ponto de crescimento ótimo, o aumento de alguns poucos graus provoca uma queda abrupta na taxa de crescimento, até o valor zero (Chernicharo, 1997).

A temperatura afeta a velocidade de decomposição da matéria orgânica e está diretamente ligada ao controle da velocidade de crescimento dos microrganismos. Na faixa de temperatura entre 30° a 37°C é que as bactérias da biometanização melhor fermentam os seus metabólitos e, principalmente, as metanogênicas. Em temperaturas inferiores ocorre uma menor produção de metano, vindo a cessar abaixo de 10°C (OLIVEIRA, 1993).

Zhang et al (1994) estudou o comportamento do processo anaeróbio na estabilização de resíduos orgânicos de suínos em um reator ASBR (Reator Anaeróbio Seqüencial de Batelada), operado à temperatura de 25°C e TDH de 2, três e seis dias. Constatou-se uma boa performance em todos os TDH, mas com destaque para o reator operado com TDH de três dias.

Ndon (1997) e Banik (1997), estudando o efeito da temperatura e TDH no tratamento de águas residuárias em reator ASBR, observaram que para baixas temperaturas e baixos TDH a eficiência de remoção de matéria orgânica foi baixa, enquanto que para altas temperaturas a eficiência foi alta.

Viraraghavan (1996), estudando os efeitos da temperatura na eficiência do tratamento de águas residuárias no processo de filtro anaeróbio com efluentes provenientes de tanque séptico, laticínio, matadouro, fábricas de processamento de batata, constatou que houve maior eficiência de remoção de DBO₅ e DQO nos filtros anaeróbios operados nas temperaturas maiores e os efeitos da temperatura não foram pronunciados a altos TDH. Para os filtros anaeróbios operados a baixas temperaturas, a variação do TDH afetou a eficiência do filtro:

Hardoim (1999), estudando os efeitos da temperatura no tratamento anaeróbio dos dejetos de bovinos de leite em biodigestores com TDH variando entre 10 e 30 dias, observou uma tendência de redução na eficiência de remoção dos sólidos voláteis à medida que se reduzia o TDH e também quando se reduzia a temperatura. Também constatou que com altos valores de TDH, quanto maior a temperatura, maior a redução. Contudo, para baixos valores de TDH as temperaturas intermediárias foram as mais eficientes na redução de sólidos voláteis.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Considerações

Foram desenvolvidos dois experimentos com o objetivo de se avaliar o emprego de inóculos comerciais e alternativos (in vitro) na redução da carga orgânica dos dejetos de suínos, através do processo anaeróbio.

Os experimentos foram instalados e conduzidos em duas épocas distintas (inverno e verão) junto às instalações da suinocultura da fazenda Experimental da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizada no município de Igarapé, Minas Gerais.

A região possui clima tropical úmido, seco no inverno e chuvoso no verão, com precipitação média anual de 1400mm e temperatura média anual de 22,2°C, sendo que no inverno a temperatura média é de 18,5°C e no verão de 22,4°C, sendo identificado como Aw pela classificação de KOPPEN (BRASIL, 1992).

4.2. Definição dos experimentos

Foram estudados o emprego de inóculos (in vitro) no tratamento anaeróbio de dejetos de suínos em relação ao tempo de detenção hidráulica (TDH) em duas épocas distintas (inverno e verão). Foram utilizados quatro tipos de inóculos, sendo um comercial (inóculo D) e três alternativos: inóculo à base de esterco bovino (inóculo A), inóculo à base de cama de frango (inóculo B) e inóculo à base de esgoto doméstico (inóculo C). Os tempos de detenção hidráulico utilizados foram 0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 horas.

Foram utilizados no experimento dejetos líquidos de suínos provenientes da suinocultura da Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa, situada na cidade de Igarapé/MG.

O delineamento utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), no esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas dos quatro inóculos mais o controle (ausência de inóculo), e as

subparcelas constituídas dos tempos de detenção hidráulica (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 horas). Cada unidade experimental era composta por um recipiente plástico tipo PET (Politereftalato de etileno) de cor verde com capacidade de dois litros.

Foi considerado como modelo hidráulico do reator, o fluxo intermitente (batelada), no qual não há fluxo entrando ou saindo. A entrada dos dejetos no reator era feita uma única vez, no início do experimento, e a saída eram realizadas de acordo com o término de cada tratamento em função do TDH.

Em termos de padrão de mistura foi utilizado o fluxo em pistão, em que o fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais dentro do reator.

4.3. Coleta e caracterização dos dejetos de suínos

Os dejetos de suínos utilizados para a condução do experimento foram provenientes dos setores de recria e terminação da suinocultura. Por se tratar de um efluente muito variável em suas características qualitativas e quantitativas, fez-se necessária a medição da vazão antes da coleta. Antes de cada período de análises foram feitas medições de vazão em três datas anteriores à coleta, através de recipientes graduados em pequenos intervalos de tempo, sendo o seu cálculo realizado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Vazão (l/s)} = \text{Volume (l)} / \text{tempo (s)}$$

A partir dos resultados obtidos foi feita então uma curva de vazão, a partir da qual programou-se a coleta do volume necessário para a condução do experimento.

A variação e a curva de vazão das duas épocas são mostradas nas Tabelas 1A e 2A e nas Figuras 1A e 2A do apêndice.

O volume utilizado foi em torno de 220 litros, que foram homogeneizados em um tambor e então distribuídos nos tratamentos.

4.4. Inóculos

4.4.1. Inóculo Comercial

O inóculo comercial é um aditivo desodorizante recomendado para lagoas anaeróbias, que possui como componentes básicos: antiespumante, propionato de cálcio, água, e extrato de *Yucca schidigera* (10% por Kg de produto).

Para a inoculação do inoculo comercial nos respectivos tratamentos, foi necessário realizar diluições, para que se conseguisse então aplicar a dose especificada pelo fabricante (450 gramas para cada 70000 litros de lagoa). Após as diluições a dose aplicada nos tratamentos foi de 1 ml de inóculo para cada litro de dejetos, sendo a inoculação realizada à temperatura ambiente.

4.4.2. Inóculos Alternativos

Os inóculos utilizados foram respectivamente esterco fresco de bovino, cama de frango e esgoto fresco coletado de uma estação de tratamento de esgotos localizada no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para preparação dos inóculos à base de esterco bovino (A) e de cama de frango (B),

foram coletados os resíduos nas instalações dentro da própria fazenda, ocorrendo a diluição em uma proporção de 2:1 (água:esterco) para o inóculo à base de esterco bovino e 3:1 (água:cama de frango) para o inóculo à base de cama de frango. Após a diluição, estes foram peneirados e deixados em repouso por 24 horas para posteriormente ser feita a inoculação, que se procedeu à temperatura ambiente na dose de 5 ml de inoculo por cada litro de dejetos.

Para o preparo do inóculo à base esgoto doméstico (C) fez-se a coleta do esgoto fresco na estação de tratamento de esgotos do Laboratório de Instalações Piloto (LIP) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE-UFMG), este foi deixado em repouso por 48 horas e aplicado em temperatura ambiente na dose de 5 ml de inoculo por cada litro de dejetos.

Tanto as concentrações dos resíduos utilizados para a preparação dos inóculos alternativos como as doses a ser aplicada nos tratamentos foram definidas de acordo com trabalhos realizados por Duda (1997) e Souza (2000), e através de experimento piloto realizado antes da instalação dos experimentos.

Tabela 3 – Características Físico-químicas do Inóculo bovino – A

Características	Descrição
Estado físico	Líquido
Aparência	Líquido turvo
Odor	característico
Cor	verde-escuro
Toxicidade	Não- avaliada
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	4260 mg/l
Demanda Química de Oxigênio total (DQOt)	10578 mg/l
ph	7,25
Alcalinidade	1864 mg/l
Acidez	278 mg/l
Nitrogênio amoniacal	74,5 mg/l
Sólidos Totais	13814 mg/l

Tabela 4 – Características Físico-químicas do Inóculo de cama de frango – B

Características	Descrição
Estado físico	Líquido
Aparência	líquido turvo
Odor	característico
Cor	Amarelo-palha
Toxicidade	não- avaliada
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	3505 mg/l
Demanda Química de Oxigênio total (DQOt)	4657 mg/l
pH	7,04
Alcalinidade	4115 mg/l
Acidez	616 mg/l
Nitrogênio amoniacal	1021 mg/l
Sólidos Totais	5853 mg/l

Tabela 5 – Características Físico-químicas do Inóculo de esgoto doméstico – C

Características	Descrição
Estado físico	Líquido
Aparência	líquido turvo
Odor	Característico
Cor	Cinza-escuro
Toxicidade	não- avaliada
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	191 mg/l
Demanda Química de Oxigênio total (DQOt)	349 mg/l
pH	7,0
Alcalinidade	168 mg/l
Acidez	32 mg/l
Nitrogênio amoniacal	40,32 mg/l
Sólidos Totais	973 mg/l

Tabela 1B – Análise de variância para alcalinidade, acidez, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), relação DQO/DBO, nitrogênio amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), e sólidos sedimentáveis (Sse), para o experimento 1

Variável	Efeito principal		Interação	CV (%)
	Bioaditivo	TDH	Bioaditivo x TDH	
Acidez	**	**	**	23,44
Alcalinidade	**	**	**	4,59
pH	**	**	ns	3,49
DBO	**	**	**	23,14
DQO	**	**	ns	24,38
Relação DBO/DQO	**	**	*	25,56
Nitrogênio amoniacal	**	**	**	2,96
ST	**	**	**	9,22
STV	**	**	**	11,42
Sse	**	**	ns	49,27

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F

* e ** - significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 2B – Análise de variância para alcalinidade, acidez, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), relação DQO/DBO, nitrogênio amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), e sólidos sedimentáveis (Sse) para o experimento 2

Variável	Efeito principal		Interação	CV (%)
	Bioaditivo	TDH	Bioaditivo x TDH	
Acidez	**	**	**	12,09
Alcalinidade	**	**	**	6,44
pH	**	**	**	1,17
DBO	**	**	*	11,94
DQO	**	**	ns	19,90
Relação DBO/DQO	**	**	ns	21,06
Nitrogênio amoniacal	**	**	**	4,31
ST	**	**	**	7,15
STV	**	**	*	7,95
Sse	**	**	ns	35,23

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F

* e ** - significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste de F.

4.5. Determinações analíticas

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Escola de Veterinária, localizado na Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa, no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária e no Laboratório de Análises Físico-Químicas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Escola de Engenharia.

As seguintes análises foram realizadas: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), e sólidos sedimentáveis (Sse), nitrogênio amoniacal, alcalinidade, acidez, pH, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 18th da APHA - AWWA - WPCF (1992).

Durante todo o experimento foram monitoradas a temperatura do líquido e do ar, medidas estas realizadas com uma frequência de cinco vezes ao dia. No caso da temperatura do ar, foram também medidas as temperaturas máximas e mínimas diárias. Para a medida da temperatura do líquido foi utilizado um termômetro de mercúrio, e para as medidas da temperatura do ambiente foi utilizado um termo-higrômetro instalado junto ao experimento.

4.6. Análise estatísticas

As análises estatísticas dos resultados foram efetuadas através dos programas

Excel 2000 e do programa Sisvar, versão 4.3, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A análise de variância (ANOVA) foi feita para verificar a interação entre os inóculos e o tempo de detenção hidráulica (TDH), bem como se houve diferença significativa dentro de cada um desses efeitos. O desdobramento da interação é indicado quando esta for significativa (Pimentel Gomes, 1982; Ferreira, 1991; Sampaio, 1998), todavia, optou-se por desdobrá-la, mesmo que não fosse significativa para fins de estudo da carga orgânica pela aplicação do inóculo. Sendo a variável inóculo qualitativa, foi utilizado o teste de médias (Tukey) para comparar o efeito do inóculo dentro de cada tempo. Para comparar o efeito do tempo de detenção hidráulica dentro de cada inóculo foi feita a análise de regressão. Além da análise de regressão foi feito também o teste de médias (Tukey) para comparar o efeito dos diversos tempos.

Os critérios utilizados para a escolha dos modelos foram a significância dos coeficientes em nível de 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F e o coeficiente de determinação ajustado (R^2).

Quando se obteve mais de uma equação com os termos significativos, para uma mesma variável, escolheu-se aquela que apresentou maior R^2 .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento 1 – Inverno

5.1.1. Acidez, Alcalinidade e pH

A acidez, alcalinidade e o pH estão intimamente relacionados e são igualmente importantes para o controle e a operação adequada dos processos anaeróbios (Chernicharo, 1997).

Os resultados referentes à acidez, alcalinidade e pH, para os diferentes inóculos estudados, estão apresentados nas Tabelas 6 (acidez); 7 (alcalinidade); 8 (pH) e nas Figuras 4, 5 e 6 respectivamente.

Pela análise da Tabela 6, pode-se observar que apenas nos tempos 30, 60 e 120 horas houve diferença significativa entre os diversos inóculos, sendo que o controle apresentou valores de acidez maiores que

os outros inóculos nestes três tempos ($P < 0,05$).

Na Tabela 6 e na Figura 4 é mostrado o comportamento dos diversos inóculos em relação ao TDH. Pode-se notar que o controle e os inóculos A, B e D apresentam um aumento da acidez até determinado tempo (30 horas), com uma diminuição deste parâmetro logo em seguida. Já o inóculo C apresentou uma queda no valor da acidez do tempo 0 a 30 horas, a partir do qual a acidez começou a aumentar até o tempo 120 h, onde ele então se estabilizou e se manteve assim até o tempo 180 horas.

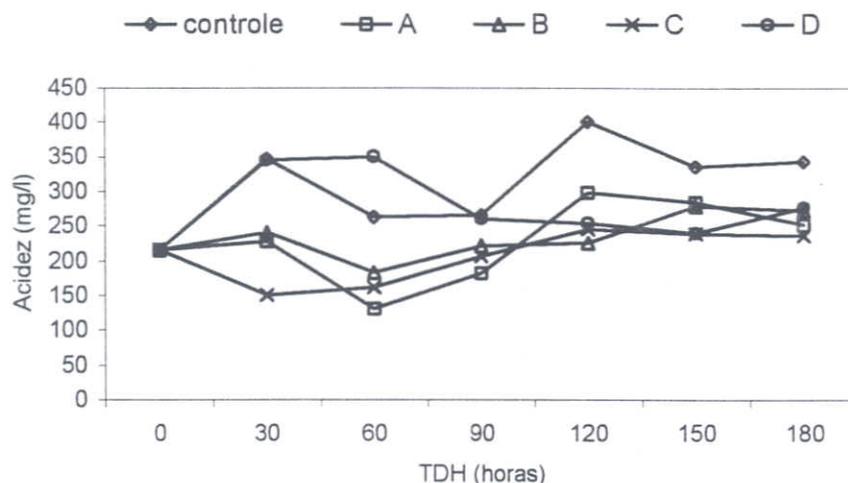
O aumento da acidez observada no controle e nos diversos inóculos está de acordo com a fase acidogênica, onde há a produção de diversos compostos mais simples que incluem os ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio (Chernicharo, 1997).

Tabela 6 – Valores (*) de Acidez em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	215aA	317bAB	262bcAB	266 ^a AB	400bB	335aAB	343aAB
A	215aAB	227abAB	131aA	181 ^a AB	298abB	283aAB	251aA
B	215aA	240abA	183abA	221aA	226aA	279aA	272aA
C	215aA	150aA	161abA	206aA	245aA	238aA	236aA
D	215aA	345bA	350cA	260aA	254aA	239aA	276aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 240,563492 + 1,231614 T - 0,003721 T^2 & R^2 &= 0,3958 \\ \hat{Y}_A &= 235,341270 - 3,763360 T + 0,056182 T^2 - 0,000192 T^3 & R^2 &= 0,6121 \\ \hat{Y}_B &= 225,809524 - 0,874824 T + 0,011041 T^2 - 0,000025 T^3 & R^2 &= 0,6556 \\ \hat{Y}_C &= 210,531746 - 2,919533 T + 0,044828 T^2 - 0,000156 T^3 & R^2 &= 0,9307 \\ \hat{Y}_D &= 222,928571 + 5,647884 T - 0,078016 T^2 + 0,000270 T^3 & R^2 &= 0,8689 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".
 \hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 4 – Acidez do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Na Tabela 7 e também na Figura 5, são apresentados os resultados obtidos para a alcalinidade, onde pode se observar um aumento da alcalinidade a partir do tempo zero, e mantendo-se praticamente constante durante todo o tempo, e não havendo diferença estatística significativa entre os diversos inóculos ($P < 0,05$).

A alcalinidade em um processo anaeróbio é uma medida da capacidade de tamponamento dos componentes dentro do processo. É através dessa medida que se tem noção da capacidade de impedir diminuições bruscas do pH, já que as

bactérias metanogênicas são muito sensíveis a essas variações (Oliveira, 1993).

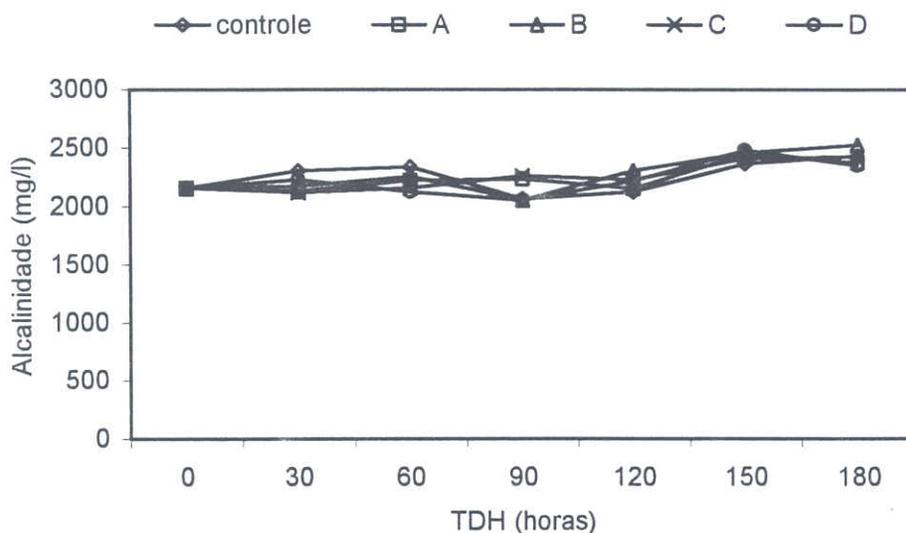
A alcalinidade na digestão anaeróbia é devida, principalmente, à presença de sais de bicarbonato, como o bicarbonato de amônio e sais de ácidos voláteis (Oliveira, 1993). A interação da alcalinidade com os ácidos voláteis durante o processo fundamenta-se na capacidade da alcalinidade do sistema em neutralizar os ácidos formados no processo e também em tamponar o pH na eventualidade de acumulação de ácidos voláteis (Chernicharo, 1997).

Tabela 7 - Valores (*) de Alcalinidade em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	2154aAB C	2303aAB C	2335aAB C	2059aA	2119aAB	2360aBC	2427aC
A	2154aA	2125aA	2220aAB	2229aAB	2145aA	2444aB	2365aAB
B	2154aA	2167aA	2253aAB	2047aA	2303aAB	2456aB	2521aB
C	2154aAB	2116aA	2152aAB	2256aAB	2226aAB	2407aB	2421aB
D	2154aAB	2221aAB C	2117aAB	2047aA	2215aAB C	2478aC	2347Abc

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 2180,309524 + 5,743871 T - 0,102787 T^2 + 0,000445 T^3 & R^2 &= 0,6003 \\ \hat{Y}_A &= 2152,626984 - 0,589109 T + 0,016997 T^2 - 0,000034 T^3 & R^2 &= 0,6319 \\ \hat{Y}_B &= 2172,460317 - 1,063095 T + 0,012610 T^2 + 0,000028 T^3 & R^2 &= 0,7769 \\ \hat{Y}_C &= 2150,619048 - 1,791799 T + 0,036720 T^2 - 0,000101 T^3 & R^2 &= 0,9165 \\ \hat{Y}_D &= 2204,015873 - 4,742681 T + 0,062597 T^2 - 0,000167 T^3 & R^2 &= 0,5943 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 5 – Alcalinidade do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Os resultados obtidos para o pH são mostrados na Tabela 8 e na Figura 6. Pode-se observar que o controle e os inóculos A e D proporcionaram diminuição do pH até o tempo 120 horas, a partir do qual houve um ligeiro aumento deste parâmetro até o

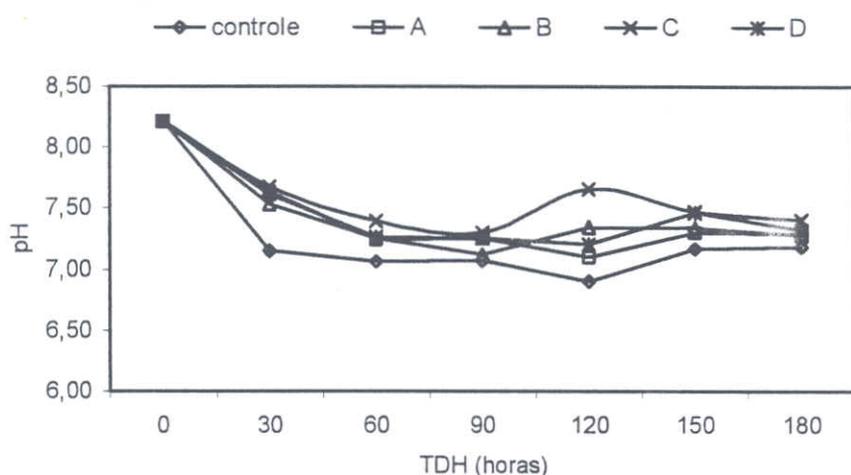
tempo 180 horas. Os inóculos B e C tiveram comportamento semelhante com diminuição até no tempo 90 horas, apresentando a partir deste ponto uma pequena elevação e posterior queda até o tempo 180 horas.

Tabela 8 – Valores (*) de pH em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	8,21aB	7,15aA	7,06aA	7,07aA	6,90aA	7,17aA	7,18aA
A	8,21aB	7,63aAB	7,24aA	7,25aA	7,10aAB	7,30aA	7,29aA
B	8,21aB	7,53aAB	7,25aA	7,12aA	7,34abA	7,33aA	7,28aA
C	8,21aB	7,67aAB	7,39aA	7,30aA	7,65bAB	7,47aA	7,40aA
D	8,21aB	7,61aAB	7,26aA	7,25aA	7,20abA	7,46aA	7,32aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_S &= 8,145159 - 0,036384 T + 0,000336 T^2 & R^2 &= 0,9261 \\ \hat{Y}_A &= 8,213889 - 0,025468 T + 0,000196 T^2 & R^2 &= 0,9773 \\ \hat{Y}_B &= 8,215635 - 0,031347 T + 0,000299 T^2 & R^2 &= 0,9870 \\ \hat{Y}_C &= 8,227063 - 0,028272 T + 0,000294 T^2 & R^2 &= 0,9300 \\ \hat{Y}_D &= 8,224524 - 0,028616 T + 0,000257 T^2 & R^2 &= 0,9728 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 6 – pH dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

O monitoramento do pH é de fundamental importância para que se consiga uma boa eficiência do processo anaeróbio, pois as bactérias metanogênicas são muito sensíveis as variações bruscas de pH. Oliveira (1993) relata que o crescimento ótimo das bactérias metanogênicas é na faixa de pH entre 6,8 a 7,2, ainda que a digestão seja possível nos limites de 6,5 a 7,5. Durante o experimento observou-se

que o pH do controle e dos inóculos se manteve na faixa ótima de crescimento das bactérias metanogênicas.

5.1.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os resultados obtidos para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) efluente

estão apresentados nas Tabelas 9 e 10 e na Figura 7.

Pela Tabela 9 pode-se observar que apenas no tempo de 30 horas ocorreu diferença significativa entre o controle e os inóculos, sendo que apenas os inóculos A e D diferiram estatisticamente do controle ($P < 0,05$).

Na avaliação de um sistema de tratamento, não interessa apenas a redução máxima de carga orgânica que este possa apresentar,

mas também a redução do TDH, pois ele acarreta maiores custos ao sistema. Através da Tabela 10 e também da Figura 9 pode-se observar o comportamento dos diversos inóculos em relação ao TDH.

Verifica-se que todos os inóculos e também o controle apresentam um comportamento semelhante, isto é, uma redução da DBO_5 até determinado tempo, a partir do qual há pequenas variações sem grandes reduções.

Tabela 9 - Valores (*) da Demanda Bioquímica de Oxigênio em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	5107aB	4321bB	2479aA	2435aA	2117aA	1978aA	2205aA
A	5107aB	2553aA	2553aA	2062aA	2280aA	1725aA	1934aA
B	5107aB	3732abB	2529aAB	1964aA	1527aA	2146aAB	1663aA
C	5107aB	2946abA	1841aA	2102aA	2117aA	2052aA	1885aA
D	5107aB	2357aA	2308aA	2082aA	1619aA	1579aA	1626aA

* média de três repetições

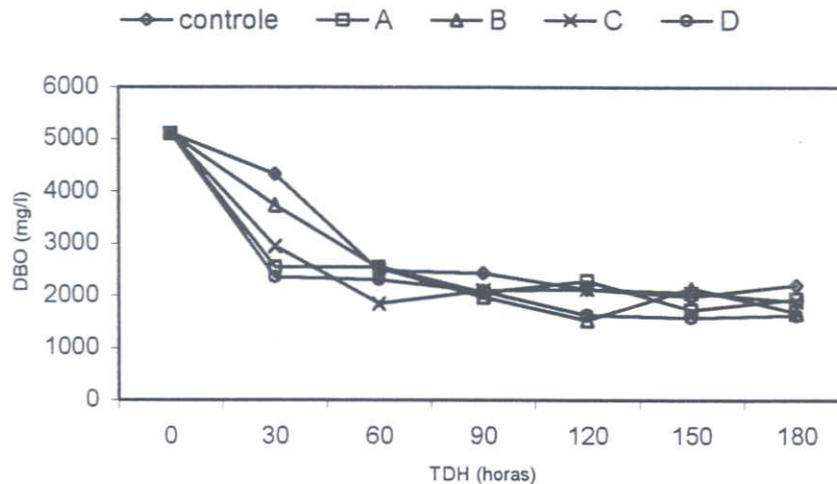
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10 – Percentagem (%) de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	0	15,4	51,4	52,3	58,9	60,8	57,0
A	0	36,5	50,0	59,6	54,3	61,2	62,3
B	0	26,9	50,5	61,5	67,4	53,7	67,5
C	0	26,9	63,9	58,9	56,1	59,8	63,2
D	0	50,0	54,8	59,2	67,9	68,5	68,3

Na Tabela 10 é mostrada a percentagem de redução promovida por cada inóculo durante o TDH. Pode-se verificar que para o controle e para o inóculo D, as máximas reduções de DBO_5 ocorridas foram no tempo de 150 horas, em que o controle apresentou uma eficiência máxima de 60,8% e o inóculo D de 68,5%. Já para os inóculos alternativos A, B e C, a máxima redução ocorreu no tempo 180 horas, com redução de 62,3%, 67,5% e 63,2% respectivamente.

Comparando os resultados obtidos neste experimento com o de sistemas similares, os valores de redução de DBO_5 encontrados podem ser considerados significativos. Van Haandel e Lettinga (1994) relatam que os tratamentos anaeróbios de esgotos podem reduzir de 30 a 50% a DBO_5 . Pessoa e Jordão (1982), afirmam que lagoas anaeróbias podem reduzir de 50 a 70% os valores de DBO_5 . Oliveira (1993) relata que lagoas anaeróbias tratando dejetos de suínos podem alcançar uma eficiência de 50 a 80%.



$$\begin{aligned}
 Y_{\text{controle}} &= 5230,706349 - 51,033245 T + 0,226958 T^2 - 0,000202 T^3 & R^2 &= 0,9535 \\
 Y_A &= 4915,047619 - 81,632804 T + 0,740013 T^2 - 0,002131 T^3 & R^2 &= 0,9180 \\
 \hat{Y}_B &= 5186,333333 - 66,033377 T + 0,420573 T^2 - 0,000880 T^3 & R^2 &= 0,9738 \\
 \hat{Y}_C &= 5083,626984 - 96,466049 T + 0,917377 T^2 - 0,002679 T^3 & R^2 &= 0,9864 \\
 \hat{Y}_D &= 4884,293651 - 84,688007 T + 0,738951 T^2 - 0,002073 T^3 & R^2 &= 0,9242
 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 7 – Demanda Bioquímica de Oxigênio do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.1.3. Demanda Química de Oxigênio Total (DQOt) e Relação DQOt/DBO₅

O comportamento da demanda química de oxigênio durante o experimento é mostrada na Tabela 11 e na Figura 8, onde se pode observar que nenhum dos inóculos foi capaz de reduzir significativamente a DQOt em relação ao controle ($P < 0,05$).

Já na Tabela 12 são apresentados os percentuais de redução de DQOt em relação ao TDH. Nesta Tabela pode se verificar que o inóculo C apresentou a maior eficiência dentre todos e em um tempo menor (60 horas). Ao final do tempo 180 horas nota-se que ocorreu um aumento da

DQOt em todos os inóculos e também no controle que pode ter sido devido ao carregamento de sólidos inorgânicos sedimentados para o meio líquido.

Ishizuka (1997), numa criação de suínos no estado de Santa Catarina, utilizando um produto comercial na forma de grânulos por um período de 2,5 meses, aplicado a cada 14 dias, relata uma eficiência de remoção de DQOt de 91,6%. Neste trabalho, o inóculo C teve uma eficiência de remoção de DQOt de 77,3% com um tempo de apenas 60 horas, mostrando que a utilização deste inóculo para remoção de matéria orgânica de dejetos de suínos pode ser considerada.

Tabela 11 – Valores (*) da Demanda Química de Oxigênio Total em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

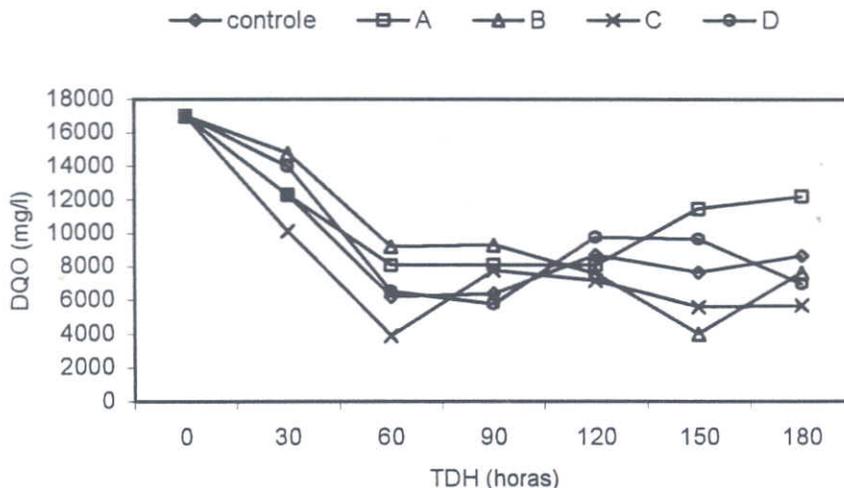
Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	17021aA	12273aA	6195aA	6381aA	8680aA	7654aA	8636aA
A	17021aA	12287aA	8064aA	8097aA	8083aA	11438aA	12209aA
B	17021aA	14754aA	9184aA	9279aA	7583aA	3969aA	7654aA
C	17021aA	10096aA	3871aA	7750aA	7167aA	5588aA	5676aA
D	17021aA	13964aA	6496aA	5757aA	9750aA	9632aA	6966aA

* média de três repetições – mg/l

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 12 – Percentagem (%) de redução da Demanda Química de Oxigênio Total para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	0	27,9	63,6	62,5	49,0	55,0	49,3
A	0	27,8	52,6	52,4	52,5	32,8	28,3
B	0	13,3	46,0	45,5	55,4	76,7	55,0
C	0	40,7	77,3	54,5	57,9	67,2	66,7
D	0	18,0	61,8	66,2	42,7	43,4	59,0



$$\begin{aligned}
 \hat{Y}_{\text{controle}} &= 17469,222222 - 292,153086 T + 2,505273 T^2 - 0,006431 T^3 & R^2 &= 0,9264 \\
 \hat{Y}_A &= 17306,634921 - 248,437919 T + 1,969965 T^2 - 0,004096 T^3 & R^2 &= 0,9631 \\
 \hat{Y}_B &= 17050,825397 - 90,728483 T - 0,363122 T^2 + 0,003106 T^3 & R^2 &= 0,9175 \\
 \hat{Y}_C &= 17053,698413 - 352,502646 T + 3,467478 T^2 - 0,010424 T^3 & R^2 &= 0,8951 \\
 \hat{Y}_D &= 18115,555556 - 323,260141 T + 3,130542 T^2 - 0,009235 T^3 & R^2 &= 0,8240
 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

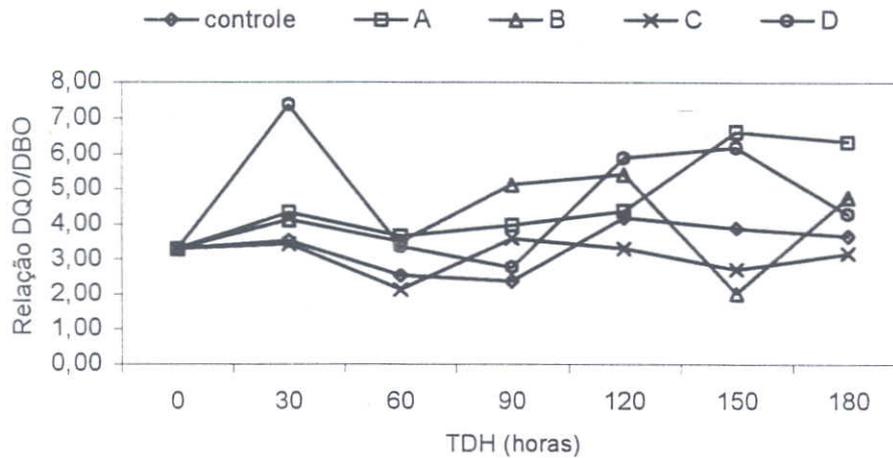
\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 8 - Demanda Química de Oxigênio total do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

A Demanda Química de Oxigênio mede não só a fração biodegradável do resíduo, como também a fração inerte que sai inalterada no tratamento biológico.

Na Figura 9 pode-se observar a relação DQOt/DBO₅ dos dejetos de suínos para os diversos inóculos testados durante os

diversos TDHs. Pode-se notar que a maior relação DQOt/DBO₅ encontrada foi para o inóculo A e D, mostrando uma remoção da matéria orgânica biodegradável. De acordo com Von Sperling (1996), há uma tendência de aumento da relação DQOt/DBO₅ durante o tratamento biológico.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 3,565952 - 0,039333 T + 0,000535 T^2 & R^2 &= 0,4328 \\ \hat{Y}_A &= 3,597302 - 0,001765 T + 0,000098 T^2 & R^2 &= 0,8063 \\ \hat{Y}_B &= 3,122937 + 0,049636 T - 0,000553 T^2 & R^2 &= 0,1378 \\ \hat{Y}_C &= 3,360317 - 0,016024 T + 0,000189 T^2 & R^2 &= 0,0737 \\ \hat{Y}_D &= 4,406984 - 0,000543 T + 0,000079 T^2 & R^2 &= 0,0195 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".
 \hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 9 – Relação DQOt/DBO₅ do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.1.4. Nitrogênio Amoniacal

Os resultados encontrados para nitrogênio amoniacal estão dispostos na Tabela 13 e na Figura 10. Pode-se verificar que tanto o controle quanto os inóculos não apresentaram grandes variações nos teores de concentração do nitrogênio amoniacal com o decorrer do tempo de detenção hidráulica. Segundo Von Sperling (1996a), a principal forma de remoção do nitrogênio amoniacal das águas residuárias no tratamento biológico é através dos processos de nitrificação e desnitrificação,

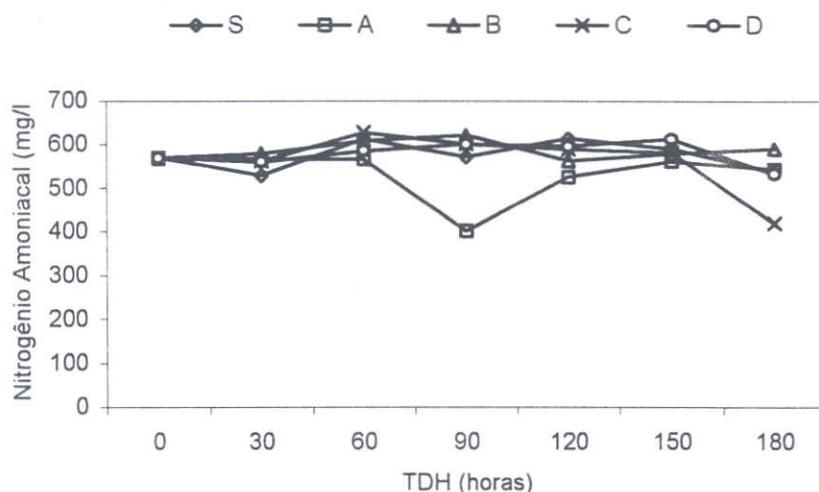
no qual o nitrogênio é removido na forma de gás. Para que ocorra a etapa de nitrificação é preciso que exista no meio oxigênio dissolvido, pois as bactérias nitrificantes são estritamente aeróbias. Como neste trabalho o processo utilizado foi somente o processo anaeróbio, não se criaram condições para que houvesse as etapas de nitrificação e desnitrificação. Com relação ao aumento e a diminuição da concentração com o tempo de detenção hidráulica foi devido à conversão e volatilização do nitrogênio orgânico a nitrogênio amoniacal.

Tabela 13 – Valores (*) de Nitrogênio Amoniacal para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	568aAB	527aA	612bcB	570bAB	613cB	590abB	535bA
A	568aB	566bB	564aB	399aA	525aB	560aB	542bB
B	568aA	578bAB	607bcAB	620cB	562bA	578abAB	589cAB
C	568aB	560abB	627cC	601bcBC	588bcBC	581abB	418aA
D	568aABC	558abAB	584abBC	599bcBC	595bcBC	612bC	531bA

* média de três repetições – mg/l

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 560,523810 - 0,732275 T + 0,021402 T^2 - 0,000101 T^3 & R^2 &= 0,5596 \\ \hat{Y}_A &= 583,587302 - 1,428880 T + 0,003690 T^2 + 0,000020 T^3 & R^2 &= 0,2842 \\ \hat{Y}_B &= 561,007937 + 1,738360 T - 0,021265 T^2 + 0,000069 T^3 & R^2 &= 0,4675 \\ \hat{Y}_C &= 566,579365 - 0,313492 T + 0,021869 T^2 - 0,000136 T^3 & R^2 &= 0,9063 \\ \hat{Y}_D &= 568,293651 - 0,835891 T + 0,022482 T^2 - 0,000105 T^3 & R^2 &= 0,8689 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 10 – Nitrogênio Amoniacal do dejetto de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.1.5. Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sedimentáveis

Os resultados de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis estão apresentados nas Tabelas 14, 15, 16 e 17 e nas Figuras 11, 12 e 13.

Na Tabela 14 pode-se observar que nenhum dos inóculos foi capaz de reduzir a

concentração de sólidos totais em relação ao controle, que apresentou uma redução máxima de 61,2% em um tempo de 60 horas. O controle e os inóculos B e D apresentaram um incremento na concentração de sólidos totais a partir do tempo de 60 horas, enquanto que para os inóculos A e C este aumento ocorreu a partir do tempo de 90 horas, como ilustra a Figura 11.

O comportamento dos sólidos totais voláteis foi semelhante ao dos sólidos totais, sendo que neste caso os inóculos alternativos A, B e C foram mais eficientes na remoção de tal parâmetro do que o controle e inóculo D (Fig. 12), aqueles alcançaram as maiores eficiências no tempo de 90 horas, com remoção de 59,4%, 59,6% e 60,1% respectivamente (Tab. 17).

Como nos sólidos totais, também nos STV ocorreu um incremento na concentração a partir do tempo 90 horas.

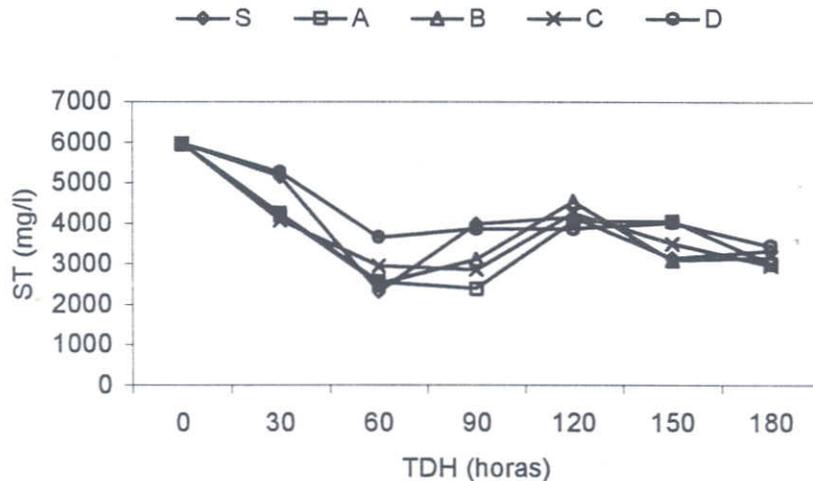
Os sólidos totais voláteis representam a fração orgânica dos sólidos, sua remoção indica redução da matéria orgânica nos dejetos.

Tabela 14 – Valores (*) de Sólidos Totais em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	5960aD	5147bD	2313aA	3973cBC	4160aC	3133aAB	3320aBC
A	5960aC	4240aB	2547aA	2387aA	4040aB	4053bB	3000aA
B	5960aC	4213aB	2510aA	3107abA	4533aB	3093aA	3160aA
C	5960aC	4067aB	2940abA	2853aA	4253aB	3493abAB	2960aA
D	5960aB	5253bB	3653bA	3867bcA	3867aA	4013bA	3433aA

* média de três repetições – mg/l

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 6155,238095 - 84,223104T + 0,833686T^2 - 0,002545T^3 & R^2 &= 0,6629 \\ \hat{Y}_A &= 6211,428571 - 125,139330T + 1,390123T^2 - 0,004390T^3 & R^2 &= 0,8771 \\ \hat{Y}_B &= 6053,968254 - 107,512787T + 1,188007T^2 - 0,003810T^3 & R^2 &= 0,7907 \\ \hat{Y}_C &= 6050,158730 - 107,410053T + 1,192416T^2 - 0,003848T^3 & R^2 &= 0,9112 \\ \hat{Y}_D &= 6129,523810 - 60,785714T + 0,534921T^2 - 0,001543T^3 & R^2 &= 0,9052 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

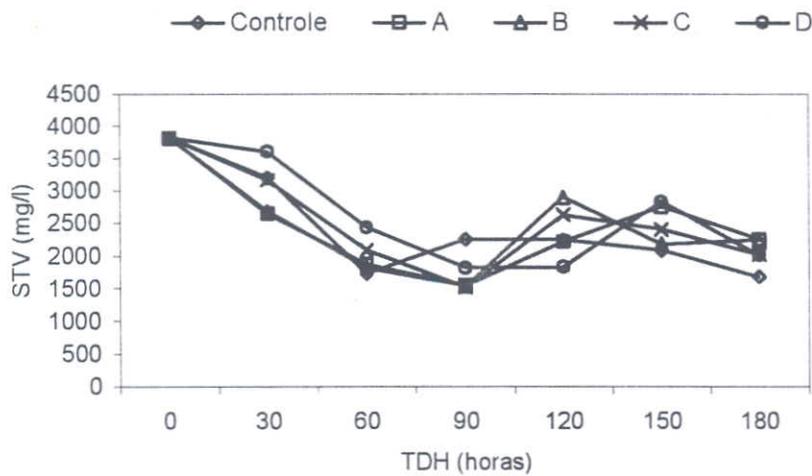
Figura 11 – Variação da concentração de Sólidos Totais nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Tabela 15 – Valores (*) de Sólidos Totais Voláteis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	3813aC	3200abC	1727aA	2253bB	2240abB	2080aAB	1677aAB
A	3813aD	2640aC	1863abAB	1547aA	2213abABC	2747bC	2250aBC
B	3813aE	2680aCD	1820abAB	1540aA	2893cD	2173abAB	2243aBCD
C	3813aD	3160abCD	2080abAB	1520aA	2627bcBC	2400abcB	2020aAB
D	3813aC	3600bC	2427bAB	1813abA	1827aA	2827cB	2010aA

* média de três repetições – mg/l

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 3965,238095 - 59,293210 T + 0,585538 T^2 - 0,001814 T^3 & R^2 &= 0,8162 \\ \hat{Y}_A &= 3926,190476 - 70,653439 T + 0,718519 T^2 - 0,002078 T^3 & R^2 &= 0,9185 \\ \hat{Y}_B &= 3900,476190 - 68,873457 T + 0,725573 T^2 - 0,002198 T^3 & R^2 &= 0,7878 \\ \hat{Y}_C &= 3994,920635 - 58,171958 T + 0,557496 T^2 - 0,001626 T^3 & R^2 &= 0,7925 \\ \hat{Y}_D &= 4039,841270 - 38,633598 T + 0,239859 T^2 - 0,000442 T^3 & R^2 &= 0,7425 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 12 – Variação da concentração de Sólidos Totais Voláteis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Tabela 16 – Valores (*) de Sólidos Sedimentáveis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

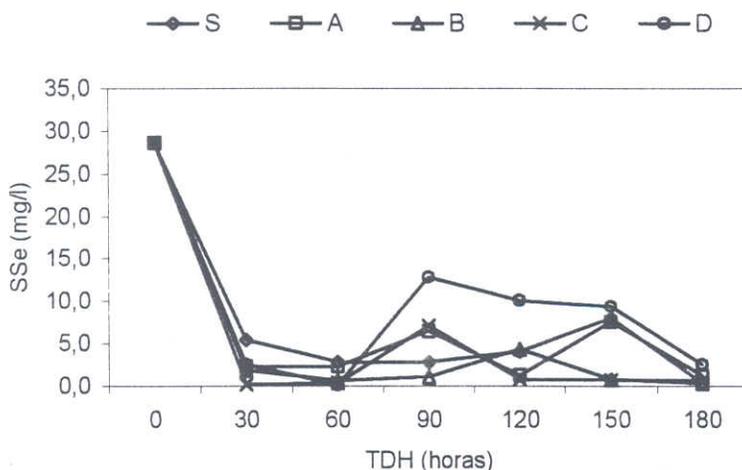
Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	28,7aB	5,3aA	2,8aA	2,8aA	4,0aA	8,0aA	0,3aA
A	28,7abB	2,2aA	2,3aA	6,4aA	1,2aA	7,5aA	1,2aA
B	28,7aB	1,8aA	0,6aA	1,1aA	4,3aA	0,8aA	0,3aA
C	28,7aB	0,1aA	0,3aA	7,0aA	0,8aA	0,7aA	0,6aA
D	28,7aB	2,5aA	0,1aA	12,8aA	10,0aA	9,3aA	2,5aA

* média de três repetições – mg/l

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Percentagem (%) de redução de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Sedimentáveis para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Variável	Inóculo	Tempo de detenção hidráulica						
		0	30	60	90	120	150	180
ST	Controle	0	13,6	61,2	33,4	30,2	47,4	44,3
	A	0	28,9	57,3	59,9	32,2	32,0	49,7
	B	0	29,3	57,9	47,9	23,9	48,1	47,0
	C	0	31,8	50,7	52,1	28,6	41,4	50,3
	D	0	11,9	18,7	35,1	35,1	32,7	42,4
STV	Controle	0	16,0	54,7	40,9	41,3	45,5	56,0
	A	0	30,8	51,1	59,4	42,0	28,0	41,0
	B	0	29,7	52,3	59,6	24,1	43,0	41,2
	C	0	17,1	45,5	60,1	31,1	37,0	47,0
	D	0	5,6	36,3	52,5	52,0	25,9	47,3
Sse	Controle	0	81,53	90,24	90,24	86,06	72,12	98,95
	A	0	92,33	91,98	77,70	95,82	73,87	95,82
	B	0	93,73	97,91	96,17	85,00	97,21	98,95
	C	0	99,65	98,95	75,61	97,21	97,56	97,91
	D	0	91,29	99,65	55,40	65,16	67,60	91,29



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 26,562698 - 0,882015 T + 0,008915 T^2 - 0,000027 T^3 & R^2 &= 0,9003 \\ \hat{Y}_A &= 26,873810 - 0,901962 T + 0,008957 T^2 - 0,000027 T^3 & R^2 &= 0,9276 \\ \hat{Y}_B &= 26,961905 - 0,968986 T + 0,010175 T^2 - 0,000031 T^3 & R^2 &= 0,9295 \\ \hat{Y}_C &= 26,596825 - 0,956918 T + 0,009738 T^2 - 0,000029 T^3 & R^2 &= 0,9104 \\ \hat{Y}_D &= 27,088095 - 0,941883 T + 0,009593 T^2 - 0,000029 T^3 & R^2 &= 0,9400 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 13 – Variação da concentração de Sólidos sedimentáveis nos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Através da Tabela 16 e também da Figura 13, pode-se verificar que tanto o controle que os inóculos apresentaram redução do teor de sólidos sedimentáveis até o tempo de 30 horas, a partir do qual não houve grandes variações na sua concentração. Os valores encontrados para sólidos sedimentáveis no controle e também para os inóculos estão dentro do padrão de lançamento estabelecido pela Resolução CONAMA (1986).

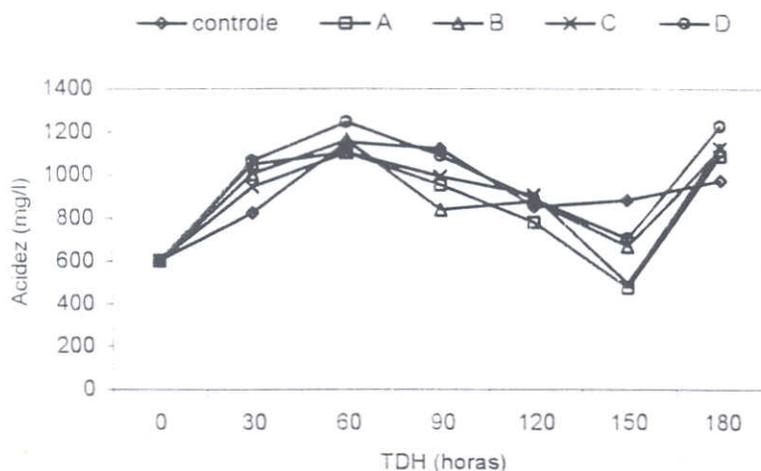
5.2. Experimento 2 – Verão

5.2.1. Acidez, Alcalinidade e pH

Para o controle e para todos os inóculos utilizados houve aumento da acidez com

aumento do tempo de detenção hidráulica até o tempo de 60 horas (Fig. 14). A partir deste tempo, a acidez do controle e dos inóculos diminuiu, voltando a aumentar no tempo 120 horas para o controle e 150 horas para os inóculos.

O aumento da acidez indica formação de ácidos orgânicos realizados pelas bactérias acidogênicas. Isto não indica que esteja havendo remoção de matéria orgânica, pois para que isso ocorra é necessário que as outras etapas do processo anaeróbio se completem.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 558,634921 + 18,682716 T - 0,205115 T^2 + 0,000632 T^3 & R^2 &= 0,8222 \\ \hat{Y}_A &= 575,007937 + 28,081261 T - 0,398862 T^2 + 0,001428 T^3 & R^2 &= 0,8773 \\ \hat{Y}_B &= 591,388889 + 23,806702 T - 0,327094 T^2 + 0,001169 T^3 & R^2 &= 0,8630 \\ \hat{Y}_C &= 554,468254 + 25,515432 T - 0,343717 T^2 + 0,001206 T^3 & R^2 &= 0,7339 \\ \hat{Y}_D &= 569,960317 + 29,544621 T - 0,393333 T^2 + 0,001379 T^3 & R^2 &= 0,9367 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 14 – Acidez do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Tabela 18 - Valores (*) de Acidez em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	603aA	826aAB	1151aC	1121aBC	851aABC	885bABC	975aBC
A	603aA	1049aBC	1105aC	953aBC	780aAB	471aA	1088aBC
B	603aA	1003aBC	1162aC	838aAB	878aABC	666abA	1119aBC
C	603aAB	943aC	1105aC	994aC	902aBC	495aA	1124aC
D	603aA	1063aBC	1242aC	1087aBC	887aAB	703abA	1228aC

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 15 e na Tabela 19, pode-se verificar que houve redução da alcalinidade para todos os inóculos ao final de 180 horas de tratamento, provavelmente por ocorrer produção de ácidos orgânicos voláteis que neutralizam substâncias alcalinas dos dejetos diminuindo a alcalinidade.

Com o aumento do tempo de detenção observa-se diminuição do pH para o controle e todos os inóculos (Fig. 16),

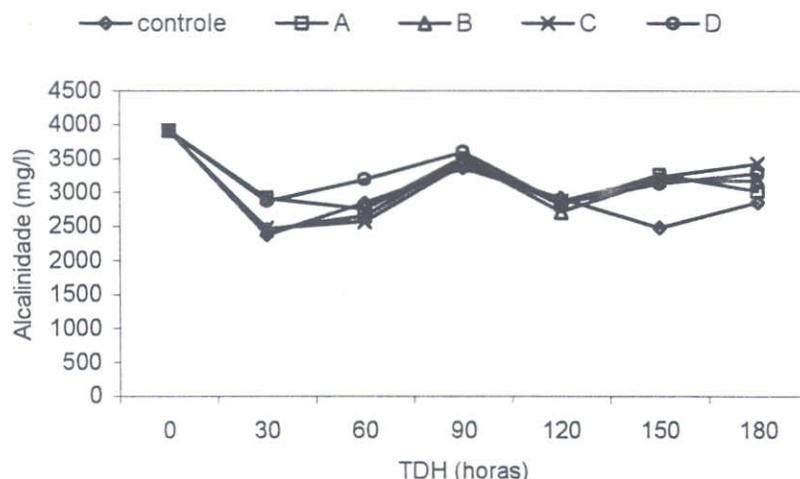
decorrentes da produção de ácidos orgânicos voláteis. Os valores encontrados de pH estão fora da faixa de 6,5 a 7,5, que segundo Oliveira (1993) é a faixa ótima de crescimento das bactérias metanogênicas. Segundo Chernicharo (1997) a operação de um reator anaeróbio com o pH constantemente abaixo de 6,5 ou acima de 8,0 pode ocasionar uma diminuição significativa da taxa de produção de metano.

Tabela 19 - Valores (*) de Alcalinidade em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	3911aC	2731aA	2842abAB	3355aBC	2907aAB	2474aA	2846aAB
A	3911aC	2911bA	2751abA	3506aBC	2812aA	3262bAB	3021abAB
B	3911aD	2446abA	2654aAB	3482aCD	2709aAB	3182bBC	3165abB
C	3911aC	2468abA	2566aA	3397aBC	2867aAB	3221bB	3423bBC
D	3911aC	2868abA	3191bAB	3598aBC	2833aA	3127bAB	3279abAB

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 3662,777778 - 33,744444 T + 0,383779 T^2 - 0,001269 T^3 & R^2 &= 0,4033 \\ \hat{Y}_A &= 3824,198413 - 35,774956 T + 0,413730 T^2 - 0,001339 T^3 & R^2 &= 0,5619 \\ \hat{Y}_B &= 3730,357143 - 42,098545 T + 0,498161 T^2 - 0,001582 T^3 & R^2 &= 0,4743 \\ \hat{Y}_C &= 3746,087302 - 44,293827 T + 0,517976 T^2 - 0,001586 T^3 & R^2 &= 0,5923 \\ \hat{Y}_D &= 3740,936508 - 20,263316 T + 0,194337 T^2 - 0,000550 T^3 & R^2 &= 0,3346 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

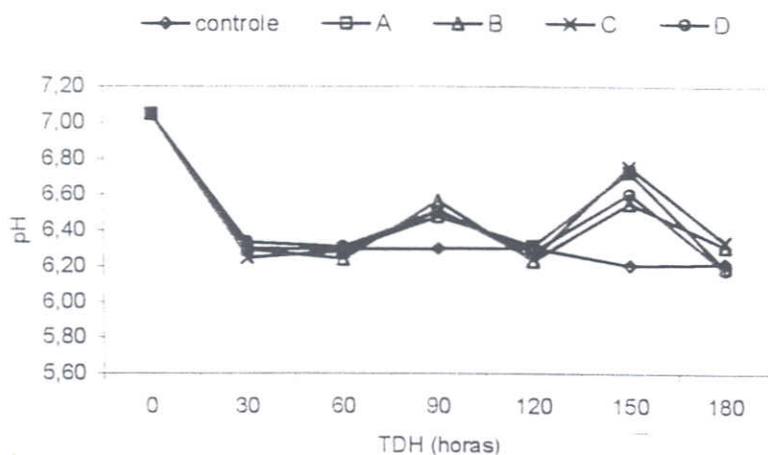
Figura 15 – Alcalinidade do dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Tabela 20 - Valores (*) de pH em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	7,05aB	6,30aA	6,30aA	6,30aA	6,30aA	6,20aA	6,21aA
A	7,05aD	6,30aAB	6,29aAB	6,48aB	6,31aAB	6,73bcC	6,19aA
B	7,05aC	6,29aA	6,24aA	6,57bB	6,23aA	6,55bB	6,31aA
C	7,05aD	6,25aA	6,28aA	6,52bB	6,24aA	6,76cC	6,34aA
D	7,05aD	6,33aAB	6,31aAB	6,51bBC	6,28aA	6,60bcC	6,18aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 6,991429 - 0,024853 T + 0,000250 * T^2 & R^2 &= 0,9056 \\ \hat{Y}_A &= 7,027381 - 0,032146 T + 0,000396 * T^2 & R^2 &= 0,8185 \\ \hat{Y}_B &= 6,996984 - 0,027718 T + 0,000315 * T^2 & R^2 &= 0,7384 \\ \hat{Y}_C &= 7,007619 - 0,031120 T + 0,000372 * T^2 & R^2 &= 0,7172 \\ \hat{Y}_D &= 7,016270 - 0,028659 T + 0,000339 * T^2 & R^2 &= 0,8247 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".
 \hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 16 – Valores de pH dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.2.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os resultados obtidos para a DBO₅ estão apresentados nas Tabelas 21, 22 e na Figura 17. Pode-se verificar que apenas para o tempo de 60 horas houve diferença

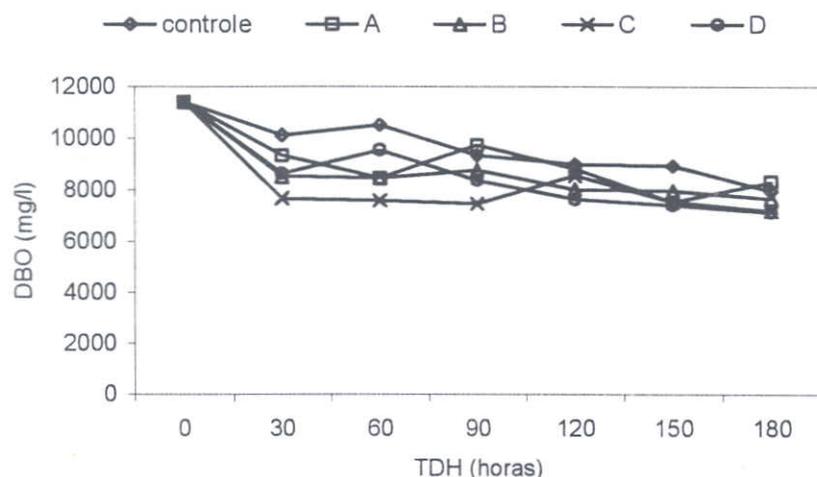
significativa entre os inóculos e o controle (P<0,05), sendo que os inóculos A, B e D não diferiram do controle e nem do inóculo C, que diferiu do controle, apresentado a maior eficiência na redução de DBO₅.

Tabela 21 - Valores (*) de DBO₅ em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	11391aB	10115aAB	10508bAB	9329aAB	8985aAB	8936aAB	7954aA
A	11391aB	9329aAB	8445abA	9722aAB	8789aAB	7512aA	8298aA
B	11391aB	8515aAB	8445abA	8740aAB	8003aA	7954aA	7659aA
C	11391aB	7659aA	7561aA	7463aA	8543aAB	7512aA	7168aA
D	11391aB	8641aAB	9525abAB	8347aA	7610aA	7414aA	7119aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 11301 - 32,739550 T + 0,216759 T^2 - 0,000757 T^3 & R^2 &= 0,9233 \\ \hat{Y}_A &= 11153,730159 - 63,657319 T + 0,553796 T^2 - 0,001666 T^3 & R^2 &= 0,7271 \\ \hat{Y}_B &= 11145,841270 - 91,783245 T + 0,902760 T^2 - 0,002807 T^3 & R^2 &= 0,8963 \\ \hat{Y}_C &= 11182,849206 - 142,748765 T + 1,598325 T^2 - 0,005203 T^3 & R^2 &= 0,9126 \\ \hat{Y}_D &= 11069,476190 - 59,839771 T + 0,416305 T^2 - 0,001162 T^3 & R^2 &= 0,8637 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da DBO₅, T = tempo de detenção hidráulica

Figura 17 – Valores de DBO₅ dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

Tabela 22 – Percentagem (%) de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	0	11,20	7,75	18,10	21,12	21,55	30,17
A	0	18,10	25,86	14,65	22,84	34,05	27,15
B	0	25,25	25,86	23,57	29,74	30,17	32,76
C	0	32,76	33,62	34,48	25,00	34,05	37,07
D	0	24,14	16,38	26,72	33,19	34,91	37,50

De acordo com a Figura 17 e com a Tabela 22, pode-se observar que com o aumento do tempo de detenção ocorreu redução da DBO₅ até o final de 180 horas de tratamento, onde os inóculos C e D apresentaram as maiores eficiências, sendo de 37,07% para o inóculo C e 37,50% para o inóculo D.

5.2.3. Demanda Química de Oxigênio Total e Relação DQOt/DBO₅

Com o aumento do tempo de detenção houve redução da DQOt do controle, que apresentou uma redução máxima de 51,48% ao final do tempo de 180 horas. Já

para os inóculos A, C e D a redução ocorreu até o tempo de 150 horas a partir do qual ocorreu aumento da DQOt (Tab. 23) e para o inóculo B a redução foi até o tempo de 120 horas, ocorrendo aumento da DQOt a partir deste tempo.

Pela Tabela 23 verifica-se que não ocorreram diferenças significativas entre os inóculos e o controle ($P < 0,05$). Apesar disto nota-se que os inóculos A, C e D apresentaram valores de eficiência de remoção de DQOt no tempo 150 horas maiores que o controle no tempo de 180 horas.

Tabela 23 – Valores (*) de DQOt em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

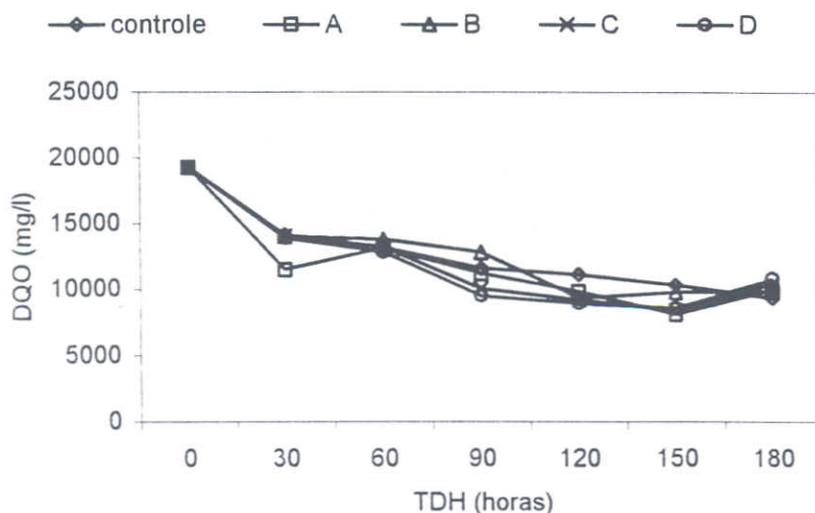
Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	19298aB	14120aAB	13141aAB	11560aA	11146aA	10332aA	9364aA
A	19298aB	11480 ^a A	13120aAB	11192aA	9850aA	8123aA	10055aA
B	19298aB	14000aAB	13776aAB	12773aAB	9364aA	9813aA	9840aA
C	19298aB	13999aAB	13179aAB	10047aA	9227aA	8380aA	10449aA
D	19298aB	13891aAB	12800aAB	9523aA	8936aA	8610aA	10824aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24 – Percentagem (%) de redução da Demanda Química de Oxigênio Total para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de detenção hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	0	26,83	31,90	40,10	42,24	46,46	51,48
A	0	40,51	32,01	42,00	48,96	57,91	47,89
B	0	27,45	28,61	33,81	51,48	49,15	49,01
C	0	27,46	31,71	47,94	52,19	56,58	45,85
D	0	28,02	33,67	50,65	53,69	55,38	43,91



$$\begin{aligned}
 \hat{Y}_{\text{controle}} &= 19060,063492 - 181,375309 T + 1,473175 T^2 - 0,004270 T^3 & R^2 &= 0,9852 \\
 \hat{Y}_A &= 18320,063492 - 172,107496 T + 1,164145 T^2 - 0,002691 T^3 & R^2 &= 0,8248 \\
 \hat{Y}_B &= 18746,714286 - 124,857231 T + 0,571728 T^2 - 0,000884 T^3 & R^2 &= 0,9209 \\
 \hat{Y}_C &= 18894,238095 - 134,728836 T + 0,346190 T^2 + 0,000743 T^3 & R^2 &= 0,9652 \\
 \hat{Y}_D &= 18956,777778 - 147,663580 T + 0,439515 T^2 + 0,000690 T^3 & R^2 &= 0,9715
 \end{aligned}$$

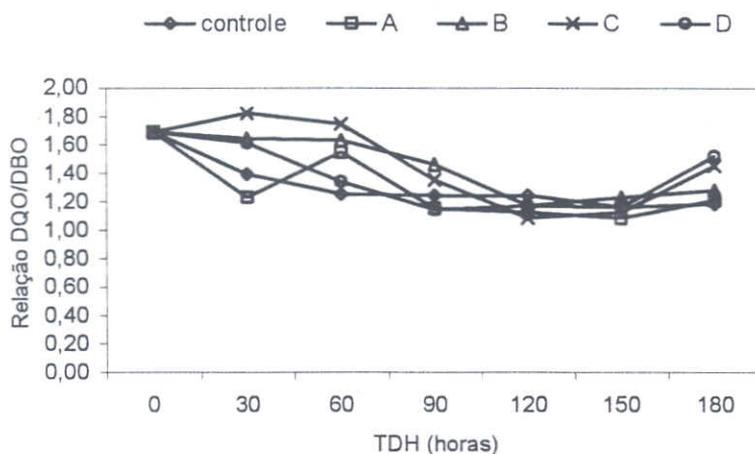
* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 18 – Demanda Química de Oxigênio total dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

No experimento 1 (inverno), a relação DQOt/DBO₅ variou de 2,0 a 7,5, sendo que os melhores inóculos foram o A e D, enquanto que no experimento 2 (verão) esta relação foi de 1,08 a 1,82, sendo que o maior valor encontrado foi para o inóculo C no tempo de 30 horas. Os valores da relação DQOt/DBO₅ encontrados nos indica que o resíduo apresenta uma alta biodegradabilidade.

A relação DQOt/DBO₅ tende a aumentar de acordo com que o esgoto passa pelo sistema de tratamento, indicando que está havendo remoção de matéria orgânica, o que não aconteceu durante o experimento em que a relação apresentou valores menores do que no início do tratamento. Isto está de acordo com as baixas eficiências de remoção de DBO₅ observadas.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 1,701508 - 0,012160 T + 0,000098 T^2 & R^2 &= 0,9756 \\ \hat{Y}_A &= 1,635476 - 0,005397 T - 0,000004 T^2 & R^2 &= 0,6398 \\ \hat{Y}_B &= 1,704921 + 0,005276 T - 0,000143 T^2 & R^2 &= 0,9658 \\ \hat{Y}_C &= 1,700556 + 0,012851 T - 0,000287 T^2 & R^2 &= 0,9877 \\ \hat{Y}_D &= 1,733492 - 0,002072 T - 0,000092 T^2 & R^2 &= 0,9560 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".
 \hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 19 – Relação DQOt/DBO₅ dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.2.4. Nitrogênio Amoniacal

Na Tabela 25 e na Figura 20 são apresentados os resultados para o comportamento do nitrogênio amoniacal durante o experimento. Pode-se observar que com o aumento do tempo de detenção ocorreu aumento da concentração de nitrogênio amoniacal para o controle e para os inóculos.

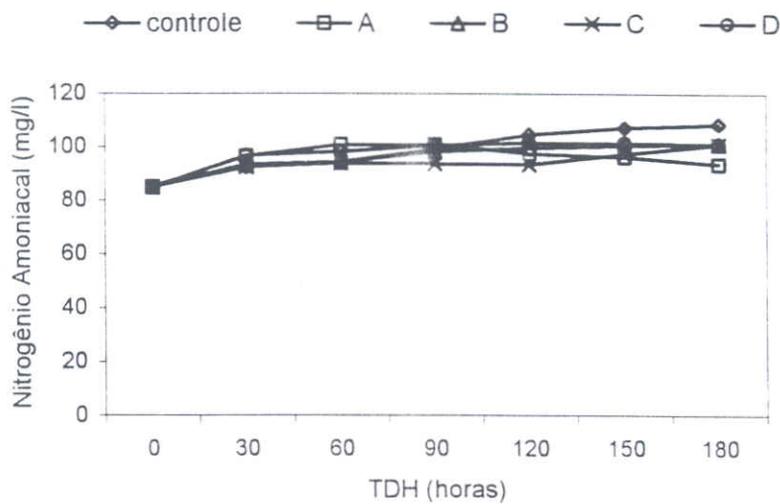
Ao longo do processo de tratamento, o nitrogênio pode se apresentar em diversas formas e em distintos estados de oxidação, sendo as formas predominantes o nitrogênio orgânico e a amônia. O nitrogênio orgânico é convertido a amônia no decorrer do tratamento através dos processos de hidrólise e amonificação (Von Sperling, 2002).

Tabela 25 - Valores (*) de Nitrogênio Amoniacal em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	85aA	92aAB	94aABC	99aBCD	105bCD	107bD	109bD
A	85aA	96aA	101aA	101aA	97abA	96aA	94aAB
B	85aA	93aAB	94aAB	98aA	100abB	100abB	101abB
C	85aA	92aAB	94aAB	94aAB	93aAB	97abB	101abB
D	85aA	97aB	98aB	100aB	102abB	102abB	101abB

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 85,587302 + 0,165388 T + 0,000047 * T^2 & R^2 &= 0,9851 \\ \hat{Y}_A &= 85,046032 + 0,501896 T - 0,004766 T^2 + 0,000013 * T^3 & R^2 &= 0,9896 \\ \hat{Y}_B &= 85,431746 + 0,256323 T - 0,001638 * T^2 & R^2 &= 0,9740 \\ \hat{Y}_C &= 85,307143 + 0,299087 T - 0,003328 T^2 + 0,000012 * T^3 & R^2 &= 0,9706 \\ \hat{Y}_D &= 85,644444 + 0,386865 T - 0,003109 * T^2 & R^2 &= 0,9653 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 20 – Concentrações de Nitrogênio Amoniacal dos dejetos de suínos para os diversos inóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica.

5.2.5. Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Sedimentáveis

Os resultados de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis, estão apresentados nas Tabelas 26, 27, 28 e 29 e nas Figuras 21, 22 e 23.

Na Tabela 26 observa-se que apenas nos tempos de 60 e 90 horas houve diferenças significativas entre os inóculos e o controle ($P < 0,05$), sendo que o inóculo D diferiu estatisticamente dos outros e do controle, apresentando menores valores de redução de sólidos totais.

Tabela 26 - Valores (*) de Sólidos Totais em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

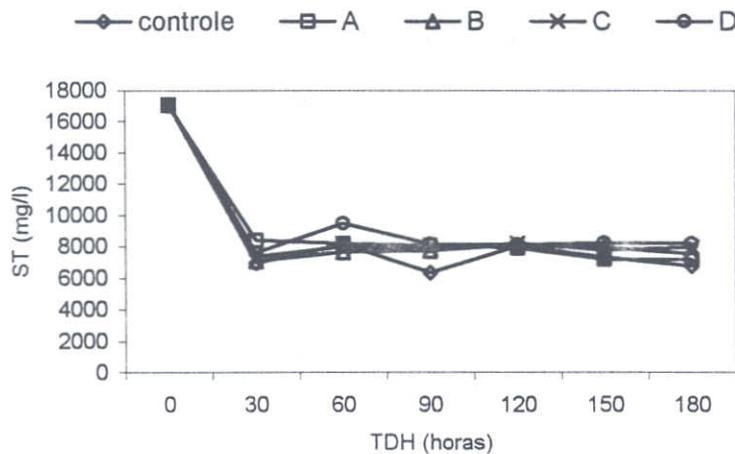
Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	17080aB	6933aA	8133aA	6333aA	8027aA	7307aA	6747aA
A	17080aB	8393aA	8187abA	8067abA	7880aA	7200aA	7160aA
B	17080aB	7053aA	7653aA	7707abA	8080aA	7920aA	7533aA
C	17080aB	7347aA	7960abA	7840abA	8160aA	7773aA	7920aA
D	17080aB	7613aA	9467bA	8133bA	8093aA	8213aA	8187aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Através da Figura 21 pode-se notar que houve uma redução da concentração de sólidos totais com o aumento do tempo de detenção até o tempo de 30 horas para todos os tratamentos. A partir deste tempo

não houve grandes variações da concentração de ST até o final do tratamento, sendo que os valores médios de redução ficaram em torno de 55 a 60%.



$$\hat{Y}_{\text{controle}} = 16368,571429 - 340,343915 T + 3,543915 T^2 - 0,010905 T^3 \quad R^2 = 0,8904$$

$$\hat{Y}_A = 16443,174603 - 291,544974 T + 2,877690 T^2 - 0,008663 T^3 \quad R^2 = 0,9233$$

$$\hat{Y}_B = 16328,571429 - 339,502646 T + 3,606878 T^2 - 0,011152 T^3 \quad R^2 = 0,8964$$

$$\hat{Y}_C = 16312,063492 - 320,504409 T + 3,317460 T^2 - 0,010069 T^3 \quad R^2 = 0,8867$$

$$\hat{Y}_D = 16219,047619 - 280,243386 T + 2,799471 T^2 - 0,008354 T^3 \quad R^2 = 0,8335$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 21 – Concentração de Sólidos Totais dos dejetos de suínos para os diversos binóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica

Tabela 27 - Valores (*) de Sólidos Totais Voláteis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

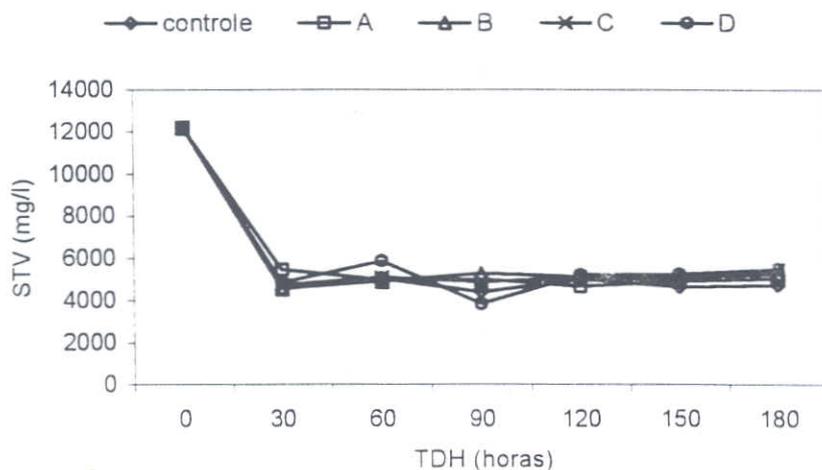
Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	12187aB	4520aA	5027aA	4387aA	5007aA	4640aA	4707aA
A	12187aB	5440aA	4933aA	4960aA	4667aA	4893aA	5013aA
B	12187aB	4547aA	4880aA	5267aA	5107aA	5080aA	5227aA
C	12187aB	4707aA	5093aA	4867aA	5067aA	5000aA	5440aA
D	12187aB	4840aA	5853aA	3813aA	5200aA	5213aA	5493aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para os sólidos totais voláteis o comportamento foi semelhante ao de sólidos totais, isto é, ocorreu uma diminuição do teor de STV com o aumento

todos os tratamentos (Fig. 22), a partir deste tempo houve uma estabilização dos valores de concentração deste parâmetro, estando os valores de eficiência médios em torno de



do TDH até o tempo de 30 horas, para 60%.

$$\hat{Y}_{\text{controle}} = 11617,619048 - 254,489418 T + 2,592593 T^2 - 0,007798 * T^3 \quad R^2 = 0,8995$$

$$\hat{Y}_A = 11748,571429 - 233,968254 T + 2,260847 T^2 - 0,006543 * T^3 \quad R^2 = 0,9391$$

$$\hat{Y}_B = 11572,380952 - 252,089947 T + 2,621164 T^2 - 0,007942 * T^3 \quad R^2 = 0,8804$$

$$\hat{Y}_C = 11601,904762 - 244,225750 T + 2,0453263 T^2 - 0,007215 * T^3 \quad R^2 = 0,8908$$

$$\hat{Y}_D = 11572,063492 - 227,352734 T + 2,252557 T^2 - 0,006598 * T^3 \quad R^2 = 0,8336$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "f".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 22 – Concentração de Sólidos Totais Voláteis dos dejetos de suínos para os diversos binóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica

Um dos objetivos da biodigestão é reduzir o volume de matéria orgânica através de liquefação, gaseificação, adensamento e separação sólido-líquido podendo ser avaliada através da redução de STV durante o processo, pois os STV nos dão uma estimativa da matéria orgânica existente no resíduo.

Na Figura 23 verifica-se que houve uma redução da concentração de sólidos sedimentáveis com o aumento do tempo de detenção até o tempo 30 horas. A partir deste tempo os valores de sólidos

sedimentáveis se estabilizaram não havendo grandes variações.

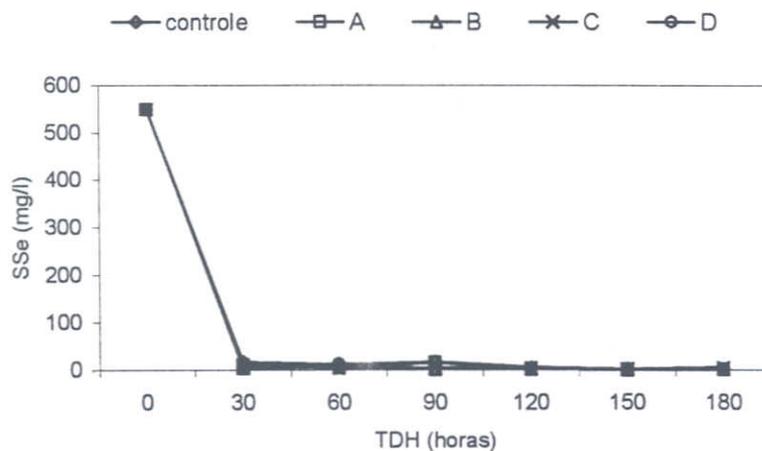
Na Tabela 29 estão expostos os valores de eficiência de remoção de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis, onde se pode verificar os altos valores de remoção de sólidos sedimentáveis do controle e também dos binóculos, evidenciando a eficiência do processo anaeróbico. Os valores conseguidos após 180 horas de tratamento estão dentro do padrão de lançamento de efluentes no corpo receptor estipulado pela resolução CONAMA (1986).

Tabela 28 - Valores (*) de Sólidos Sedimentáveis em mg/l para os diversos inóculos nos Tempos de Detenção Hidráulica de 0 a 180 horas

Inóculos	Tempo de Detenção Hidráulica						
	0	30	60	90	120	150	180
Controle	550aB	17aA	10aA	16aA	5aA	2aA	1aA
A	550aB	10aA	5aA	15aA	1aA	0,5aA	0,5aA
B	550aB	4aA	5aA	1aA	2aA	0,5aA	1aA
C	550aB	7aA	3aA	4aA	4aA	1aA	5aA
D	550aB	4aA	13aA	1aA	2aA	1aA	1aA

* média de três repetições

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{controle}} &= 511,562698 - 18,096380 T + 0,181993 T^2 - 0,000545 T^3 & R^2 &= 0,9176 \\ \hat{Y}_A &= 510,773016 - 18,288095 T + 0,184304 T^2 - 0,000552 T^3 & R^2 &= 0,9150 \\ \hat{Y}_B &= 510,901587 - 18,512866 T + 0,186679 T^2 - 0,000558 T^3 & R^2 &= 0,9168 \\ \hat{Y}_C &= 511,345238 - 18,464352 T + 0,185934 T^2 - 0,000554 T^3 & R^2 &= 0,9181 \\ \hat{Y}_D &= 510,092063 - 18,334228 T + 0,184470 T^2 - 0,000551 T^3 & R^2 &= 0,9127 \end{aligned}$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de "F".

\hat{Y} = valor estimado da acidez; T = tempo de detenção hidráulica

Figura 23 – Concentração de Sólidos Totais Voláteis dos dejetos de suínos para os diversos binóculos, em relação ao tempo de detenção hidráulica

Tabela 29 – Percentagem (%) de redução de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Sedimentáveis

Variável	Inóculo	Tempo de detenção hidráulica						
		0	30	60	90	120	150	180
ST	Controle	0	59,41	52,38	62,92	53,01	57,22	60,50
	A	0	50,86	52,07	52,77	53,86	57,85	58,08
	B	0	58,70	55,19	54,88	52,69	53,63	55,89
	C	0	56,99	53,40	54,10	52,22	54,49	53,63
	D	0	55,43	44,57	52,38	52,62	51,91	52,07
STV	Controle	0	62,91	58,75	64,00	58,92	61,93	61,38
	A	0	55,36	59,52	59,30	61,71	59,85	58,86
	B	0	62,69	59,96	56,78	58,10	58,32	57,11
	C	0	61,38	58,21	60,07	58,42	58,97	55,36
	D	0	60,28	51,97	68,71	57,33	57,22	54,92
Sse	Controle	0	97,00	98,15	97,01	99,06	99,70	99,86
	A	0	98,18	99,15	97,28	99,82	99,97	99,93
	B	0	99,27	99,15	99,73	99,71	99,93	99,75
	C	0	98,68	99,45	99,29	99,35	99,89	99,09
	D	0	99,36	97,67	99,77	99,61	99,88	99,78

5.3. Análise Conjunta dos Experimentos

Para analisar o efeito da época no desempenho dos inóculos no tratamento dos dejetos de suíno se fez necessária a realização da análise conjunta dos dois experimentos. As variáveis analisadas foram a temperatura, DBO₅, DQOt, ST e Nitrogênio Amoniacal.

Para a temperatura foi realizado o teste t de student, enquanto que para as outras variáveis foi realizada a análise de variância.

5.3.1. Temperatura

Na Tabela 30 são mostradas as médias da temperatura do ar e do líquido nos dois

Tabela 30 – Valores médios de temperatura do ar e do líquido durante os dois experimentos

Época	Médias	
	Temperatura do ar	Temperatura do líquido
1 (inverno)	22,9b	23,3b
2 (verão)	25,7a	25,8a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t de student ao nível de 5% de probabilidade.

experimentos. Na mesma Tabela pode-se verificar que as temperaturas registradas nos dois experimentos diferiram estatisticamente entre si ($P < 0,05$), fato esperado, pois os experimentos foram conduzidos em épocas distintas (inverno e verão).

Nas Figuras 25 e 26 são mostradas as variações de temperatura durante os dois experimentos, onde pode-se notar que as maiores amplitudes de temperaturas alcançadas, isto é, as diferenças entre as maiores e menores temperaturas, ocorreram no experimento 1.

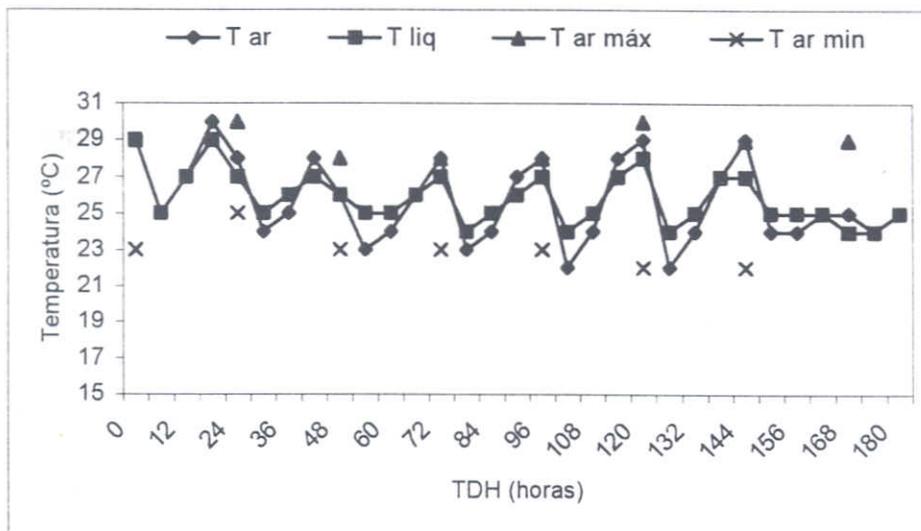


Figura 24 – Variação da temperatura na Época 1 (inverno)

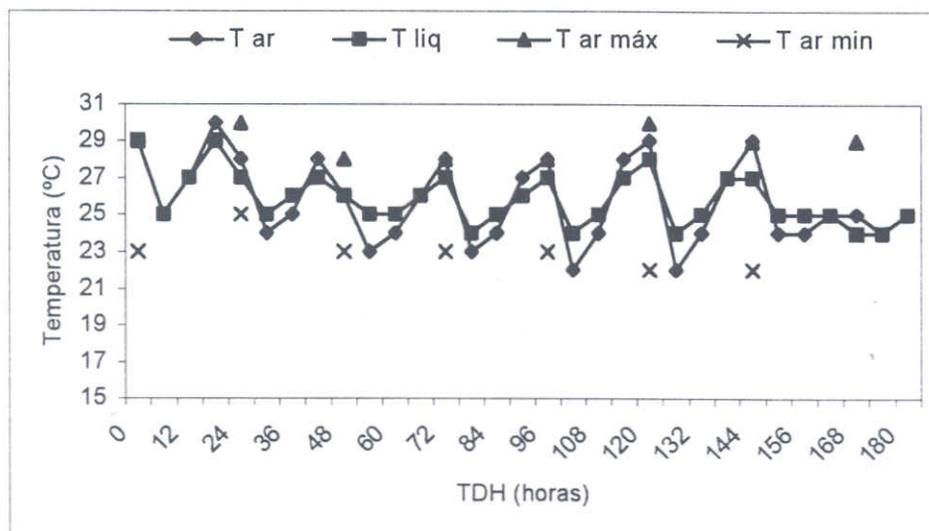


Figura 25 – Variação da temperatura na Época 2 (verão)

Dos fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção de espécies. Os microrganismos não possuem meios de controlar sua temperatura interna e, dessa forma, a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura do ambiente externo (Chernicharo, 1997). Segundo o mesmo autor, dois níveis ótimos de temperatura têm sido associados à digestão anaeróbia, um na faixa mesófila

(30 a 35°C), o outro na faixa termófila (50 a 55°C).

De acordo com Henze e Harremoës (1983), citado por Chernicharo (1997), a taxa máxima de crescimento bacteriano decresce 11% por 1°C, para digestores anaeróbios operados a temperatura abaixo de 30°C, de acordo com a seguinte expressão:

$$K(t) = K_{30} * 1,11^{(t-30)}$$

Onde:

$K(t)$ = taxa de crescimento para a temperatura (t)

K_{30} = taxa de crescimento para $t = 30^{\circ}\text{C}$

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Nos dois experimentos verificou-se que as temperaturas médias registradas foram inferiores a faixa ótima de crescimento, mas estão dentro da faixa de crescimento das bactérias mesófilas de 20 a 45°C .

5.3.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio total, Sólidos Totais e Nitrogênio Amoniacal

Os resultados médios das concentrações efluentes de DBO_5 , DQOt, ST e Nitrogênio Amoniacal estão apresentados na Tabela 31. Pode-se verificar que para todas as variáveis houve diferença significativa entre as épocas ($P < 0,01$). Para DBO_5 , DQOt e sólidos totais a época 2 (verão) apresentou maiores valores de concentração, que pode ser devido a um menor fator de diluição dos dejetos quando da lavagem da suinocultura.

Segundo Von Sperling (1996b), a estabilização da matéria orgânica se desenvolve como uma reação de pseudo-primeira ordem (reação de saturação). No

início da reação de decomposição da matéria orgânica, quando a sua concentração é ainda elevada, não há limitação da mesma no meio, e a taxa de remoção global aproxima-se da cinética de ordem zero (taxa de reação independe da concentração do reagente). À medida que o substrato passa a ser consumido, a taxa de reação principia a decrescer, caracterizando uma região de transição, e quando a concentração passa a ser bem baixa, a taxa de reação passa a ser limitada pela pouca disponibilidade da mesma no meio, caracterizando uma reação de primeira ordem (a taxa de reação é proporcional à concentração do reagente). Isto explica as baixas eficiências conseguidas de DBO_5 , DQOt e sólidos no experimento 2, onde a concentração foi significativamente superior ao do experimento 1 para um mesmo volume e tempo de detenção.

Para o nitrogênio amoniacal ocorreu o contrário, isto é, maiores valores de nitrogênio amoniacal na época 1 (inverno), que pode ser explicado pela quantidade da ração ministrada aos animais na época 2, já que houve uma redução de ração fornecida na ordem de 70%.

Tabela 31 – Valores médios da Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio Total, Sólidos totais e nitrogênio amoniacal

Variável	Época	Inóculos				
		Controle	A	B	C	D
DBO_5	1	2948cA	2602bA	2666bA	2578bA	2382aA
	2	9602dB	9069cB	8672bB	8185aB	8578bB
DQOt	1	9548bA	11028dA	9920cA	8166aA	9940bA
	2	12708bB	11874aB	12694bB	12082aB	11983aB
ST	1	4000bA	3746aA	3796aA	3789aA	4292cA
	2	8651aB	9138cB	9003bB	9154cB	9540bD
NH_4	1	573cB	532aB	585eB	563bB	578dB
	2	98cA	95bA	95bA	93aA	97cA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3.3. Constante de Degradabilidade K

A constante de degradabilidade K foi calculada para os parâmetros DBO₅ e DQOt, nas duas épocas (inverno e verão). Para o seu cálculo foi utilizada a equação $C = Co * e^{-KT}$

da época 1 (inverno) foram superiores a da época 2 (verão), explicando as baixas eficiências de redução da DBO₅ na época 2. Já na tabela 33 onde são mostrados os valores de k para a DQOt, pode-se observar que os valores de k não variaram muito em relação as duas épocas.

Na Tabela 32 pode-se observar que os valores da constante de degradabilidade k

Tabela 32 – Valores da Constante de Degradabilidade k para a DBO₅ nas épocas do inverno e verão

TDH	Inóculos									
	Inverno					Verão				
	Controle	A	B	C	D	Controle	A	B	C	D
30	0,006	0,023	0,011	0,018	0,026	0,004	0,007	0,010	0,013	0,009
60	0,012	0,012	0,012	0,017	0,013	0,001	0,005	0,005	0,007	0,003
90	0,008	0,010	0,011	0,010	0,010	0,002	0,002	0,003	0,005	0,003
120	0,007	0,007	0,010	0,007	0,010	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
150	0,006	0,007	0,006	0,006	0,008	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003
180	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
k médio	0,007	0,011	0,009	0,011	0,011	0,002	0,004	0,004	0,006	0,004

Tabela 33 – Valores da Constante de Degradabilidade k para a DQOt nas épocas do inverno e verão

TDH	Inóculos									
	Inverno					Verão				
	Controle	A	B	C	D	Controle	A	B	C	D
30	0,011	0,011	0,005	0,017	0,007	0,010	0,017	0,011	0,011	0,011
60	0,017	0,012	0,010	0,025	0,016	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007
90	0,011	0,008	0,007	0,009	0,012	0,006	0,006	0,005	0,007	0,008
120	0,006	0,006	0,007	0,007	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
150	0,005	0,003	0,010	0,007	0,004	0,004	0,006	0,005	0,006	0,005
180	0,004	0,002	0,004	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003
k médio	0,009	0,007	0,007	0,012	0,008	0,006	0,008	0,006	0,007	0,007

6. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste estudo foram:

- O sistema de tratamento anaeróbio mostrou-se muito eficaz na redução de sólidos sedimentáveis dos dejetos de suínos, com eficiências em torno de 99% no experimento 1 para o controle e para o inóculo a base de cama de frango e de 99,8% para o controle e para os inóculos a base de esterco bovino, cama de frango e comercial.
- A introdução de inóculos alternativos e comercial apresentou eficiência na redução da carga orgânica dos dejetos de suínos, sendo que para o experimento 1, o inóculo comercial e o inóculo a base de cama de frango apresentaram uma eficiência de redução de DBO_5 de 68,5% e 67%, respectivamente, enquanto que para o experimento 2, os inóculos comercial e inóculo a base de esgoto doméstico apresentaram eficiências de 37,50% e 37,07%.
- O aumento do tempo de detenção hidráulica a partir do tempo de 30 horas não aumentou significativamente a eficiência de redução de DBO_5 , DQO_t e sólidos.
- A variação de temperatura (inverno e verão) não afetou o processo anaeróbio

diretamente. As diferenças das concentrações, na época do verão foram maiores, causando uma menor eficiência no processo em reduzir os teores de DBO_5 , DQO_t , que pode ser evidenciado pelos valores da constante de degradabilidade K, que no inverno variou de 0,007 a 0,011 para DBO_5 e de 0,007 a 0,012 para DQO_t , e no verão variou de 0,002 a 0,006 para DBO_5 e de 0,006 a 0,008 para DQO_t .

- A utilização dos inóculos comercial e alternativo, nas condições do experimento, apresentou resultados que recomendam a sua utilização.

7. SUGESTÕES

As principais sugestões para trabalhos futuros são:

- A utilização do inóculo alternativo a base de cama de frango em maiores concentrações poderá ter melhor eficiência do que a encontrada no presente trabalho.
- Na análise de alcalinidade utilizar o método proposto por Ripley, que fornece a alcalinidade em dois estágios: alcalinidade parcial (AP), e alcalinidade intermediária (AI). Com os dados da relação AI/AP pode-se ter um melhor controle sobre o processo de digestão anaeróbia.
- Estudar o emprego de inóculos em escala piloto e em escala real.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIROTTO, A. F. Análise e perspectivas da suinocultura brasileira. **Suinocultura Industrial**. ano 24, n. 157, 2002, p. 10-16.

APHA – AWWA – WEF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 18 th. Ed. Washington, D. C.: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992

BANIK, G. C., DAGUE, R. R. ASBR treatment of low strenght industrial wastewater at psychophilic temperatures. **WATER SCI TECHNOL**, v. 36, p. 337-344, 1997.

BOTELHO, C. G. **Avaliação do suprimento hídrico e do volume residuário no manejo de bovinos, suínos e galináceos**. 1983. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 1983.

BRAILE, P. M., CAVALCANTE, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas Climatológicas 1961 – 1990**. Brasília: MARA, 1992. 84 p.

BRASIL, Lei, decretos, etc... Resolução CONAMA n° 20, de 18 de junho de 1986, Classificação das águas doces, salinas e salobras do Território Nacional. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília. P. 11356-11361, 30 de julho, 1986, Seção 1

CAÑIZARES, R. O.; DOMINGUEZ, A. R.; RIVAS, L. Free and immobilized cultures of *Spirulina máxima* for swine treatment. **BIOTECHNOL LETT**, v. 15, n. 3, p. 321-326, 1993.

CHERNICHARO, C. A. L., **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 1997. 247 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5).

DALAVÉQUIA, M. A. **Avaliação de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos**. 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2000.

DIESEL, R; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. **BIPERS**. ano 10, n. 14, 2002. (EMBRAPA – CNPSA).

DUDA, G. P., **Emprego de Inoculantes no Tratamento Anaeróbio de Dejetos de Suínos "in vitro"**. 1997. 53 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 1997.

FERREIRA, P.V. **Estatística Experimental aplicada á agronomia**. Maceió: Edufal, 1991. 437 p.

HARDOIM, P. C. **Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos**. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, Jaboticabal, 1999.

IMPACTO ambiental do uso agrícola do lodo de esgotos. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. 312 p.

ISBIZUKA, M. M. A biotecnologia no tratamento de dejetos de suínos. **BIOTECHNOL: Ciência e Desenvolvimento**. ano 1, n. 3. p. 16-17, 1997.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida**. 1980. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 1980.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA –

- CNPSA, 1983. 32 p. (EMBRAPA – CNPSA, circular técnica, 6).
- LOEHR, R. C. **Agricultural waste management: problems, processes, and approaches**. New York: Academic Press, 1974. 576 p.
- MACÊDO, J. A. B. Programa de bioaugmentação (Bioaugmentation): uma tecnologia avançada para tratamento de efluentes. **Rev. Nac. da Carne**. ano 24, n. 279, p. 106-116, 2000.
- MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos**. 1997. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1997.
- MICROORGANISMOS e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA. 1994. 142 p. (Embrapa – CNPAF. Documentos 45).
- NDON, U. J., DAGUE, R. R. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic sequencing batch reactor treatment of low-strength wastewater. **WATER RES.** vol. 31, p. 2455-2466, 1997.
- OLIVEIRA, P. A. V. (coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA. 1993. 188 p. (EMBRAPA - CNPSA, Documentos 27).
- PESSOA, C.A., JORDÃO, E.P. **Tratamento de esgotos domésticos Vol 1: concepções clássicas de tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: ABES/BNH, 1982, 536 p.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba, 1982. 430 p.
- ROSA, J. Programa de "bioaugmentação" para aplicação em processos biológicos de tratamento de águas e resíduos orgânicos em geral. **Rev. Nac. da Carne**. ano 19, n. 223, p. 48-52, 1995.
- ROSALES, L. Nuevo concepto em el manejo de purines. **Cooprinforma**. n. 57, p. 20-21, 2001.
- ROUQUAYROL, M. Z. **Epidemiologia & Saúde**. 4 ed. Rio de Janeiro: MEDSI. 1994. 540 p.
- SAMPAIO, I.B.M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998. 221 p.
- SCHNEIDER, D. R. **Biorremediação de Resíduos Orgânicos**. Haztech: Canadá. 1990. 8p.
- SCHNEIDER, D. R. Bioaumentação: uma solução natural para problemas não naturais. **Rev. Nac. da Carne**. ano 15, n. 176, p. 57-59, 1991.
- SEGANFREDO, M. A. Equação de dejetos. **Suinocultura Industrial**. ano 22, n. 144, abr-mai 2000, p. 14-18.
- SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. 1996. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1996.
- SILVA, P. R. **Lagoas de estabilização para tratamento de resíduos de suínos**. 1973. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 1973.
- SOUZA, E. A. **Avaliação "in vitro" de inoculantes anaeróbios para redução da carga orgânica em águas residuárias de indústrias de laticínios**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos), Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa. 2000.
- TALAMINI, D. J. D. Suinocultura em números. **Suinocultura Industrial**. ano 21, n. 139, jun – jul 1999, p. 42.

VIRARAGHAVAN, T., VARADARAJAN, R. Low-temperature kinetics of anaerobic-filter wastewater treatment. **BIORESOUR TECHNOL.** v. 57, p. 165-171, 1996.

Van HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande, 1994, 208 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2 ed. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 1996a. 243 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: DESA - UFMG, 1996b. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 2).

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização.** Belo Horizonte: DESA - UFMG, 1996c. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 3).

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados.** Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2002. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 4).

ZHANG, R. H. SUNG, Y. Y. S. DAGUE, R. R. Anaerobic treatment of swine waste by the anaerobic sequencing batch reactor. **TRANS ASAE.** v. 40, p. 219-227, 1994.

APÊNDICES

Tabela 1A – Vazão da época fria

tomadas	I			II			III		
	hora	tempo	vazão	tempo	vazão	tempo	vazão	tempo	vazão
08:20	5,43	1	0,18	2,87	1	0,35	6,24	1	0,16
08:25	11,26	1	0,09	2,17	1	0,46	7,84	1	0,13
08:30	15,92	1	0,06	2,38	1	0,42	14,22	1	0,07
08:35	15,87	1	0,06	2,1	1	0,48	15,65	1	0,06
08:40	21,83	1	0,05	1,28	1	0,78	14,15	1	0,07
08:45	16,73	1	0,06	2,14	1	0,47	9,32	1	0,11
08:50	1,78	1	0,56	4,27	1	0,23	5,58	1	0,18
08:55	3,2	1	0,31	5,06	1	0,20	5,15	1	0,19
09:00	5,49	1	0,18	7,65	1	0,13	4,29	1	0,23
09:05	8,62	1	0,12	3,14	1	0,32	3,33	1	0,30
09:10	2,56	1	0,39	5,51	1	0,18	4,25	1	0,24
09:15	1,19	1	0,84	8,36	1	0,12	1,25	1	0,80
09:20	0,7	1	1,43	2,89	1	0,35	1,2	1	0,83
09:25	2,72	1	0,37	4,95	1	0,20	2,72	1	0,37
09:30	4	1	0,25	2,17	1	0,46	5,64	1	0,18
09:35	3,36	1	0,30	2,57	1	0,39	12,41	1	0,08
09:40	10,19	1	0,10	22,03	1	0,05	7,25	1	0,14
09:45	1,21	1	0,83	32,84	1	0,03	5,4	1	0,19
09:50	6,65	1	0,15	1,74	1	0,57	9,85	1	0,10
09:55	6,42	1	0,16	1,94	1	0,52	15,2	1	0,07

Tabela 2A – Vazão da época quente

tomadas	I			II			III		
	hora	tempo	vazão	tempo	vazão	tempo	vazão	tempo	vazão
08:20	5,56	1	0,18	4,74	1	0,21	3,27	1	0,31
08:25	6,65	1	0,15	17,03	1	0,06	9,89	1	0,10
08:30	6,11	1	0,16	3,8	1	0,26	7,24	1	0,14
08:35	4,3	1	0,23	2,82	1	0,35	3,35	1	0,30
08:40	3,77	1	0,27	3,49	1	0,29	4,5	1	0,22
08:45	2,97	1	0,34	2,41	1	0,41	5,02	1	0,20
08:50	3,13	1	0,32	5,13	1	0,19	5,55	1	0,18
08:55	3,87	1	0,26	11,68	1	0,09	8,9	1	0,11
09:00	10,33	1	0,10	2,79	1	0,36	11,45	1	0,09
09:05	15,31	1	0,07	1,72	1	0,58	8,9	1	0,11
09:10	3,33	1	0,30	2,22	1	0,45	2,8	1	0,36
09:15	4,59	1	0,22	3	1	0,33	7,56	1	0,13
09:20	3,56	1	0,28	9,52	1	0,11	9,15	1	0,11
09:25	2,6	1	0,38	2,57	1	0,39	2,35	1	0,43
09:30	6,14	1	0,16	2,06	1	0,49	4,5	1	0,22
09:35	7,87	1	0,13	1,48	1	0,68	2,14	1	0,47
09:40	14,29	1	0,07	1,62	1	0,62	2,59	1	0,39
09:45	2,47	1	0,40	2,02	1	0,50	2,1	1	0,48
09:50	2,66	1	0,38	4,52	1	0,22	3,59	1	0,28
09:55	13,53	1	0,07	7,1	1	0,14	7,1	1	0,14

Figura 1A – Variação da vazão na época Fria (experimento 1)

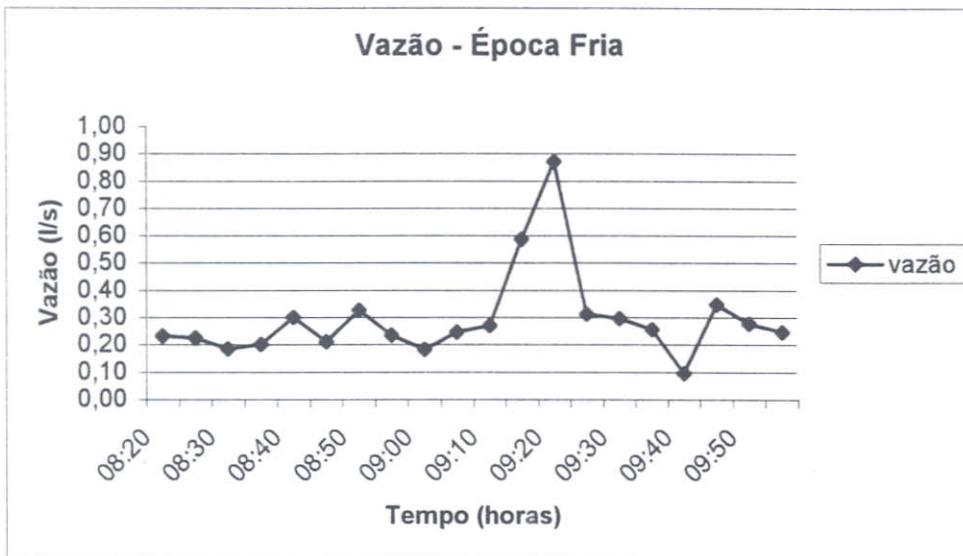


Figura 2A – Variação da vazão na época Quente (experimento 2)





Figura 2 – Bateria de recipientes PET usadas no delineamento experimental

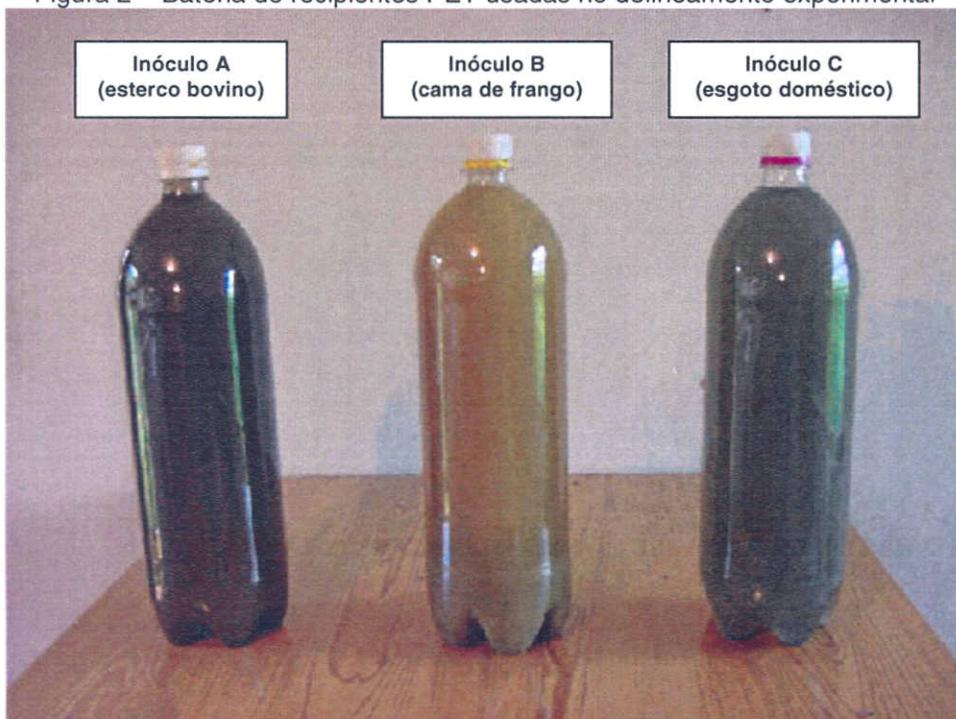


Figura 3 – Inóculos alternativos empregados na composição dos tratamentos