



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

**DESIDRATAÇÃO TÉRMICA E DESINFECÇÃO QUÍMICA COM
CAL DE LODO DE REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE
LODO (UASB) TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS**

LUCIANA COELHO MENDONÇA



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Roberto Campos

São Carlos, 1999

Class.	TESE- EESC
Curt.	3594
Tombo	0078/99

31100006859

SYS 1032336

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M539d Mendonça, Luciana Coêlho
Desidratação térmica e desinfecção química com cal
de lodo de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB)
tratando esgotos sanitários / Luciana Coêlho Mendonça.
-- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. José Roberto Campos.

1. Lodo de esgoto. 2. UASB. 3. Biogás.
4. Desinfecção. 5. Desidratação. 6. Leitões de secagem.
I. Título.


FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **LUCIANA COÊLHO MENDONÇA**

Dissertação defendida e aprovada em 08-02-1999
pela Comissão Julgadora:



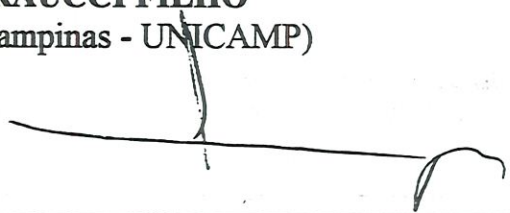
Prof. Titular **JOSÉ ROBERTO CAMPOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **JOSMAR DAVILSON PAGLIUSO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **BRUNO CORAUCCI FILHO**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*“A única maneira de descobrir os limites do possível
é ir além deles, para o impossível”*

(Arthur C. Clarke)

*Aos meus pais, Sérgio e Lucinha,
que desde cedo e sempre,
estiveram ao meu lado,
e aos meus irmãos, Fábio e Juliana.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e perseverança para a realização e conclusão deste trabalho.

Ao meu pai, minha fonte de admiração e inspiração, pelo grande apoio e incentivo.

Ao Professor José Roberto Campos, pela orientação, dedicação e incentivo dispensados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Antônio Sérgio Spanó Seixas, pela dedicação na realização dos exames parasitológicos.

Ao Professor Josmar Davilson Pagliuso, pela colaboração na parte termodinâmica do trabalho.

Às Professoras Beatriz Susana de O. Ceballos, pelas sugestões durante o decorrer do trabalho, e Annemarie König, pela colaboração.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Júlio César Trofino, Paulo Fragiácomo, Maria Aparecida Peres Viúdes e Eliana Aparecida Arcaide, pela ajuda na caracterização das amostras.

A Francisco Bergamin, pela montagem dos leitos de secagem.

Aos Professores Carlos Eduardo Blundi, Harry Edmar Schulz, Luiz Antonio Daniel e Fazal Hussain Chaudhry, pela contribuição.

À Cláudia Araújo Amorim de Oliveira, pela amizade e apoio.

A André Luís de Oliva Campos, pelo carinho, apoio e sugestões.

A Neyson Martins Mendonça, pela contribuição.

Aos familiares e amigos, que torceram por mim.

Aos amigos Seussy, Suzy, Luciane, Kelly, Herlane, Sissy, Lília, Adelino, Ricardo, Paulo Tadeu, Leila, Marilu, Luci, Ana Cláudia, Regina, Jérôme, Ângela, Marcia, Karina e Cláudia, pela companhia.

A Nancy e Teixeira, pela acolhida em São Carlos.

A Rogério Gomes Penetra, que operou o reator durante todo o período de realização do trabalho.

À Ângela Barreto, pelos métodos fornecidos de digestão das amostras.

A Sílvia Helena Prado Bettini, pela colaboração.

A Sá e Pavi, da Secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado (Processo 135.580/96-0).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS	4
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1- Reator Anaeróbio de Manta de Lodo	5
3.2- Biogás	9
3.3- Lodo de esgoto	11
3.3.1- Generalidades	11
3.3.2- Organismos patogênicos no lodo	16
3.3.3- Metais pesados no lodo	21
3.3.4- Desidratação do lodo	22
3.3.5- Desinfecção do lodo	27
3.3.6- Disposição do lodo	33
3.3.6.1- Generalidades	33
3.3.6.2- Formas de disposição do lodo mais utilizadas no mundo	34
3.3.6.3- Formas de disposição do lodo mais utilizadas no Brasil	36
4- MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1- Introdução	39
4.2- O Reator Anaeróbio de Manta de Lodo	40
4.3- <u>Fase I</u> : Estudo da possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo	47

4.4- <u>Fase II</u> : Caracterização, tratamento químico com cal (desinfecção) e tratamento térmico (desidratação) do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo	54
4.4.1- Descrição geral do experimento	54
4.4.2- Coleta das amostras	57
4.4.3- Procedimento analítico	58
4.5- <u>Fase III</u> : Desidratação do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional (em escala de laboratório)	74
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1- <u>Fase I</u> : Estudo da possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo	79
5.1.1- Temperatura final do lodo	79
5.2- <u>Fase II</u> : Caracterização, tratamento químico com cal (desinfecção) e tratamento térmico (desidratação) do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo	81
5.2.1- Caracterização do lodo bruto	81
5.2.2- Tratamento térmico: tempo de secagem	82
5.2.3- pH das amostras caladas	83
5.2.4- Desidratação das amostras caladas	84
5.2.5- DQO do lodo bruto e das amostras caladas	85
5.2.6- Nitrogênio Total Kjeldahl do lodo bruto e das amostras caladas	87
5.2.7- Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas	89
5.2.8- Potássio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas	92
5.2.9- Sódio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas	92
5.2.10- Sulfato nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas	93
5.2.11- Cálcio nas amostras de lodo bruto	95
5.2.12- Comparação do lodo bruto produzido no reator anaeróbio de manta de lodo (EESC-USP) com lodos de Brasília e do Paraná	95
5.2.13- Reidratação das amostras	97
5.2.14- pH das amostras reidratadas	97
5.2.15- Bacteriologia (lodo bruto/lodo calado)	98
5.2.16- Parasitologia (lodo bruto/lodo calado)	101
5.3- <u>Fase III</u> : Desidratação do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional (em escala de laboratório)	103

5.3.1- Tempo de secagem	105
5.3.2- Sólidos no líquido percolado	105
5.3.3- DQO do líquido percolado	105
5.3.4- Teor de sólidos no lodo	106
5.3.5- Sólidos fixos e voláteis no lodo	107
6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
7- ANEXOS	112
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Esquema típico de reator anaeróbio de manta de lodo	7
Figura 3.2- Origem, tratamento e disposição do lodo de esgoto	13
Figura 3.3- Desenho esquemático das partes componentes de um de um leito de secagem	25
Figura 4.1-Localização do Reator Anaeróbio de Manta de Lodo no Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP	41
Figura 4.2- Reator Anaeróbio de Manta de Lodo utilizado no trabalho	42
Figura 4.3- Planta baixa do reator UASB (cotas em metros)	43
Figura 4.4- Planta alta do reator UASB (cotas em metros)	43
Figura 4.5- Corte AA do reator UASB (cotas em metros)	44
Figura 4.6- Corte BB do reator UASB (cotas em metros)	45
Figura 4.7- Fluxograma geral do trabalho e das análises realizadas	56
Figura 4.8- Ponto de coleta do lodo, no Reator Anaeróbio de Manta de Lodo	57
Figura 4.9- Coleta de amostra do lodo bruto	58
Figura 4.10- Conjuntos de cápsulas utilizados com suas respectivas dosagens de cal	62
Figura 4.11- Conjuntos de cápsulas utilizados com suas respectivas dosagens de cal, em 40ml de lodo	63
Figura 4.12- Conjuntos de cápsulas utilizados, na estufa, com suas respectivas dosagens de cal, em 40ml de lodo	63
Figura 4.13- Esquema do procedimento de reidratação das amostras	69

Figura 4.14- Montagem do leito de secagem: (a) fotografia – vista lateral; (b) e (c) desenhos esquemáticos	75
Figura 4.15- Vista superior das montagens leitos de secagem, em escala de laboratório: (a) base perfurada do recipiente I; (b) camada de perfix sobre a base do recipiente I	76
Figura 4.16- Vista superior das montagens leitos de secagem, em escala de laboratório: (a) após colocação da camada drenante (areia grossa); (b) após colocação do lodo	76
Figura 4.17- Montagem dos leitos de secagem, em escala de laboratório, em que foi utilizada secagem não-convencional (secagem na estufa)	78
Figura 4.18- Montagem dos leitos de secagem, em escala de laboratório, em que foi utilizada secagem convencional (leitos de secagem descobertos e cobertos)	78
Figura 5.2.1- DQO do lodo bruto e das amostras caladas (digestão com ácido nítrico)	86
Figura 5.2.2- DQO do lodo bruto e das amostras caladas (digestão com ácido sulfúrico)	87
Figura 5.2.3- NTK das amostras caladas de lodo	88
Figura 5.2.4- Sulfato das amostras de lodo bruto e nas amostras caladas	94
Figura 5.3.1- DQO do líquido percolado nos leitos de secagem convencionais descoberto e coberto	106
Figura 5.3.2- Teor de sólidos do lodo nos leitos de secagem	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Reator UASB: eficiência, produção de lodo e biogás	12
Tabela 3.2- Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos no lodo de esgoto	18
Tabela 3.3- Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos em corpo receptor contaminado por esgotos sanitários	19
Tabela 3.4- Principais organismos patogênicos potencialmente presentes em esgotos sanitários não tratados	20
Tabela 3.5- Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para reciclagem agrícola	21
Tabela 3.6- Vantagens e desvantagens do uso de leitos de secagem	24
Tabela 3.7- Processos que reduzem significativamente patógenos em biossólidos	29
Tabela 3.8- Disposição do lodo de esgoto na Europa em 1990	35
Tabela 4.1- Caracterização do esgoto bruto que alimentava o reator anaeróbio de manta de lodo, durante realização do trabalho de OLIVA (1997)	46
Tabela 4.2- Parasitos pesquisados nas amostras de lodo bruto e nas amostras reidratadas	72
Tabela 5.1.1- Temperatura final do lodo decorrente do aquecimento com a queima do biogás para diversos teores de umidade do lodo bruto	80
Tabela 5.2.1- Caracterização do lodo coletado no reator anaeróbio de manta de lodo	81
Tabela 5.2.2- pH das amostras caladas	83
Tabela 5.2.3- Umidade final média do lodo calado (%), após 5 dias em estufa	84

Tabela 5.2.4– DQO do lodo bruto e das amostras caladas (g/kg de lodo seco)	85
Tabela 5.2.5– NTK das amostras caladas de lodo* (% ou g/100g de lodo seco)	88
Tabela 5.2.6– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco): 40°C – 1ª coleta	90
Tabela 5.2.7– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco): 50°C – 2ª coleta	90
Tabela 5.2.8– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco): 40°C – 3ª coleta	91
Tabela 5.2.9– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco): 50°C – 4ª coleta	91
Tabela 5.2.10- Potássio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco)	92
Tabela 5.2.11– Sódio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco)	93
Tabela 5.2.12– Sulfato nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco)	94
Tabela 5.2.13- Cálcio nas amostras de lodo bruto* (g/kg de lodo seco)	95
Tabela 5.2.14- Características físico-químicas do lodo do reator anaeróbio de manta de lodo (EESC-USP) e dos lodos da CAESB e da SANEPAR	96
Tabela 5.2.15- pH das amostras reidratadas, após 5 (1ª, 2ª, 3ª e 4ª coleta) e 15 dias de contato com a cal (3ª e 4ª coleta)	98
Tabela 5.2.16- NMP de coliformes totais por 100ml nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas, com 5 e 15 dias de contato com a cal	99
Tabela 5.2.17- Eficiência de remoção de coliformes totais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas, com 5 e 15 dias de contato com a cal	100

Tabela 5.2.18– Protozoários e helmintos encontrados nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas após 5 dias de contato com a cal (1 ^a , 2 ^a , 3 ^a e 4 ^a coleta)	102
Tabela 5.2.19– Protozoários e helmintos encontrados nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas após 15 dias de contato com a cal (3 ^a e 4 ^a coleta)	103
Tabela 5.3.1- Monitoramento dos leitos de secagem: características do líquido percolado	104
Tabela 5.3.2- Monitoramento dos leitos de secagem: características do lodo	104
Tabela A – Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) – 40°C (1 ^a coleta)	113
Tabela B – Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) – 50°C (2 ^a coleta)	114
Tabela C – Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) – 40°C (3 ^a coleta)	115
Tabela D – Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) – 50°C (4 ^a coleta)	116
Tabela E- Quantidade de lodo seco (P _s) e água (P _a) utilizados no procedimento de reidratação: 40°C (1 ^a coleta)	117
Tabela F- Quantidade de lodo seco (P _s) e água (P _a) utilizados no procedimento de reidratação: 50°C (2 ^a coleta)	118
Tabela G- Quantidade de lodo seco (P _s) e água (P _a) utilizados no procedimento de reidratação: 40°C (3 ^a coleta)	119
Tabela H- Quantidade de lodo seco (P _s) e água (P _a) utilizados no procedimento de reidratação: 50°C (4 ^a coleta)	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAESB	- Companhia de Água e Esgoto de Brasília
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	- <i>Escherichia coli</i>
ESALQ	- Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz
ETE	- Estação de Tratamento de Esgotos
IAC	- Instituto Agronômico de Campinas
NBR	- Norma Brasileira Registrada
NMP	- Número Mais Provável
NTK	- Nitrogênio Total Kjeldahl
R\$	- real: unidade monetária brasileira (US\$1.00 = R\$1,20 em dezembro de 1998)
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SDF	- sólidos dissolvidos fixos
SDT	- sólidos dissolvidos totais
SDV	- sólidos dissolvidos voláteis

SF	- sólidos fixos
SSed	- sólidos sedimentáveis
SSF	- sólidos suspensos fixos
SST	- sólidos suspensos totais
SSV	- sólidos suspensos voláteis
ST	- sólidos totais
STF	- sólidos totais fixos
STV	- sólidos totais voláteis
SV	- sólidos voláteis
U.S.EPA	- United States Environmental Protection Agency (Agência Americana de Proteção Ambiental)
US\$	- dólar: unidade monetária norte-americana
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reator (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo)

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔT	- variação da temperatura
c	- calor específico do lodo bruto
Ca	- cálcio
C _{água}	- calor específico da água
Cd	- cádmio
Cr	- cromo
Cu	- cobre
D	- dosagem de cal
E	- energia disponível em função do biogás gerado
Fe	- ferro
H ₂ SO ₄	- ácido sulfúrico
HNO ₃	- ácido nítrico
K	- potássio
m _{lodo bruto}	- massa de lodo bruto produzida
m _{lodo seco}	- massa de lodo seco
Mn	- manganês
Na	- sódio
Ni	- níquel

P_0	- peso da cápsula
P_1	- peso da cápsula contendo cal
P_1	- $P_0 + P_{cal}$
P_1'	- $P_0 + P_{lodo}$
P_2	- $P_1 + P_{lodo}$
P_2'	- P_1 após secagem a 105°C
P_3	- P_2 após secagem a 40 ou 50°C
P_a	- peso da água
$P_{\text{águaA}}$	- quantidade de água na cápsula antes de sair da estufa
$P_{\text{águaD}}$	- quantidade de água na cápsula depois de sair da estufa
P_b	- chumbo
$P_{\text{biogás}}$	- produção <i>per capita</i> de biogás
P_c	- P_1 após calcinação a 600°C
P_{cal}	- peso de cal
$PC_{\text{biogás}}$	- poder calorífico do biogás
P_{lodo}	- peso do lodo, referente a 40m^3 de lodo bruto
P_s	- peso da amostra seca = $P_2' - P_0$
P_u	- peso da amostra úmida = $P_1' - P_0$
SO_4^{2-}	- sulfato
T_f	- temperatura final do lodo, após aquecimento
T_i	- temperatura inicial do lodo

- u - umidade do lodo bruto
- u% - teor de umidade
- u_f% - teor de umidade final do lodo calado (após saída da estufa)
- Zn - zinco

RESUMO

MENDONÇA, L. C. (1999), *Desidratação Térmica e Desinfecção Química com Cal de Lodo de Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB) Tratando Esgotos Sanitários*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 130p., São Carlos, SP

Visando o aproveitamento do biogás produzido em reatores UASB para secagem do lodo anaeróbico produzido no mesmo, foi realizado estudo teórico para determinar se a temperatura que o lodo pode atingir é suficiente para desidratá-lo, empregando a queima do biogás como fonte de calor. Obteve-se temperatura de 49°C para lodo com umidade de 99% de umidade; 77°C para lodo com umidade de 98%; e 100°C para lodo com umidade igual ou inferior a 97%. Esses resultados foram conseguidos com a utilização da produção de lodo seco *per capita* (10,8gSST/hab.dia) e de biogás *per capita* (6,2ℓ/hab.dia), que foram determinados teoricamente com base em dados da literatura sobre águas residuárias e reatores UASB, sempre assumindo as condições a favor da segurança. Os dados obtidos indicaram que, teoricamente, a queima do biogás auxilia na desidratação do lodo produzido neste reator, reduzindo tempo de secagem de 20 a 30 dias (leitos de secagem convencionais) para cerca de 5 dias. Foi estudado também desinfecção térmica a 40 e 50°C, simultaneamente com tratamento químico com cal, com dosagens de 10; 20; 30; 40 e 50% de cal em relação ao peso seco do lodo. Os resultados desse estudo permitiram concluir que lodo submetido a tratamento térmico a 50°C, durante 5 dias, e dosado com 30% de cal (pH em torno de 12,0) pode ser aplicado no solo, após 15 dias da calagem, sem que haja prejuízo ambiental.

Palavras-chave: *lodo de esgoto, UASB, biogás, desinfecção, desidratação, leitos de secagem*

ABSTRACT

MENDONÇA, L. C. (1999), *Thermal Dewatering and Chemical Disinfection with Lime of Sludge from Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) Treating Domestic Wastewater*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 130p., São Carlos, SP

Aiming the recovery of biogas produced in UASB reactors for drying its production of anaerobic sludge produced in it, theoretical study was carried out to determine if the temperature that the sludge can reach is enough to dehydrate it, using the burning of biogas as heat source. It was achieved temperature of 49°C for sludge with 99% of moisture; 77°C for sludge with 98% of moisture; 100°C for sludge with moisture of 97% or less. These results had been obtained with the use of the production of dry sludge per person (10,8gSST/hab.day) and of biogas per person (6,2ℓ/hab.dia), which had been determined theoretically on the basis of literature data on wastewater and UASB reactors, always assuming the conditions in favor of the security. The data obtained indicated that, theoretically, the burning of biogas favors the dehydration of the sludge produced in that reactor, reducing drying time from 20 to 30 days (conventional drying beds) to approximately 5 days. Thermal disinfection was also studied at 40 and 50°C, simultaneously with chemical treatment with lime in dosages of 10; 20; 30; 40 and 50%, in relation to the dry weight of the sludge. The results of this study allowed to conclude that sludge submitted to thermal handling at 50°C, during 5 days, and dosed with 30% of lime (pH around 12,0) can be applied in the ground, 15 days after the addition of lime, without causing damage to the environment.

Keywords: *sewage sludge, UASB, biogas, disinfection, dewatering, drying beds*

1- INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de melhoria na qualidade de vida, tanto as nações em desenvolvimento, como as desenvolvidas, de maneira geral, vêm elaborando normas ambientais mais rígidas em relação ao lançamento de seus efluentes.

Assim essas nações estão procurando implantar mais e melhores estações de tratamento de esgotos (ETEs), visando menor poluição dos corpos receptores. Entretanto, o aumento populacional, aliado ao aumento do número de ETEs e da melhoria da eficiência do tratamento dos esgotos, implicam diretamente no aumento da produção do principal subproduto dessas estações: o lodo. As quantidades geradas de lodo são muito grandes e nem sempre existem áreas disponíveis e adequadas para sua disposição.

Em determinados Estados do Brasil, a elevada produção de lodo oriundo de ETEs é alvo de preocupação. SANTOS & TSUTIYA (1997), por exemplo, previram, para o ano de 2005, produção diária de 575 toneladas de lodo seco gerado na região metropolitana de São Paulo pelas principais ETEs operadas pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Essas estações, em sua maioria, utilizam, no tratamento de esgotos, o processo aeróbio para degradação biológica da matéria orgânica.

Uma das maneiras de reduzir a produção de lodo em estações de tratamento é a utilização de processos anaeróbios, seguidos por pós-tratamento adequado, que podem produzir quantidades

significativamente menores de lodo que os processos aeróbios (CAMPOS, 1994). Além da vantagem da menor geração de lodo, os processos anaeróbios produzem biogás, composto, em grande parte, por metano, que é um gás de elevado potencial combustível, que pode ser eventualmente aproveitado. Um exemplo de sistema de tratamento que utiliza o processo anaeróbio são os reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Além de grandes quantidades de lodo, outro problema gerado com sua produção é seu transporte, que, em grandes cidades, resulta em altos custos, devido às grandes distâncias entre as ETEs e o destino final do lodo.

O custo das unidades para tratamento do lodo pode representar cerca de um terço do investimento total em uma ETE (VESILIND, 1974). Por isso, é essencial que se tenha um sistema de tratamento de lodo bem projetado e operado.

O lodo possui, em sua composição, matéria orgânica e macro e micronutrientes necessários aos vegetais, o que o torna passível de ser aplicado na agricultura. Mas, para ser aplicado na agricultura, em muitos casos, o lodo necessita de tratamento para reduzir os organismos patogênicos, que também estão presentes em sua constituição. Esses patógenos vão se concentrando no lodo, durante o tratamento dos esgotos.

No presente trabalho, foi estudada a potencialidade de redução do volume de lodo proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo, por meio de desidratação térmica, utilizando a queima do biogás produzido no reator, como fonte térmica. Também foi estudada a desinfecção do lodo, utilizando simultaneamente processo químico (com cal) e térmico (calor produzido pela queima do biogás).

Dosagem de 50% de cal (em relação ao peso seco do lodo) é a que está sendo utilizada no Estado do Paraná (FERNANDES *et*

al, 1995), para desinfecção de lodo de esgoto, com a obtenção de eficiência elevada na remoção dos organismos patogênicos.

Em virtude do uso simultâneo do tratamento térmico com o tratamento químico, no presente trabalho, foram utilizadas dosagens de cal inferiores a 50% no intuito de obter-se resultados satisfatórios quanto à redução dos patógenos, como também de reduzir o volume da mistura lodo/cal e, conseqüentemente, a área requerida para armazenamento na ETE e o custo do transporte do lodo a seu destino final.

O uso de dosagens de cal menores que 50% foi em vista do para auxiliar na desinfecção do lodo,

2- OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são:

- Estudar a possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo;
- Caracterizar o lodo proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo;
- Estudar a desinfecção química (com cal) e térmica do lodo proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo;
- Comparar a desidratação do lodo proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional (em escala de laboratório).

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados a produção de lodo e de biogás em reatores anaeróbios de manta de lodo, a problemática do lodo de esgoto, dois tipos de tratamento de lodo - desinfecção (ênfatizando a desinfecção química, com adição de cal) e desidratação (ênfatizando a desidratação térmica e em leitos de secagem) – e formas de disposição do lodo de esgotos sanitários.

3.1- Reator Anaeróbio de Manta de Lodo

Segundo OLIVA & FORESTI (1998), de maneira geral, os sistemas anaeróbios podem ser implementados a custos mais baixos que os sistemas aeróbios, devido à simplicidade dos reatores normalmente utilizados, por não consumirem energia, por poderem ser locados praticamente em qualquer lugar e em várias escalas, por suportarem altas taxas orgânicas, por produzirem pequenas quantidades de lodo, pelo fato dos microrganismos poderem permanecer longos períodos sem alimentação e por poderem ser combinados com sistemas de pós-tratamento, caso haja necessidade.

O reator anaeróbio de manta de lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é um tipo de reator utilizado no tratamento de esgoto sanitário ou industrial. Como o lodo estudado nesta pesquisa foi oriundo de um reator deste tipo, foi enfocado apenas esse reator.

A proposição e a difusão desse reator é atribuída a LETTINGA e colaboradores, que, em 1973, efetuaram montagem de unidade em escala de laboratório, na Universidade de Wageningen - Holanda. Logo em seguida foram construídas unidades piloto com volume de 6m^3 e 300m^3 , recebendo como afluente águas residuárias de indústrias produtoras de açúcar de beterraba. Esses reatores apresentavam as condições que caracterizam o reator de manta de lodo, tal como ora é conhecido (CAMPOS, 1996).

No Brasil, são utilizadas várias denominações para este reator. Na Paraíba, é conhecido como DAFA (Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente); no Paraná, por RALF (Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado); no Rio Grande do Norte, por RAFAALL (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente Através do Leito de Lodo); e há também técnicos que utilizam a denominação de RAFA (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente) (ANDRADE NETO, 1997). Contudo, há uma tendência generalizada de se utilizar o termo UASB, reator anaeróbico de manta de lodo, que foi aquele dado pelo seu maior propagador, o Prof. Gatzte Lettinga.

O reator UASB é uma unidade de tratamento de fluxo ascendente, que utiliza o processo anaeróbico para degradação da matéria orgânica. A água residuária passa através de uma região (de reação) que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios, que se agrupam em grânulos ou flocos.

O dispositivo característico mais importante deste tipo de reator é o separador de fases – separador do gás (biogás), líquido (efluente) e sólido (lodo) - distinguindo-se quatro funções diferentes: (1) coleta do biogás produzido na zona de digestão abaixo do separador; (2) permite a sedimentação de sólidos em suspensão na parte superior do reator; (3) ajuda na manutenção de concentração baixa de sólidos sedimentáveis no efluente e (4) o espaço acima do separador pode ser usado para armazenamento de lodo durante períodos de sobrecarga hidráulica (VAN HAANDELL & LETTINGA, 1994).

A água residuária entra pela parte inferior do reator, segue trajetória ascendente, passa pela zona de digestão, havendo mistura com o lodo anaeróbio presente nessa zona. Ocorre então a digestão anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento do lodo. Acima da região em que há a manta de lodo, existe uma região com dispositivos destinados à sedimentação de sólidos e à separação de gases. O líquido tratado segue, em sentido ascendente, sendo coletado na parte superior do reator (VAN HAANDELL & LETTINGA, 1994).

Conforme pode ser observado na Figura 3.1, esse reator deve ter seu afluente criteriosamente distribuído junto ao fundo, de maneira que ocorra o contato adequado entre os microrganismos e o substrato. A agitação e a mistura são promovidas pelo escoamento do líquido, assim como pelo movimento das bolhas de gases produzidos.

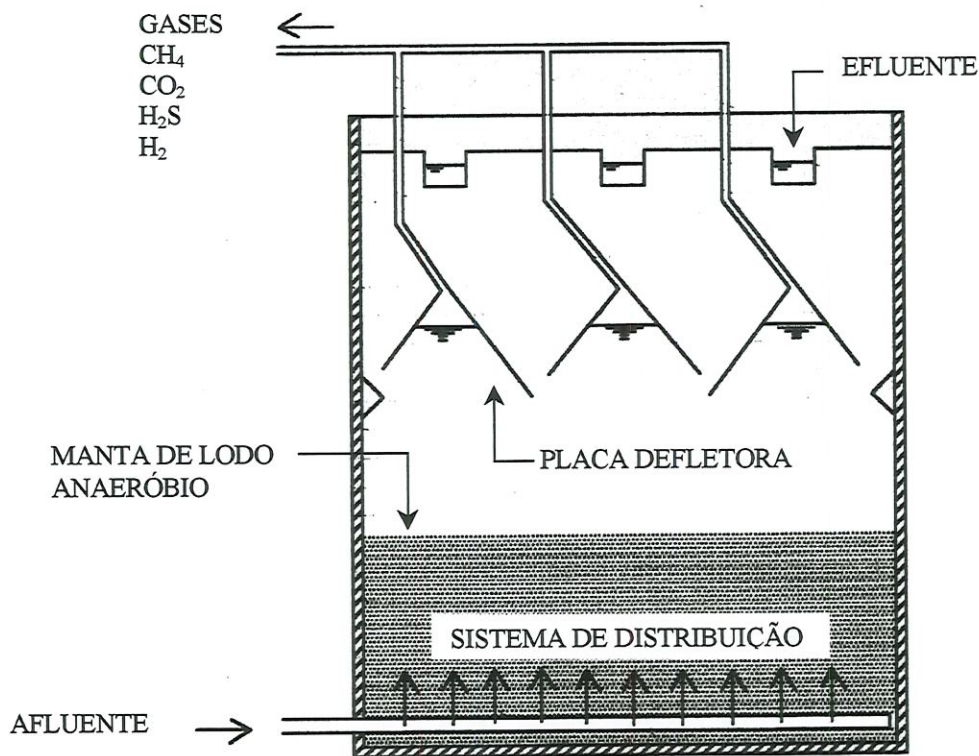


Figura 3.1 - Esquema típico de reator anaeróbio de manta de lodo
(Adaptado de CAMPOS, 1996).

Esse reator oferece condições para que grande quantidade de lodo biológico fique retida no interior do mesmo em decorrência das características hidráulicas do escoamento e também da natureza desse material que apresenta boas características de sedimentação, conseqüentes de fatores físicos e bioquímicos que estimulam a floculação e granulação (CAMPOS, 1996).

A experiência com o uso desse reator para tratamento de esgotos demonstra sua grande potencialidade para emprego intensivo, com custos de operação significativamente inferiores em relação àqueles correspondentes a sistemas de tratamento aeróbios convencionais. Os reatores de manta de lodo não necessitam de qualquer equipamento especial para seu funcionamento, resultando que o consumo de energia elétrica é sensivelmente menor que aquele necessário para o funcionamento do sistema de aeração de estações que empregam o processo de lodos ativados, por exemplo (CAMPOS, 1996).

Além disso, como emprega o processo anaeróbio, a produção de lodo é muito menor, reduzindo ainda mais os custos operacionais e de manutenção.

Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases, que são coletados na parte superior do reator, de onde podem ser retirados para queima ou aproveitamento.

Pesquisa realizada por OLIVA (1997) revelou que um reator anaeróbio de manta de lodo, tratando esgotos sanitários, operando com 8 horas de tempo de detenção hidráulico, obteve remoção de DBO variando de 74 a 85% e, de DQO, de 71 a 83%. Segundo VAN HAANDELL & LETTINGA (1994), reator semelhante removeu 75% de DBO.

O lodo dos reatores UASB, na maioria dos casos, pode ser retirado parcialmente estabilizado, podendo ser simplesmente desidratado em leitos de secagem (ALÉM SOBRINHO & MIRANDA, 1996).

No Brasil, esse tipo de reator vem sendo estudado intensivamente em diversos centros de pesquisas, entre os quais a Escola

de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP), desde 1980.

Segundo ANDRADE NETO (1997), atualmente o Brasil é um país onde tem sido bastante empregado este tipo de reator, podendo-se citar vários estados onde é utilizado tal reator em escala real: Paraíba (160m^3), São Paulo (120m^3), Pará, Minas Gerais e Paraná. O autor ainda comenta que há dois reatores de 3.000m^3 em Bucaramanga (Colômbia) e três reatores com volume total de 1.200m^3 em Kampur (Índia). No cidade de Piracicaba, SP (ETE Piracicamirim) entraram em operação, desde fevereiro de 1998, um sistema de três reatores UASB (volume total de 7.000m^3), seguido por processo de lodos ativados, atendendo população de 92.000 habitantes.

Conforme apresentado, os subprodutos gerados em reatores anaeróbios de manta de lodo são o lodo e o biogás, que serão abordados de maneira mais vasta nos itens que seguem.

3.2- Biogás

Biogás é a denominação dada à mistura de gases produzida por meio de processo fermentativo da biomassa (PIERRE & DORIA, 1995).

O biogás é um dos subprodutos gerados no tratamento anaeróbio, composto basicamente pelo metano (CH_4), que é o constituinte energético, e pelo dióxido de carbono (CO_2), mas também há pequenas quantidades de nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S) e vapor de água (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; METCALF & EDDY, 1991; AZEVEDO NETTO, 1961).

A relação metano/biogás é função da composição do esgoto a ser tratado, sendo praticamente constante para reatores operando de maneira estável (CHERNICHARO, 1997).

Segundo VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), a produção de biogás é relativamente pequena quando o afluyente é esgoto sanitário, pois parte do biogás permanece dissolvida na parte líquida.

Os gases gerados devem ser passíveis de tratamento ou queima. Após melhores avaliações, dependendo das circunstâncias específicas caso a caso, pode-se promover aproveitamento do metano (CH₄) produzido para geração de energia elétrica a ser consumida na própria ETE, visando redução de custos de operação (CAMPOS, 1996). Porém, no Brasil, a maior parte do biogás gerado ainda é lançada na atmosfera sem queima ou tratamento.

Nem sempre o biogás é aproveitado, como pode ser percebido no comentário de ANDRADE NETO (1997): “a qualidade e a quantidade de gás possível de ser coletada geralmente não justificam os investimentos necessários à sua coleta, purificação e utilização (engarrafamento ou canalização)”.

Segundo JORDÃO & PESSOA (1995), fazendo-se o estudo da viabilidade econômica e operacional, o aproveitamento do gás geralmente é conveniente apenas no caso de estações de grande porte.

Nos países de clima frio, o biogás pode ser aproveitado como combustível para caldeiras ou para aquecimento do próprio reator (JORDÃO & PESSOA, 1995), mas há casos, como o estudado por CARRASCO (1992), em que a produção de metano foi equivalente a apenas 10% da produção necessária para aquecer os esgotos sanitários de um reator UASB, na Bolívia, onde a temperatura média ambiente era de 10,5°C.

Porém, estudo realizado por PIERRE & DORIA (1995) indica que o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica, em uma indústria de refrigerante, pode ser economicamente viável, dependendo do tipo de tarifa elétrica contratada pela indústria.

Sob o ponto de vista térmico, esse gás classifica-se pouco acima dos gases combustíveis de poder calorífico médio e, com a remoção do CO₂, o mesmo se aproximaria dos gases de alto poder calorífico (AZEVEDO NETTO, 1961).

Após pesquisar vários trabalhos - DROSTE (1997), OLIVA (1997), JORDÃO & PESSOA (1995), VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), METCALF & EDDY (1991), BATISTA (1981) AZEVEDO NETTO (1961) – foi montada a Tabela 3.1, que apresenta diversos parâmetros a respeito de reatores UASB, que serão necessários nos cálculos do capítulo 4 deste trabalho. Dentre os parâmetros, estão produção e características do biogás, relação metano/biogás, eficiência do reator e produção de lodo (coeficiente de produção celular).

3.3- Lodo de esgoto

3.3.1- Generalidades

Lodo de esgoto é uma denominação genérica para o resíduo gerado pelos sistemas de tratamento de águas residuárias. Assim, sua composição depende do tipo de tratamento empregado para purificar o esgoto e das características das fontes geradoras (população e indústrias) (SANEPAR, 1997). Outro fator que influencia na característica do lodo é o grau de tratamento aplicado aos esgotos sanitários.

O fluxograma da Figura 3.2 apresenta, esquematicamente, a origem, os tipos de tratamento e as formas de disposição do lodo. Este fluxograma foi elaborado com base em diversas referências bibliográficas, entre elas: SANTOS & TSUTIYA (1997); JORDÃO & PESSÔA (1995), METCALF & EDDY (1991), ARCEIVALA (1986), HAVELAAR (1984).

Segundo GARVEY *et al* (1993), os lodos de esgoto, que podem ser utilizados de forma benéfica, estão sendo denominados de “biossólidos”.

Tabela 3.1- Reator UASB: eficiência, produção de lodo e biogás.

Fonte	Produção de biogás	Relação CH ₄ /biogás	Poder calorífico		Eficiência do UASB em termos de remoção de DQO	Y (coeficiente de produção celular)
			Biogás	Metano		
Droste (1997)	100 a 350 ℓ/kgDQO _{removida}	60 a 70%	5.260 a 6.215 kcal/m ³	8.845 kcal/m ³	60 a 90%	-
Oliva (1997)	115 ℓ/kgDQO _{removida}	73%	-	-	71 a 83%	-
Jordão & Pessoa (1995)	30 ℓ/hab.dia	65 a 70%	5.380 a 5980 kcal/m ³	8.560 kcal/m ³	-	-
Van Haandel & Lettinga (1994)	341 ℓ/kgDQO _{removida}	70 a 80%	-	-	75%	0,1 a 0,2 gSST/gDQO _{digerida}
Metcalf & Eddy (1991)	15 a 22 ℓ/hab.dia	65 a 70%	5.355 kcal/m ³	8.560 kcal/m ³	75 a 85%	0,04 a 0,10 gSSV/gDBO ₅
Batista (1981)	-	60 a 80%	5.000 a 7.000 kcal/m ³	12.000kcal/m ³	60 a 80%	-
Azevedo Netto (1961)	-	65 a 70%	5.000 a 6.500 kcal/m ³	8.570 kcal/m ³	-	-

(-): valor não fornecido

1cal = 4,1833J

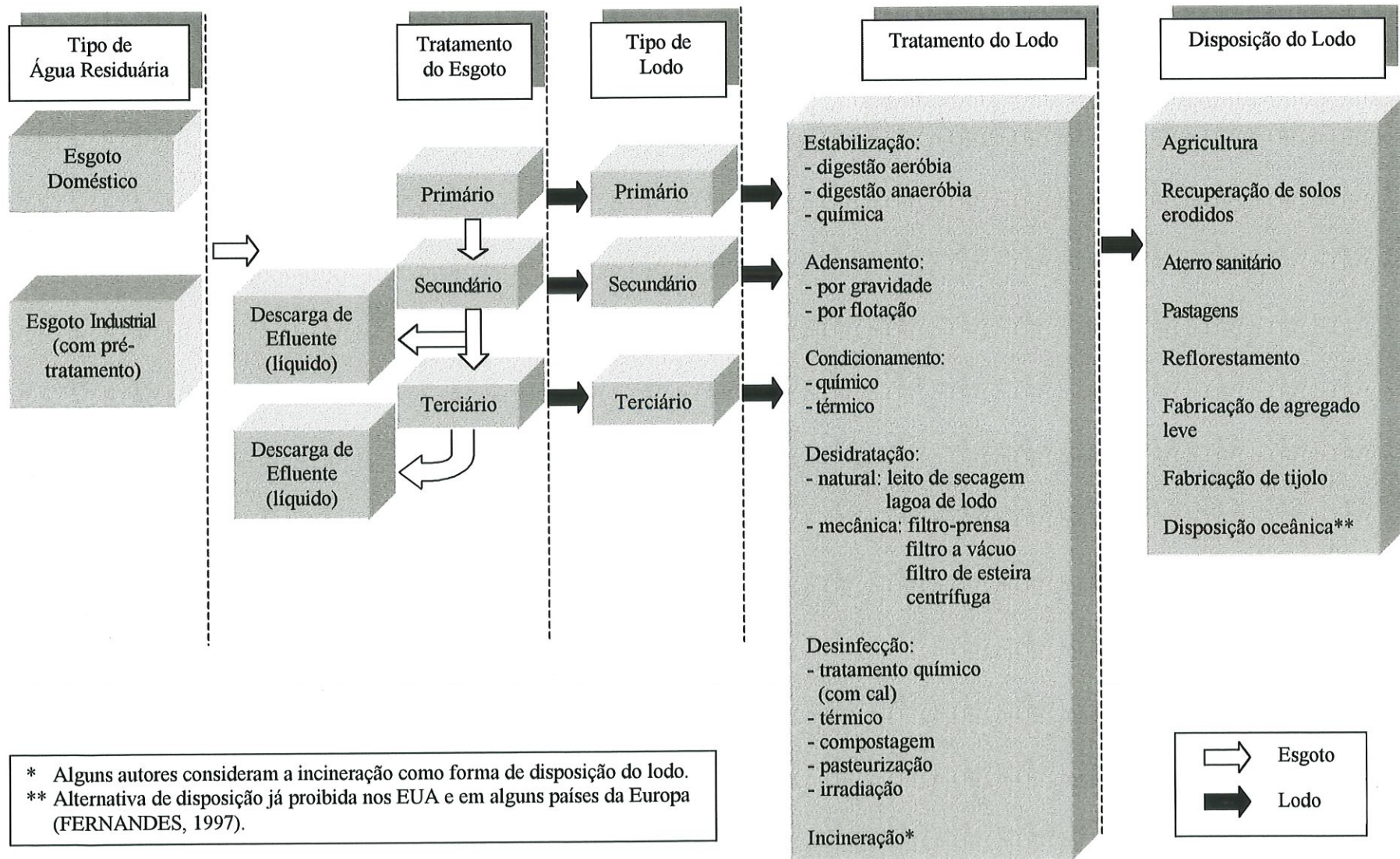


Figura 3.2- Origem, tratamento e disposição do lodo de esgoto.

Os constituintes removidos em estações de tratamento de esgotos incluem material grosseiro, areia, espuma e lodo. Dentre estes, o lodo é o que tem maior volume, bem superior aos demais constituintes, e seu tratamento e disposição é, talvez, o problema mais complexo no campo de tratamento de esgoto. Os problemas da quantidade de lodo são complexos porque (1) é composto por substâncias responsáveis pelo caráter desagradável do esgoto não tratado; (2) a porção de lodo produzida por tratamento biológico, que requer disposição, é composta de matéria orgânica do esgoto, mas em outra forma, que pode se decompor e se tornar desagradável; e (3) apenas pequena parte do lodo é matéria sólida (METCALF & EDDY, 1991).

Conforme supracitado, o lodo possui pequena quantidade de sólidos, sendo composto basicamente por líquido. Normalmente o lodo bruto possui teor de umidade que varia na faixa de 90 a 99% (ARCEIVALA, 1986), que eleva consideravelmente o volume de lodo produzido nas ETEs.

FERNANDES (1997) considera uma produção média de lodo, para os tratamentos aerados, de 17,5kg/ano, em base seca, por habitante, ou produção de 48g/dia de lodo seco por habitante. O autor ainda comenta que, em cidade de 100.000 habitantes, a produção de lodo seria de 4,8t/dia de lodo seco ou 24t/dia de lodo pastoso, considerando lodo com 80% de umidade, que é o valor médio de umidade de lodo que passa por desidratação mecânica.

Ainda a respeito da produção de lodo, SANTOS & TSUTIYA (1997) estimaram que, em 2005, 615t/dia de lodo seco serão produzidos na principais ETEs do Estado de São Paulo, cujas estações utilizam, em sua maioria, processo aerado por lodos ativados. Caso fossem utilizados sistemas anaeróbios, os quais geram quantidade bem menor de lodo, no tratamento desses esgotos, certamente o problema da disposição do lodo produzido no Estado de São Paulo teria proporções bem mais reduzidas.

Cada vez mais os órgãos ambientais estão exigindo o tratamento dos esgotos, de forma a não poluir os corpos receptores. À medida que maior quantidade de esgotos vão sendo tratados, maior, evidentemente, é a geração de lodo. Esta geração de lodo é muito grande, principalmente dos grandes centros urbanos, preocupando sobremaneira as companhias de saneamento com respeito à disposição final desse resíduo.

Atualmente um número razoável de recomendações e padrões, que lidam com a problemática do lodo, está contido nas diretrizes da União Européia. O Comitê Europeu para Normatização, recentemente criado, tem a finalidade de normatizar os métodos empregados para a caracterização do lodo e elaborar guias preliminares para tratamento, utilização e disposição do lodo (LESCHBER & SPINOSA, 1998).

Entretanto, no Brasil, a disposição de lodos ainda não foi objeto de regulamentação específica. Os lodos são considerados pela NBR 10.004 (ABNT, 1987) como resíduos sólidos, contando apenas com normas de caráter genérico desses resíduos que, no entanto, têm servido de apoio para a atuação das entidades ambientais (DEUS *et al*, 1993b). Conseqüentemente, as metodologias de análises físicas, químicas e biológicas de lodos não são padronizadas no país, dificultando a comparação de dados, além de oferecerem baixa precisão e repetibilidade (DEUS *et al*, 1993a).

De modo geral, o lodo de esgoto tem grande interesse para aplicação agrícola pelo seu conteúdo em nutrientes minerais, principalmente nitrogênio, fósforo e micronutrientes, mas especialmente pelo seu teor de matéria orgânica, cujos efeitos no solo se fazem sentir a longo prazo, melhorando sua resistência à erosão e à seca, ativando a vida microbiológica do solo e possivelmente aumentando a resistência das plantas às pragas (SANEPAR, 1997).

De acordo com ANDREOLI *et al* (1997), reciclagem agrícola do lodo é a disposição desse resíduo orgânico, em solos agrícolas, em associação ao plantio de culturas, após tratamento adequado do produto e sua mistura a outros materiais, como cal, materiais carbonáceos ou fertilizantes minerais, por exemplo. Ainda segundo os autores, essa é a alternativa de disposição final de menores impactos ambientais negativos e tem sido praticada em muitos países desenvolvidos, como solução mais adequada à destinação do produto.

O uso do lodo sem tratamento, proveniente de ETEs, como fertilizante na agricultura ou horticultura apresenta riscos à saúde do homem, dos animais e das plantas (HAVELAAR, 1984), porém ANDREOLI* *et al apud* FERNANDES *et al* (1996) comentam que a reciclagem agrícola do lodo, é uma das mais interessantes formas de disposição final, devido ao pequeno risco ambiental e baixo custo de implantação e operação, desde que sejam observadas as limitações estabelecidas pelo conteúdo de metais pesados e organismos patogênicos.

Considerações acerca de organismos patogênicos e metais pesados encontrados no lodo serão apresentadas em itens que seguem.

3.3.2- Organismos patogênicos no lodo

Assim como o tratamento de águas residuárias é uma entre muitas maneiras possíveis de proteção à saúde, o tratamento do lodo pode evitar que seu aproveitamento e disposição possam transmitir enfermidades infecciosas (OMS, 1989).

* ANDREOLI, C. V.; BARRETO, C. L. G.; BONNET, B. R. P.; FERNANDES, F.; NERY, A. C. (1994), *Tratamento e Disposição do Lodo de Esgoto no Paraná, Sanare - Revista Técnica da Sanepar*, v. 1, n.1, p.10-15, Curitiba, PR

A disposição inadequada das excretas é uma das principais causas de enfermidades infecciosas intestinais e parasitárias. A disposição adequada das excretas tem como finalidade proteger as fontes superficiais ou subterrâneas de água, a qualidade do ar e do solo, e a saúde das pessoas (OPS/OMS, 1994).

Doenças do sistema intestinal humano podem ser causadas por vários tipos de microrganismos, como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Essas doenças podem ser transmitidas quando esses patógenos são excretados para o ambiente (SHUVAL, 1990).

Com o tratamento adequado das excretas, será no lodo de esgoto onde os organismos patogênicos se concentrarão. Assim a disposição do lodo deve ser feita criteriosamente, a fim de proteger o meio ambiente.

O lodo de esgoto não tratado, geralmente, contém organismos, tais como bactérias, protozoários, vírus e ovos de helmintos, que podem causar doenças através do contato direto com humanos ou podem ser disseminados por vetores (ratos, pássaros, moscas e outros animais) que tenham contato com o lodo (FOESS & SIEGER, 1993).

A densidade de patógenos presente no lodo de esgoto de uma localidade é bastante variável e depende das condições sócio-econômicas da população, da região geográfica e do tipo de tratamento a que o lodo foi submetido. Os riscos que representam os parasitas intestinais são devido à alta frequência de helmintos na população, longo tempo de sobrevivência dos ovos dos helmintos no meio externo e sua baixa dose infectante (um ovo ou cisto é suficiente para infectar o hospedeiro) (SOCCOL *et al*, 1997).

Uma vez presentes no lodo, estes microrganismos têm comportamentos diferentes. De modo geral, as bactérias intestinais, quando presentes no lodo ou no lodo incorporado ao solo, tendem a desaparecer,

pois estarão em um meio pouco adequado à sua sobrevivência. Já os parasitas (helmintos e protozoários) encistados e seus ovos são mais resistentes (SANEPAR, 1997).

Segundo FEACHEM *et al* (1980), a sobrevivência dos organismos patogênicos, no lodo de esgoto, é altamente dependente da temperatura, com grande aumento de persistência em temperaturas baixas.

A seguir serão apresentadas algumas tabelas que apresentam os diferentes tempos de sobrevivência de patógenos no lodo de esgoto (Tabela 3.2), o tempo de sobrevivência de organismos patogênicos em corpo receptor contaminado por esgotos sanitários, além da quantidade excretada por massa de fezes e dose capaz de infectar o hospedeiro (Tabela 3.3) e os principais organismos patogênicos presentes nos esgotos sanitários, que conseqüentemente irão se concentrar no lodo, durante o tratamento dos esgotos (Tabela 3.4).

Tabela 3.2- Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos no lodo de esgoto.

<i>Organismo patogênico</i>	<i>Tempo de sobrevivência</i>
Vírus entéricos	maior que 5 meses – usualmente menor que 3 meses
Bactéria indicadora	maior que 5 meses – usualmente menor que 4 meses
Salmonellae e Shiguellae	maior que 5 meses – usualmente menor que 1 mês
Cistos de protozoários	maior que 1 mês – usualmente menor que 10 dias
Ovos de helmintos	varia de acordo com as espécies – ovos de ascaris podem sobreviver por vários meses

Fonte: FEACHEM *et al* (1980)

Tabela 3.3- Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos em corpo receptor contaminado por esgotos sanitários.

<i>Organismo patogênico</i>	<i>Quantidade excretada por indivíduos infectados/g de fezes</i>	<i>Sobrevivência máxima na água (dia)</i>	<i>Dose infectante (unidade)*</i>
Helmintos			
<i>Ascaris</i>	1000	365	2 - 5
<i>Taenia</i>	1000	270	1
Protozoários			
<i>Entamoeba</i>	10 ⁷	25	10 - 100
<i>Giardia</i>	10 ⁵	25	1 - 10
<i>Cryptosporidium</i>	100	-	1 - 30
<i>Balantidium coli</i>	-	20	25 - 100
Bactéria			
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁸	90	10 ² - 10 ⁹
<i>Salmonella</i>	10 ⁶	60 - 90	10 ⁶ - 10 ⁷
<i>Shigella</i>	10 ⁶	30	100
<i>Campylobacter</i>	10 ⁷	7	10 ⁶
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁶	30	10 ⁸
<i>Yersina enterocolitica</i>	10 ⁵	90	10 ⁹
<i>Aeromonas</i>	-	90	10 ⁸
<i>Leptospira</i>	-	-	3
Vírus			
<i>Enterovírus</i>	10 ⁷	90	1 - 72
<i>Hepatite A</i>	10 ⁶	5 - 27	1 - 10
<i>Rotavírus</i>	10 ⁶	5 - 27	1 - 10
<i>Norwalk</i>	-	5 - 27	-

(*): dose infectante provocando sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados
 Fonte: GELDREICH (1978); KOWAL (1982); PROS (1987) *apud* DANIEL (1998)

Tabela 3.4- Principais organismos patogênicos potencialmente presentes em esgotos sanitários não tratados.

Patogênico	Doença
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancilostomíade
<i>Necator americanus</i>	Necatoríase
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuríase
<i>Taenia</i> (spp.)	Teníase
<i>Enterobius vermiculares</i>	
Protozoários	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase (disenteria amebiana)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiíase
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiíase (disenteria)
Bactérias	
<i>Shigella</i> (4 ssp.)	Shigelose (disenteria)
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide
<i>Salmonella</i> (~1700 spp.)	Salmonelose
<i>Vibrio colerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite
<i>Yersina enterocolítica</i>	Iersinose
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirose
Vírus	
Enterovirus (71 tipos)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite
Hepatite A	Hepatite infecciosa
Adenovirus (31 tipos)	Doenças respiratórias
Rotavirus	Gastroenterite
Parvovirus (2 tipos)	Gastroenterite

Fonte: GASI & ROSSIN (1983) *apud* DANIEL (1998)

3.3.3- Metais pesados no lodo

MALAVOLTA (1994) *apud* MELO (1997) considera metais pesados aqueles elementos químicos que possuem peso específico maior que 5g/cm³ e número atômico maior que 20. Porém MELO (1997) comenta que, apesar de haver definição para metal pesado, nem todos os elementos considerados como tal satisfazem às condições citadas. Este autor considera que são realmente metais pesados: cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), manganês (Mn), zinco (Zn), cobalto (Co), níquel (Ni), vanádio (V), alumínio (Al), cromo (Cr), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e cádmio (Cd).

A concentração de metais pesados no lodo é um dos controles fundamentais para seu uso seguro na agricultura. Alguns são micronutrientes necessários às plantas, mas outros podem se acumular no solo em níveis tóxicos às plantas e ao homem. O risco associado aos metais pesados do lodo está principalmente ligado ao fato do solo ser capaz de estocar estes metais. Quando presentes em excesso no lodo, estes metais provêm de esgotos industriais (SANEPAR, 1997).

A Tabela 3.5 apresenta alguns valores da concentração máxima permitida de metais pesados no lodo para reciclagem agrícola.

Tabela 3.5- Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para reciclagem agrícola.

<i>Metal pesado</i> (mg/kg de lodo seco)	<i>Estados Unidos</i> ⁽¹⁾	<i>Espanha</i> ⁽²⁾
Zinco (Zn)	7.500	2.500 – 4.000
Chumbo (Pb)	840	750 – 1.200
Cádmio (Cd)	85	20 – 40
Níquel (Ni)	100	300 – 400
Cobre (Cu)	4.300	1.000 – 1.750
Cromo (Cr)	3.000	1.000 – 1.500
Arsênio (As)	75	-
Molibdênio (Mo)	75	-

-: valor não divulgado

Fonte: (1) U.S.EPA – Environmental Protection Agency (1993), *CFR 40 – PART 503 – Standard for the Use or Disposal of Sewage Sludge*, Federal Register, v. 58, Estados Unidos (NUVOLARI *et al*, 1997)

(2) Diretrizes da Espanha (SANEPAR, 1997)

3.3.4- Desidratação do lodo

Devido a sua origem e formação (sólidos em suspensão e/ou coloidais), o lodo, em geral, retém grandes quantidades de água, podendo apresentar umidade da ordem de 90 a 99% (ARCEIVALA, 1986). Já o lodo anaeróbio tem valores típicos de umidade da ordem de 90 a 95% (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

A redução da umidade implica em reduções significativas do volume final do lodo e, conseqüentemente, nos custos de transporte e de sua disposição final.

Na fase de desidratação, é retirada parte da água presente no lodo para alcançar redução de volume maior do que alcançada no espessamento. O lodo desidratado é mais fácil de ser manejado, seus custos de transporte são menores que os de um lodo não desidratado e, em alguns casos, a desidratação é feita a fim de reduzir seus odores e sua putrescibilidade (METCALF & EDDY, 1991).

JORDÃO & PESSÔA (1995) comentam que o grau de umidade desejado deverá ser selecionado em função dos seguintes fatores condicionantes:

- características dos lodos produzidos nas suas diferentes fases de tratamento;
- processo de redução de umidade do lodo;
- local de destino final do lodo.

Os autores ainda citam que a desidratação do lodo de esgoto é realizada mediante drenagem e evaporação da água do lodo, com a utilização de processos de secagem mecânicos (filtros prensa, filtros à vácuo, filtros de esteira e centrífugas) ou natural ao ar livre (lagoas de lodo e leitos de secagem).

O sistema de filtro-prensa para remoção de água de lodos funciona de forma intermitente. O lodo é introduzido em câmaras, onde "telas" (mantas) filtrantes estão alojadas. Este sistema envolve basicamente duas operações: aplicação de pressão sobre o lodo e filtração da água. O

lodo filtrado sai com elevado teor de sólidos, sendo usualmente chamado de “torta” (CORDEIRO, 1993). Segundo JORDÃO & PESSÔA (1995), este é um método de grande eficiência na desidratação mecânica de lodo. Os autores comentam que é comum obter-se torta com teor de sólidos de 35%, com faixa típica entre 25 e 50%.

De acordo com METCALF & EDDY (1991), os filtros a vácuo foram bastante utilizados na desidratação de lodo de esgoto, mas sua fase de utilização entrou em declínio por apresentar algumas das seguintes razões: sistema complexo; necessidade de condicionantes químicos; e elevados custos de operação e manutenção. Os condicionantes (cal, cloreto férrico, polímeros) são adicionados ao lodo, antes da filtração, a fim de aumentar o teor de sólidos para faixa de 6 a 8%. Após passar pela filtração, a “torta” de lodo sai com teor de sólidos de 25 a 35%.

Os filtros de esteira, também chamados de prensa desaguadora, possuem menor eficiência de remoção de umidade, obtendo torta com cerca de 15 a 25% de sólidos. Apresentam como principal vantagem a operação contínua, durante período pré-determinado, e uso de polieletrólitos, que são de simples manuseio e aplicação, além de não aumentarem a massa de lodo, como ocorre com a incorporação de cal e de floculante (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Ainda segundo esses autores, a desidratação por meio de centrífugas tem-se desenvolvido muito nos últimos anos graças à evolução dos equipamentos e materiais, facilidade de operação e obtenção de torta com cerca de 25 a 35% de sólidos. Apresentam vantagem de operação contínua, uso de polieletrólitos e pequena área de ocupação.

As lagoas de lodo têm sido utilizadas como solução para o armazenamento dos sólidos remanescentes das ETEs (JORDÃO & PESSÔA, 1995). A desidratação ocorre em três fases: drenagem, evaporação e transpiração, ressaltando que a evaporação é um dos principais fatores para a redução da umidade do lodo (CORDEIRO, 1993). Segundo este autor, os principais fatores avaliados nos critérios de projeto

são: clima, permeabilidade do solo, características do lodo, profundidade da lagoa e área superficial.

Segundo CORDEIRO & CAMPOS (1995), nos Estados Unidos, numericamente, o leito de secagem é o sistema mais utilizado para remoção de água de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Cerca de dois terços das ETEs aplicam esse método de desidratação.

A Tabela 3.6 apresenta as principais vantagens e desvantagens de leitos de secagem.

Tabela 3.6- Vantagens e desvantagens do uso de leitos de secagem.

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Baixo custo de capital com terreno facilmente disponível	Falta de critério racional de projeto para análise econômica correta
Não requer operador muito atencioso ou qualificado	Exigência de grandes áreas de terreno
Baixo consumo de energia	Exigência de lodo estabilizado ou digerido
Baixa sensibilidade a variabilidade dos lodos	Impacto dos efeitos climáticos sobre o produto
Baixo consumo de produtos químicos	Alta visibilidade para a população
Alto teor de sólidos na torta seca	Mão de obra intensiva para remoção de lodo

Fonte: WPCF *apud* GRANDIN (1992)

De acordo com JORDÃO & PESSÔA (1995), a taxa de evaporação no leito de secagem depende de vários fatores tais como: clima, natureza do lodo e carga do lodo aplicada no leito. Um exemplo disso é o aumento da evaporação, quando a temperatura é alta, a umidade do ar é baixa e há vento suficiente para assegurar uma renovação adequada do ar acima do leito. Os autores citam que o período de secagem varia de 12 a 20

* WPCF - Water Pollution Control Federation (1983), *Sludge Dewatering, Manual of Practice*, n.20, Washington, D.C.

dias para que o lodo atinja umidade de 60 a 70%, ou seja, teor de sólidos de 40 a 30%.

Segundo METCALF & EDDY (1991), os leitos de secagem são geralmente usados em pequenas e médias comunidades; em cidades com mais de 20.000 habitantes, outro tipo de desidratação de lodo deve ser considerado.

Os leitos de secagem são tanques, geralmente, retangulares, confinados por paredes e fundo de alvenaria ou concreto, compostos por (do fundo do leito à superfície): sistema de drenagem (tubos perfurados que se apoiam sobre o fundo), meio filtrante e camada suporte (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; JORDÃO & PESSÔA, 1995).

A Figura 3.3 apresenta desenho esquemático dos constituintes de um leito de secagem convencional.

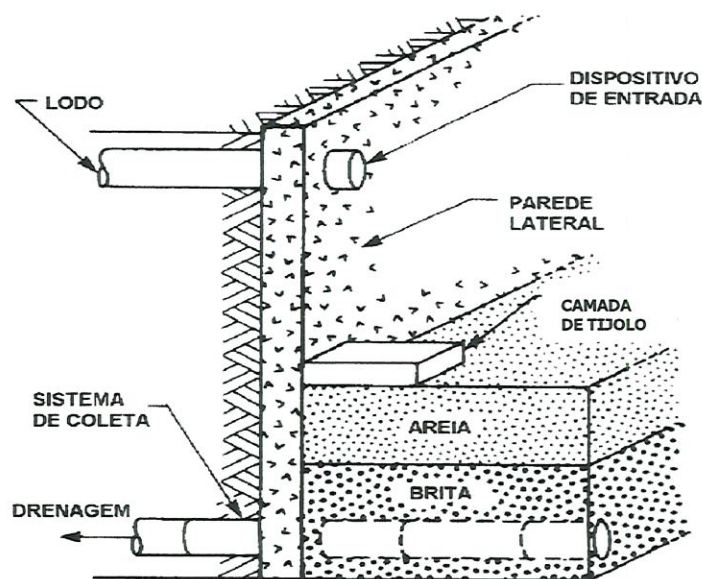


Figura 3.3- Desenho esquemático das partes componentes de um leito de secagem (U.S.EPA, 1979 - adaptado).

O meio filtrante é constituído por pedras de granulometrias diferentes e arrumadas de modo que a camada inferior tenha granulometria

maior que a da superior, sendo essas camadas constituídas por areia e brita, geralmente (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Em leitos de secagem convencionais, o lodo é colocado sobre a camada de tijolo. A altura da camada de lodo varia de 20 a 30cm (METCALF & EDDY, 1991).

A camada suporte tem as seguintes funções: manter uniforme a espessura do lodo; evitar que o lodo lançado se misture com a areia do meio filtrante; facilitar a remoção manual do lodo seco; e evitar a formação de buracos devido à operação de remoção do lodo. Essa camada normalmente é constituída por tijolos recozidos, assentados com afastamento de 2 a 3cm, preenchido com areia grossa.

Os leitos de secagem podem ser descobertos ou cobertos para proteção contra chuvas e (em climas frios) geadas. Ao se cobrir o leito, abre-se a possibilidade de uso da energia solar para aquecer o lodo durante a secagem, eliminando-se, dessa maneira, bactérias patogênicas. Essa "pasteurização solar" torna-se particularmente importante se o lodo seco é utilizado na agricultura (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Segundo CANZIANI *et al* (1996), para regiões de clima úmido, os leitos de secagem descobertos são inviáveis tecnicamente. E JORDÃO & PESSÔA (1995) consideram injustificável, em países tropicais, o uso de cobertura em leitos de secagem.

ALÉM SOBRINHO & MIRANDA (1996) comentam que este método de desidratação pode ser a solução mais adequada para o lodo proveniente de reator UASB, que atende à comunidades de pequeno porte. Neste estudo, os autores chegaram ao resultado de 20% de teor de sólidos, após 16 dias de secagem, e de 30% para 30 dias de secagem, para lodo adensado com 3,6% de sólidos, com taxa de aplicação de 12,5kg sólidos/m².

VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) utilizaram tubos de PVC de 1m de altura e diâmetro de 200mm, como leitos de secagem, em escala piloto, para desidratação de lodo proveniente de reator DAFA, operado em Campina Grande - PB. Os autores comentam que a faixa de taxa de aplicação de interesse prático é de 15 a 50kgSST/m². Para taxa de

aplicação de 15 kgSST/m², foram obtidos tempos de secagem de 18 e 20 dias, para umidade final do lodo de 30 e 20%, respectivamente.

A água do lodo de esgoto também pode ser removida por secagem térmica. Segundo WEF (1995), a secagem térmica envolve a aplicação do calor para evaporar a água do lodo. Secagem térmica reduz o teor de umidade a valores abaixo dos obtidos pelos métodos de desidratação mecânica. Comparando com esses métodos, a secagem térmica apresenta ainda as seguintes vantagens: redução nos custos de transporte, promove a redução de patógenos e melhora a capacidade de estocagem. Além disso, o lodo de esgoto seco termicamente pode ser facilmente comercializado como fertilizante ou condicionante de solo.

3.3.5- Desinfecção do lodo

Segundo HAVELAAR (1984), o objetivo da desinfecção é eliminar os organismos patogênicos que possam causar riscos à saúde, não havendo necessidade de completa esterilização do lodo. Os requerimentos legais referentes à utilização do lodo na agricultura são largamente distintos de país para país e variam devido a fatores regionais como clima, tipos de práticas usadas na agricultura, disponibilidade de terra, taxa de infecção entre a população humana e fatores sociais, políticos e econômicos.

O lodo de esgoto não tratado geralmente contém organismos, tais como bactérias, protozoários, vírus e ovos de helmintos, que podem causar doenças através do contato direto com humanos ou podem ser disseminados por vetores (ratos, pássaros, moscas e outros animais) que tenham contato com o lodo (FOESS & SIEGER, 1993).

Como todo resíduo de origem animal, o lodo de esgoto contém microrganismos que refletem de maneira direta o estado de saúde da população contribuinte no sistema de esgotamento. Portanto o uso seguro do lodo na agricultura supõe a utilização de uma tecnologia que elimine ou diminua sensivelmente a presença destes microrganismos, aliada

ao controle de qualidade do lodo higienizado e à adequação do tipo de uso agrícola às características microbiológicas do lodo (SANEPAR, 1997).

A U.S.EPA* *apud* WEF (1995) classifica os biossólidos (lodos de esgoto) em “Classe A” e “Classe B”, com relação à presença de patógenos. Essas classificações indicam a densidade (número por unidade de massa) de patógenos no biossólido.

Se os patógenos (bactéria *Salmonella sp.*, vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos) estão abaixo dos níveis detectáveis, os biossólidos são designados como pertencentes à Classe A.

Os biossólidos são designados como de Classe B quando patógenos são detectados, mas devem ser reduzidos de maneira a não oferecer risco nem à saúde pública, nem ao meio ambiente, desde que ações sejam tomadas para prevenir a exposição dos biossólidos após seu uso ou disposição. Mesmo assim devem ser observadas certas restrições no local da aplicação, para reduzir os patógenos, antes do público ter acesso ao local.

A Tabela 3.7 apresenta os processos que podem ser utilizados para que os biossólidos atinjam os requisitos para serem classificados como de Classe B, segundo a U.S.EPA*.

Estudo sobre comparação de diversos tratamentos na redução dos níveis de densidade de patógenos em biossólidos, realizado por PONUGOTI *et al* (1997), revelou que a eficiência da digestão anaeróbia foi sempre superior à da digestão aeróbia, e que a compostagem de biossólidos parece ter resultados melhores que a digestão anaeróbia e a aeróbia.

Há ainda pasteurização e irradiação, que são também métodos de desinfecção de lodo de esgoto.

Na desinfecção por pasteurização, o lodo é aquecido a altas temperaturas em tempo relativamente curto. Este processo não reduz a putrescibilidade do lodo, tendo que combinar-se com algum tipo de estabilização, usualmente a digestão anaeróbia mesofílica (HAVELAAR,

* U.S.EPA - United States Environmental Protection Agency (1994), *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*, EPA-832/R-93-003, Office Wastewater Manage, Washington, D.C., Estados Unidos

1984). Segundo METCALF & EDDY (1991), para lodos úmidos, pasteurização a 70°C, por 30 minutos, inativa ovos e cistos de parasitas.

Tabela 3.7- Processos que reduzem significativamente patógenos em biossólidos.

1. Digestão aeróbia

Biossólidos são agitados com ar ou oxigênio para manter as condições aeróbias por um tempo específico de residência celular à temperatura específica. Valores para o tempo médio de residência celular e temperatura devem estar compreendidos entre 40 dias, à temperatura de 20°C, e 60 dias, à temperatura de 15°C.

2. Secagem com ar

Biossólidos são secos em leitos de areia ou em tanques pavimentados ou não. A secagem dos biossólidos é feita durante, no mínimo 3 meses. A temperatura deve ser superior a 0°C, durante 2 dos 3 meses, pelo menos.

3. Digestão anaeróbia

Biossólidos são tratados na ausência de oxigênio por um tempo específico de residência celular à temperatura específica. Valores para o tempo médio de residência celular e temperatura devem estar compreendidos entre 15 dias, a temperatura de 35 a 55°C, e 60 dias à temperatura de 20°C.

4. Compostagem

Usando algum dos métodos de compostagem (tanque, pilha estática aerada ou compostagem em leira), a temperatura dos biossólidos é aumentada a 40°C ou superior, sendo mantida por 5 dias. Por 4 horas, durante o período de 5 dias, a temperatura na pilha do composto excede 55°C.

5. Estabilização com cal

Dosagem suficiente de cal é adicionada aos biossólidos para aumentar o pH dos mesmos para 12, após 2 horas de contato.

Fonte: Adaptado da U.S.EPA *apud* WEF (1995)

SCHRADER *et al* (1996) comentam que a irradiação ionizante destrói ou ocasiona forte diminuição da população de microrganismos presentes no lodo. A irradiação afeta os microrganismos tanto de forma direta como indireta. A ação direta é produzida pelo choque do fóton ou partícula, com a estrutura do microrganismo, inibindo sua reprodução; o efeito indireto atua sobre o meio em que está o microrganismo, induzindo uma difusão de radicais livres que provocam a destruição do microrganismo.

Segundo HAVELAAR (1984), no processo de irradiação, *Salmonellas* e outras enterobactérias são reduzidas de 5 a 6 unidades logarítmicas e os estreptococos sofrem redução de apenas 2 unidades. O autor também comenta que a radiorresistência de ovos de *Ascaris summ* é dependente do estágio de desenvolvimento dos ovos.

MOSCALEWSKI (1996) menciona que, para disposição do lodo no solo, dentre as tecnologias de desinfecção do lodo já comprovadas em nível mundial, são consideradas a calagem e a compostagem, como as duas alternativas prioritárias em virtude de sua eficiência e custo.

A compostagem é um processo de tratamento biológico em que uma mistura inicial de resíduos sofre a ação de vários grupos de microrganismos. Durante o processo de biodegradação da matéria orgânica a temperatura se eleva naturalmente, atingindo de 60 a 65°C nos primeiros dias do processo. Esta elevação da temperatura é responsável pela eliminação ou redução dos microrganismos patogênicos presentes no lodo. No processo de compostagem, o lodo é misturado a um resíduo estruturalmente rico em carbono e pobre em nitrogênio, o que equilibra a relação C/N da mistura, que deve se situar entre 20 e 30, para que o processo de compostagem se desenvolva em boas condições. Para se obter bons níveis de eliminação de patógenos, é necessário que a mistura apresente temperaturas na faixa de 60°C, durante 10 a 20 dias (SANEPAR, 1997).

HAUG (1993) comenta que, na compostagem do lodo, a inativação térmica de microrganismos é função tanto da temperatura, quanto

do tempo de exposição. Uma elevada temperatura por um curto período de tempo ou uma baixa temperatura por uma longa duração podem ser igualmente efetivos, desde que a temperatura de exposição seja acima do mínimo letal. Ainda segundo esse autor, a temperatura mínima, para a obtenção de requisitos mínimos da U.S.EPA para uso no solo, é de 50°C.

Calagem é um tratamento químico em que é adicionada cal ao lodo líquido, resultando em aumento de pH, que oscila entre 9 e 13, dependendo da dosagem da cal e das características do lodo. Esse aumento no pH do lodo inativa ou destrói a maior parte dos patógenos presentes no lodo. O tratamento com a cal também atua na estabilização química do lodo, reduzindo muito o problema de odor (SANEPAR, 1997 e HAVELAAR, 1984).

HAVELAAR (1984) comenta que coliformes ou salmonelas são rapidamente destruídos com valores de pH na faixa acima de 9 a 10 e os ovos de parasitas são levemente destruídos por pH igual a 12 em 48 horas.

No estudo da desinfecção de lodo digerido, MARTINS *et al* (1986) compararam os resultados do tratamento químico (cloreto férrico e cal) com os resultados do tratamento térmico (50 a 105°C), concluindo que o químico era mais eficiente na destruição de bactérias e ovos de helmintos.

FERNANDES *et al* (1995) realizaram estudo no Paraná a fim de verificar a eficiência da desinfecção do lodo com cal, para reciclagem agrícola, em que foram utilizadas dosagens de cal com 30, 40 e 50% do peso seco do lodo, o que manteve o pH da mistura igual ou superior a 12. As amostras eram provenientes de uma ETE que efetua tratamento através de processo de aeração prolongada por fluxo orbital (sistema carrossel). O lodo adensado era condicionado pela adição de polieletrólitos e passava por uma prensa desaguadora contínua, onde era desidratado até cerca de 82 a 85% de teor de umidade.

Nesse estudo, os autores recomendam a dosagem de 50% de cal para que o lodo possa ser utilizado na agricultura. Para essa dosagem de cal, foram obtidas-se as seguintes remoções, após 20 dias da calagem do lodo: 99,9% de coliformes totais; 100% de coliformes fecais; 100% de

Salmonella sp., 100% de estreptococos fecais; 77% de ovos de helmintos e 100% de larvas de helmintos e cistos de protozoários.

A seguir será apresentada abordagem sobre a cal, visto que foi utilizada no presente trabalho, na desinfecção do lodo.

▪ A Cal

A cal virgem ou óxido de cálcio (CaO) é produzida pelo aquecimento do carbonato de cálcio (calcário). Em contato com a água, combina-se com esta, formando o hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂], comumente denominado de cal hidratada. O hidróxido de cálcio possui massa molecular de 74,10g e peso específico variando de 420 a 1.100kg/m³ (CETESB, 1987).

A cal pode ser utilizada em inseticidas, adubos, alimentação animal, absorção de gás e como precipitante, desidratante e caustificante (SHREVE & BRINK JR, 1977). Além destes usos, segundo IDE *et al* (1993), a cal também pode ser utilizada na correção de pH do solo e, por ser um produto alcalino forte, é utilizado em várias atividades relacionadas à preservação das condições sanitárias e da higiene nas grandes e pequenas comunidades. Com a alcalinidade que transmite ao meio em que é adicionada, a maioria dos microrganismos não encontram meio adequado para seu crescimento e sobrevivência e, desta maneira, o meio fica desinfetado e livre de maus odores.

Segundo CANZIANI (1996), a cal é um desinfetante normalmente de baixo custo, tendo preço de R\$65 por tonelada (cerca de US\$59), no período em que foi realizado o estudo (1996).

De acordo com WEF (1995), a cal é o alcalinizante mais largamente utilizado e avaliado como um dos mais baratos na “indústria do esgoto”, sendo utilizada na redução de odores, aumento de pH em digestores “estressados”, remoção de fósforo em tratamento avançado de esgoto e condicionamento de sólidos antes e após desidratação mecânica.

3.3.6- Disposição do lodo

3.3.6.1- Generalidades

A grande quantidade de lodo produzida nas ETEs pode provocar problemas tanto ao meio ambiente, quanto à saúde pública se esse resíduo não for disposto de forma adequada.

Para se dispor o lodo, é necessário que sejam realizados estudos legais, técnicos, ambientais e econômicos, com o objetivo de minimizar problemas relativos a impactos ambientais e proporcionar melhores condições de saúde, segurança e bem-estar à população, observando-se diversos aspectos limitantes (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Nos países desenvolvidos, dependendo da quantidade de lodos produzida, existem regulamentos, normas e exigências específicas por parte da comunidade local. Cada país leva em conta uma variedade de considerações para o tratamento, disposição e reuso desses biossólidos (GARVEY *et al*, 1993).

As diversas maneiras de disposição do lodo, segundo ARCEIVALA (1986) são:

- emprego do lodo seco ou úmido na agricultura;
- distribuição do lodo úmido em solo erodido até a obtenção gradual de solo agricultável;
- mistura com resíduos sólidos para compostagem;
- aterro sanitário;
- transporte e depósito para o oceano.

A disposição no mar está se tornando cada vez mais difícil, em muitos países, por causa das rigorosas regulamentações de controle da poluição costeira e, segundo STENTIFORD & PEREIRA NETO (1993), esta prática será extinta nas cidades européias com mais de 10.000 habitantes, a partir de dezembro de 1998. Segundo FERNANDES (1997), já está proibida nos Estados Unidos.

Alguns autores consideram a incineração como disposição de lodo; outros consideram-na como forma de tratamento do lodo.

A incineração do lodo, apesar de importantes vantagens como redução ao máximo do volume de lodo final e destruição de organismos patogênicos e de compostos tóxicos, apresenta o problema de destino final das cinzas, que exigem disposição adequada, sendo que normalmente são dispostas em aterros sanitários (LUDUVICE, 1996).

Segundo MATTHEWS (1992), usualmente o uso da incineração implica na forma de disposição de lodo mais cara. Entretanto LUE-HING *et al* (1996) comentam que há situações em que a utilização da incineração é técnica e ambientalmente viável.

Segundo JORDÃO & PESSÔA (1995), a fabricação de agregado leve para a construção civil, a partir do lodo digerido seco, é outra forma de destino final do lodo.

3.3.6.2- Formas de disposição do lodo mais utilizadas no mundo

A produção anual de sólidos secos na Europa é cerca de 6,6 milhões de toneladas para uma população de aproximadamente 317 milhões de habitantes. Dessa produção, 37% é utilizada na agricultura, horticultura e regeneração de solos; 44%, disposta em aterros; 9%, incinerada, 7%, disposta no mar e os 3% restantes, em outras formas de disposição. Esses dados foram levantados em pesquisa realizada em 1984 (MATTHEWS, 1992).

O Japão produz anualmente um milhão de toneladas de sólidos secos e está pesquisando novas tecnologias para o manuseio de lodos, incluindo liquefação termoquímica e sua incorporação a materiais de construção. Prevê-se que a produção de lodos no Japão alcançará, no ano 2015, três milhões de toneladas anuais, as quais deverão ser utilizadas na agricultura e na recuperação de áreas degradadas (GARVEY *et al*, 1993).

A U.S.EPA estima que 49% dos sólidos produzidos no país são utilizados atualmente para a aplicação no solo, 35% para aterro e disposição superficial e 15% para incineração (GARVEY *et al*, 1993).

MATTHEWS (1992) faz algumas previsões sobre as tendências futuras da disposição de lodo no Reino Unido, que provavelmente terá aumento de 30 a 50% em sua produção de lodo e comenta que, após a proibição da disposição no mar, as vias preferidas de disposição deverão ser o uso agrícola e a incineração.

A Tabela 3.8 apresenta as formas de disposição utilizadas na Europa.

Tabela 3.8- Disposição do lodo de esgoto na Europa em 1990.

País	Quantidade produzida (1.000 toneladas secas por ano)	Agricultura (%)	Aterro sanitário (%)	Incineração (%)	Mar (%)
Bélgica	35	57	43	0	0
Dinamarca	150	43	29	28	0
França	900	27	53	20	0
Alemanha	2.750	25	65	10	0
Grécia	200	10	90	0	0
Irlanda	23	23	34	43	0
Itália	800	34	55	11	0
Luxemburgo	15	80	20	0	0
Holanda	280	53	29	10	8
Portugal	200	80	12	0	8
Espanha	300	61	10	0	29
Reino Unido	1.500	51	16	5	28

Fonte: LUE-HING *et al* (1996)

3.3.6.3- Formas de disposição do lodo mais utilizadas no Brasil

No Brasil, pesquisas têm sido desenvolvidas no intuito de utilizar o lodo de esgoto na agricultura. Essas pesquisas estão sendo realizadas, em larga escala, principalmente no Estado do Paraná e Distrito Federal, e, em escala piloto, na ESALQ (Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz) e no IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). Esta alternativa tem sido bastante recomendada, visto que parece ser a mais vantajosa economicamente.

Outra alternativa utilizada no País é a disposição em aterro sanitário, como é o caso lodo produzido na ETE de Barueri – SP.

Nas pesquisas realizadas no Estado do Paraná, são observadas a qualidade e a quantidade de lodo ideal para cada cultura, analisando também a produtividade dessas culturas, a lixiviação de metais pesados do lodo no solo e a presença de organismos patogênicos. Dentre os processos de desinfecção em estudo, há o da compostagem e tratamento químico, utilizando apenas cal ou também com cloreto férrico.

Para lançamento do lodo no solo, foram recentemente definidas normas na União Européia e nos Estados Unidos, elaboradas com base em pesquisas realizadas durante décadas. No Brasil, para que se possa levar em consideração as peculiaridades relacionadas com os tipos de lodo, solo, clima e principalmente com a realidade econômica do país, são necessários estudos sobre as formas de aproveitamento e lançamento no solo (NUVOLARI, 1996) para que assim sejam definidos critérios para sua disposição e conseqüente definição da Norma Brasileira (CORAUCCI FILHO *et al*, 1997b).

Diversos benefícios são proporcionados pela aplicação do lodo no solo, tais como: fornecimento de macronutrientes para as plantas, em especial o nitrogênio e o fósforo; aumento do teor de alguns micronutrientes essenciais, como zinco, cobre e manganês; aumento da capacidade de retenção de água pelo solo; além de proporcionar uma

melhor estruturação do solo dada pela matéria orgânica (DAMASCENO, 1996).

Segundo CORAUCCI FILHO *et al* (1997b), a presença de matéria orgânica melhora a estrutura do solo, interferindo favoravelmente na sua capacidade de aeração, de drenagem, de retenção de água, de resistência à erosão e na sua capacidade de troca catiônica.

Deve-se analisar a qualidade do lodo, especialmente em relação à presença de metais pesados, organismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos, que limitam sua utilização na agricultura. E, caso se deseje industrializar o lodo, transformando-o em fertilizante organomineral ou composto, deve-se observar o custo e a qualidade dos condicionantes de solo e fertilizantes oferecidos no mercado e fazer com que os produtos gerados do lodo sejam compatíveis com esses (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Como exemplo da disposição no solo, a utilização de lodo tratado como adubo deve aumentar em 50% a produtividade média de lavouras de milho na região metropolitana de Curitiba (GONÇALVES, 1996).

Segundo BISCAIA & MIRANDA (1996), o lodo calado de esgoto não apresenta toxicidade ao desenvolvimento e produtividade do milho e o retorno financeiro por R\$ (real) gasto com o lodo pode ser até quatro vezes maior do que o retorno obtido com adubo químico.

CORAUCCI FILHO *et al* (1997b) comentam que o lançamento de lodo não pode ser feito indiscriminadamente. Existem alguns problemas relacionados com a presença excessiva de metais tóxicos, de nutrientes solúveis (principalmente nitratos que podem contaminar lençóis freáticos) e a presença de patogênicos no lodo de esgotos municipais, que devem ser levados em consideração, pois estão diretamente relacionados com taxas de aplicação de lodo no solo e com o tipo de cultura agrícola utilizada. Entre outros cuidados que devem ser ressaltados, estão os problemas de custo referentes ao volume de transporte de lodo no estado líquido, a possibilidade de contaminação do lençol freático nos locais de aplicação, o problema com os metais pesados e também com os microrganismos patogênicos.

NUVOLARI *et al* (1997) complementam que dependendo da especiação química, alguns elementos potencialmente ativos (basicamente metais pesados) em excesso são tóxicos às plantas e outros podem entrar para a cadeia alimentar, com sérios prejuízos à saúde de homens e animais. O lodo pode conter organismos patogênicos que limita o seu aproveitamento, sendo maior o risco para as culturas em que os alimentos são consumidos crus.

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- Introdução

Nesta pesquisa, foram utilizadas amostras de lodo de esgotos sanitários provenientes do tratamento biológico realizado por um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), que estava sendo operado no Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC - USP). Este reator foi projetado e utilizado anteriormente, em trabalho realizado por OLIVA (1997).

Para cumprir com os objetivos propostos, o presente trabalho foi dividido em três fases:

- Fase I: Estudo da possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo;
- Fase II: Caracterização, tratamento químico com cal (desinfecção) e tratamento térmico (desidratação) do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo;
- Fase III: Desidratação do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional (em escala de laboratório).

Foi verificada, teoricamente, a possibilidade de aproveitamento do biogás produzido em reator UASB para, com sua

queima, auxiliar na desidratação do lodo. Para isso, foi determinada, por meio de cálculos teóricos, a temperatura que o lodo pode atingir com a queima do biogás.

Após a determinação desta temperatura teórica, foi escolhida uma temperatura potencialmente viável, para simular a desidratação do lodo em leito de secagem não-convencional, empregando a queima do biogás como fonte de calor.

Para avaliar a eficiência do tratamento químico do lodo com cal, simultaneamente com o tratamento térmico na desinfecção do mesmo, foram utilizadas várias dosagens da cal e duas temperaturas (em estufa), simulando possível temperatura de campo que o lodo poderia atingir, em um leito de secagem não-convencional, aquecido com a queima do biogás.

Foram utilizadas as temperaturas de 40 e 50°C e as dosagens de cal foram variadas de 0 a 50%, em relação ao peso seco do lodo.

Na revisão da literatura deste trabalho, foi comentado que FERNANDES *et al* (1995) recomendam a dosagem de 50% de cal, para desinfecção segura do lodo, com o intuito de utilizá-lo na agricultura. No presente trabalho, além daquela dosagem, foram também utilizadas várias dosagens inferiores, para que pudesse ser avaliada a combinação da temperatura e da adição de cal na desinfecção do lodo. Isto permitiria que fossem utilizadas dosagens menores de cal, reduzindo o custo do tratamento químico.

4.2- O Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB)

O Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) utilizado na presente pesquisa está localizado na área Nordeste do Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo, conforme pode ser observado na Figura 4.1.

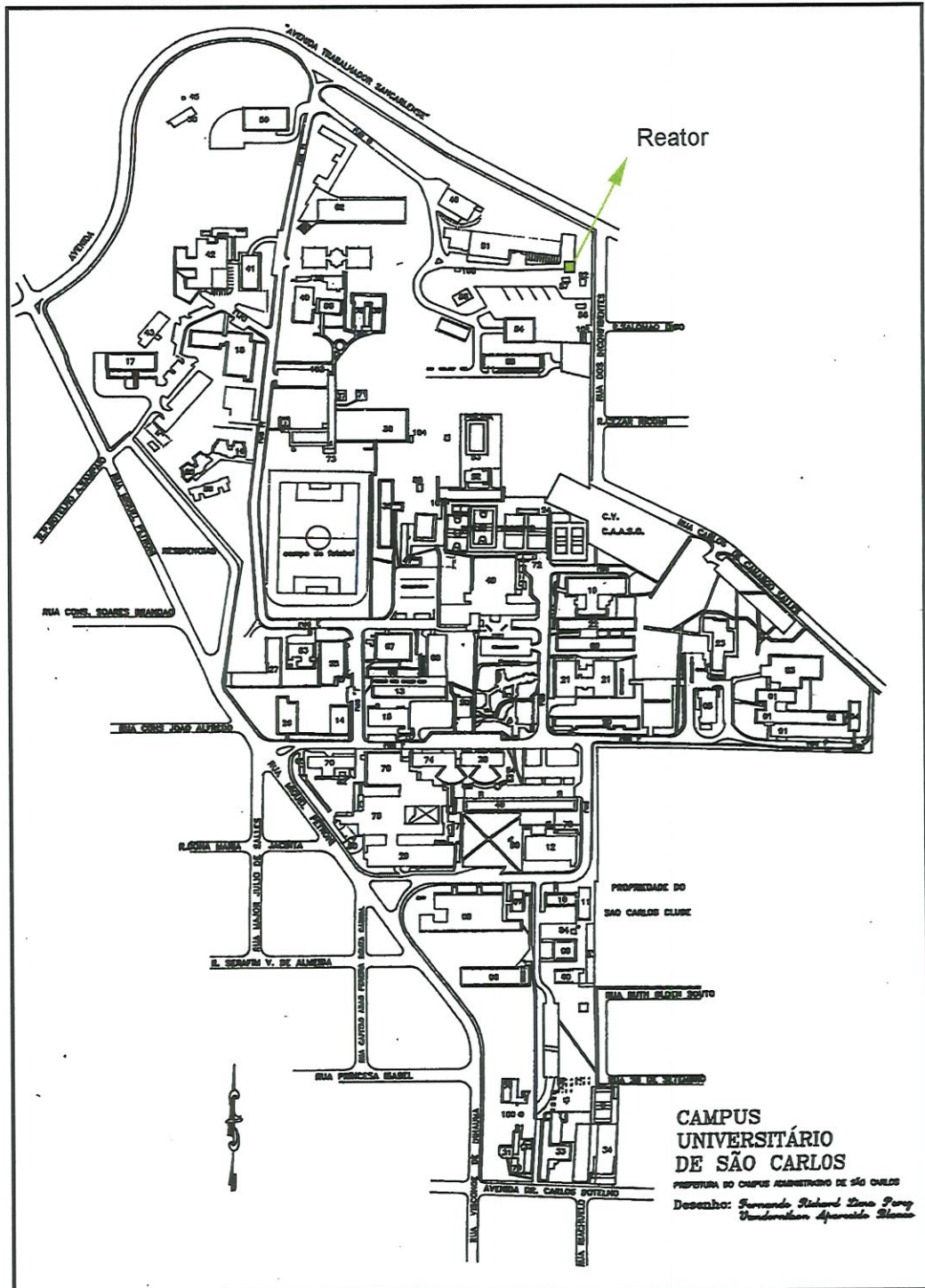


Figura 4.1- Localização do Reator Anaeróbico de Manta de Lodo no Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

O referido reator foi construído em fibra de vidro, possui seção quadrada, em planta, com lado de 2,0m e altura de 4,5m, apresentando volume útil de cerca de 18m^3 , sendo alimentado com esgotos

sanitários previamente gradeados provenientes da rede coletora pública da cidade que passa no Campus. Sua fotografia está apresentada na Figura 4.2.



Figura 4.2- Reator Anaeróbio de Manta de Lodo utilizado no trabalho.

Nas Figuras 4.3; 4.4; 4.5 e 4.6, são apresentados plantas (baixa e alta) e cortes do reator utilizado.

Durante a pesquisa, o reator foi operado com vazão média de $2,25\text{m}^3/\text{h}$ e tempo de detenção hidráulico médio de 8 horas.

“A bacia de esgotamento sanitário está localizada na região central da cidade, contando com contribuições de despejos de indústrias de pequeno e grande porte, além de despejos de atividades comerciais provenientes de supermercados, restaurantes e postos de serviços” (OLIVA, 1997).

Este reator foi projetado, construído e operado inicialmente por OLIVA (1997), durante o desenvolvimento de sua Tese de Doutorado. Os dados da caracterização do esgoto bruto realizados por essa autora são apresentados na Tabela 4.1.

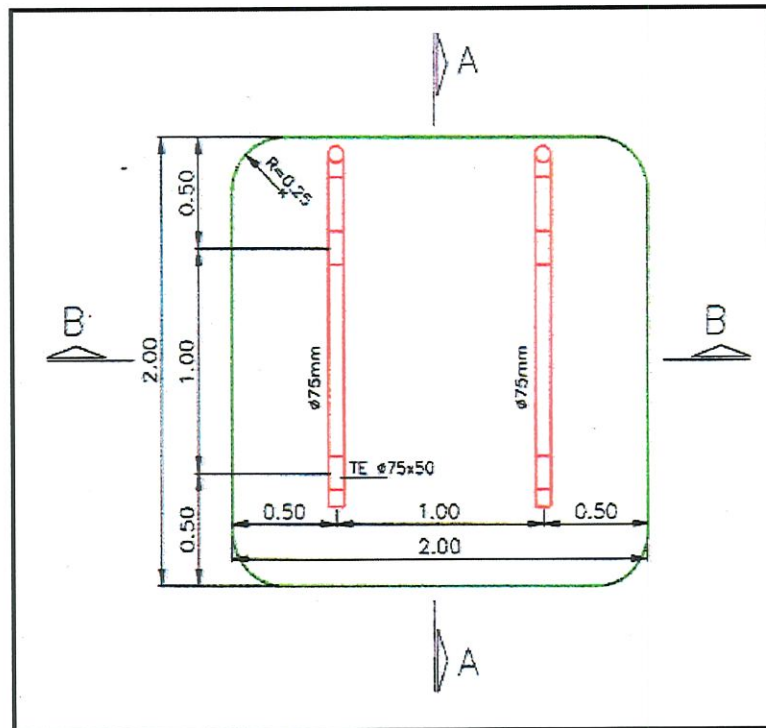


Figura 4.3- Planta baixa do reator UASB (cotas em metros) (OLIVA, 1997).

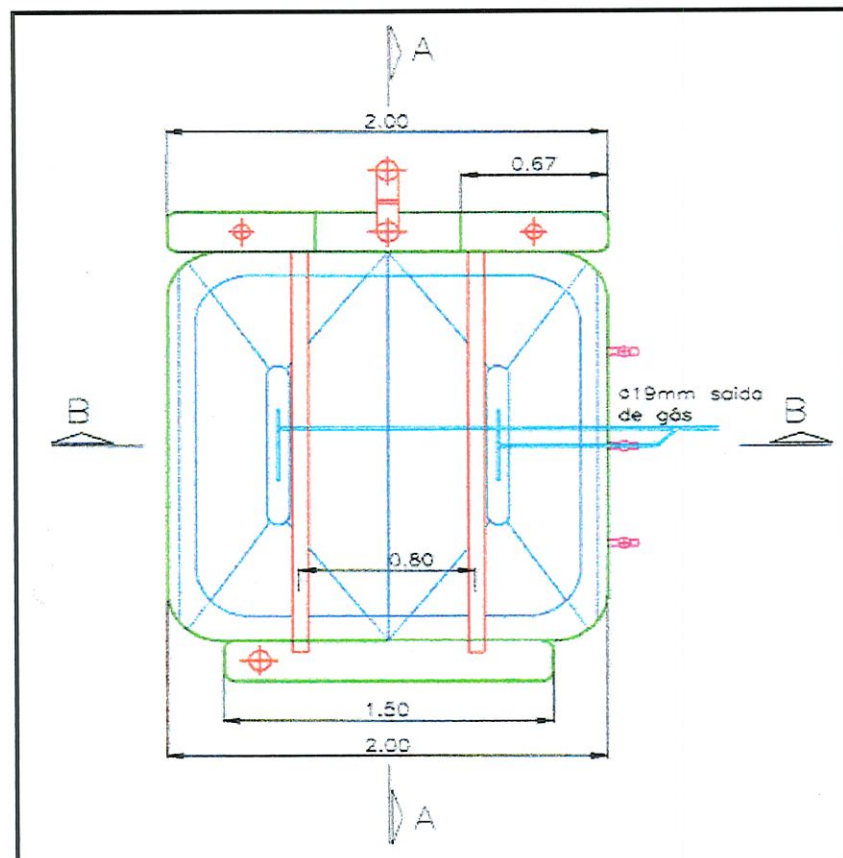


Figura 4.4- Planta alta do reator UASB (cotas em metros) (OLIVA, 1997).

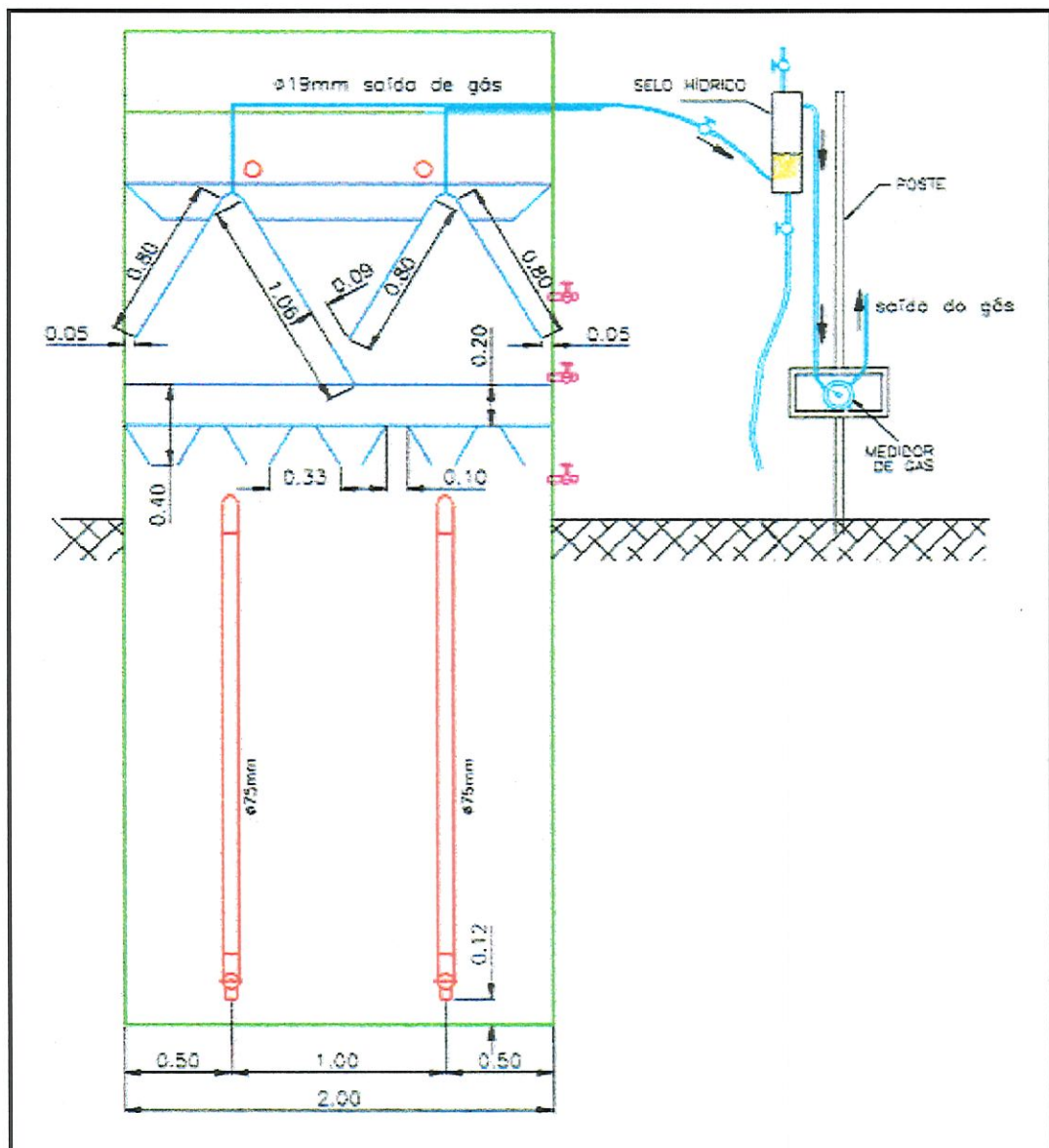


Figura 4.6- Corte BB do reator UASB (cotas em metros) (OLIVA, 1997).

As condições operacionais para a partida do reator foram: vazão constante de $1,1\text{m}^3/\text{h}$, tempo de detenção hidráulico de 16 horas, carregamento orgânico médio de $23\text{kgDQO}/\text{dia}$ e taxa de aplicação volumétrica média de $1,3\text{kgDQO}/\text{m}^3.\text{dia}$, não sendo adicionado nenhum tipo de inóculo.

OLIVA (1997) considerou que a partida do reator ocorreu nos primeiros cinco meses de operação, quando o mesmo passou a

apresentar, de forma constante, boa eficiência na remoção de carga orgânica, mesmo com diminuição do tempo de detenção hidráulico.

Tabela 4.1 – Caracterização do esgoto bruto que alimentava o reator anaeróbio de manta de lodo, durante realização do trabalho de OLIVA (1997).

<i>Parâmetros analisados</i>	<i>Valor médio*</i>
ST (mg/ℓ)	676
STF (mg/ℓ)	187
STV (mg/ℓ)	490
SST (mg/ℓ)	216
SSF (mg/ℓ)	35
SSV (mg/ℓ)	181
SDT (mg/ℓ)	460
SDF (mg/ℓ)	152
SDV (mg/ℓ)	309
SS _{ed} (mℓ/ℓ)	3,5
pH (mg/ℓ)	6,8
DQO (mg/ℓ)	639
DBO (mg/ℓ)	377
DQO/DBO	1,8
Nitrogênio total (mg/ℓ)	57
Nitrogênio orgânico (mg/ℓ)	31
Nitrogênio amoniacal (mg/ℓ)	26
Alcalinidade total (mg/ℓ)	121
Alcalinidade a bicarbonato (mg/ℓ)	62
Alcalinidade a ácidos voláteis (mg/ℓ)	57
Fosfato (mg/ℓ)	18
Sulfato (mg/ℓ)	11
Lipídios (mg/ℓ)	8
Carboidratos (mg/ℓ)	61
Proteínas (mg/ℓ)	385

(*): Referente às médias diárias de amostras pontuais
Fonte: OLIVA (1997)

Durante o período de operação, em condições de equilíbrio dinâmico, o tempo de detenção hidráulico foi de 8 horas, o carregamento orgânico médio e a taxa de aplicação volumétrica média foram de 48kgDQO/dia e 2,7kgDQO/m³.dia, respectivamente. Apesar da taxa de aplicação volumétrica ser elevada para esgotos sanitários, o reator apresentou bom desempenho (OLIVA, 1997).

A eficiência média de remoção de DQO foi, em geral, superior a 70%, variando de 71 a 83%; a eficiência média de remoção de DQO filtrada variou de 80 a 91%; e a eficiência de remoção de DBO variou de 74 a 85%, para tempo de detenção hidráulico de 8 horas (OLIVA, 1997).

Durante o trabalho de OLIVA (1997), a produção média de biogás foi de 4,2m³/dia ou 115ℓ/kgDQO_{removida}, sendo o biogás composto por 73% de metano, 11% de CO₂ e 16% de outros gases (não especificados pela autora).

4.3- Fase I: Estudo da possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo

▪ Aquecimento do lodo:

Esta fase do trabalho teve como objetivo verificar, em termos teóricos, se a quantidade de biogás produzida em um reator anaeróbio de manta de lodo é suficiente para, com sua queima, secar o lodo produzido no mesmo, considerando que o reator seja alimentado com esgotos sanitários.

No intuito de determinar a temperatura que o lodo pode atingir teoricamente, após a queima do biogás, foi utilizada a Equação 4.1. Neste estudo, a produção de lodo e a energia disponível foram relacionados com os valores correspondentes a uma pessoa.

$$E = m_{\text{lodo bruto}} \cdot C \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

em que:

E: energia disponível em função do biogás gerado (J/hab.dia);

$m_{\text{lodo bruto}}$: massa de lodo bruto produzida (g/hab.dia);

c: calor específico do lodo bruto (J/g.°C);

ΔT : variação da temperatura = $T_f - T_i$;

T_f : temperatura final do lodo, após aquecimento (°C);

T_i : temperatura inicial do lodo (°C).

Segundo VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), a concentração média de sólidos no lodo de reatores UASB varia de 15 a 35gSST/ℓ e a concentração máxima varia de 50 a 100gSST/ℓ. Esses valores representam lodo com teor de umidade médio de 96,5 a 98,5% e teor de umidade mínimo de 90 a 95%. Com base nestes valores, foi utilizada neste trabalho uma faixa de teor de umidade de 90 a 99%.

De posse da variação do teor de umidade do lodo bruto, vê-se que a maior parte deste resíduo é constituída por água. E, como será a água o componente mais significativo a ser aquecido pelo calor produzido pela queima do biogás, a Equação 4.1 foi adaptada para este trabalho.

$$E = m_{\text{lodo bruto}} C_{\text{água}} (T_f - T_i) \quad (4.2)$$

em que:

$C_{\text{água}}$: calor específico da água (J/g.°C).

Além de ser o componente de maior parcela no lodo, a água é um dos componentes de maior calor específico, como pode ser verificado em RAZNJEVIC' (1976). Desta forma, o uso do calor específico da água em substituição ao do lodo bruto conduz a um resultado a favor da segurança,

ou seja, menor temperatura final do lodo, após o aquecimento com a queima do biogás.

A massa de lodo bruto é a soma da massa de água presente no lodo e da massa de lodo seco. As massas de lodo bruto e da água podem ser determinadas, em função da massa de lodo seco, da seguinte maneira:

$$m_{\text{lodo bruto}} = \frac{m_{\text{lodo seco}}}{1 - u} \quad (4.3)$$

$$m_{\text{água}} = u \cdot m_{\text{lodo bruto}} \quad (4.4)$$

$$m_{\text{água}} = u \cdot \frac{m_{\text{lodo seco}}}{1 - u} \quad (4.5)$$

em que:

$m_{\text{lodo seco}}$: massa de lodo seco (g/hab.dia);

u : umidade do lodo bruto (adimensional).

▪ **Secagem do lodo:**

Em leitos de secagem, a redução da umidade do lodo é conseguida pela drenagem e evaporação da água. Como neste trabalho estão sendo consideradas as piores condições, por efeito de segurança, foi admitido que não há drenagem da água; apenas evaporação pelo calor fornecido pela queima do biogás. Foi considerado também que não há interferência de ventos, umidade do ar ou qualquer fator externo que favorecesse este processo de desidratação do lodo. Assim a secagem do lodo, neste trabalho, é dependente unicamente da evaporação da água.

Considerando que a pressão seja constante e igual a 1atm, ou seja, a pressão atmosférica ao nível do mar, quando a temperatura da água atinge 100°C, uma transferência adicional de calor implica em mudança de fase, isto é, uma parte do líquido torna-se vapor e, durante este

processo, a pressão e a temperatura permanecem constantes (VAN WYLEN & SONNTAG, 1976). Assim quando a pressão não é 1atm, a temperatura para a água vaporizar é diferente de 100°C. Neste estudo, foi assumido que a pressão é a padrão (1atm) e, portanto, a temperatura máxima que a água atingirá será 100°C.

Considerou-se também que, quando a energia disponível não fosse suficiente para evaporar a água presente no lodo, a mesma seria utilizada apenas para aquecimento do lodo bruto, sabendo-se que a temperatura final seria inferior a 100°C. Para esses casos, foi utilizada a Equação 4.2.

Assim, quando a energia disponível fosse suficiente para aquecer a água do lodo até 100°C e ainda houvesse energia disponível, esta energia adicional seria utilizada para vaporização da água.

▪ **Determinação de “E”, “ $m_{\text{lodo seco}}$ ” e “ T_i ”:**

A seguir são apresentados cálculos e considerações para se obter a quantidade de calor fornecidas pela queima do biogás e a produção *per capita* de lodo e de biogás, de tal forma que seja determinada a potencialidade de elevação da temperatura do lodo.

Para a determinação de “E”, “ $m_{\text{lodo seco}}$ ” e “ T_i ”, foi necessária a escolha de parâmetros adequados, sendo sempre utilizados aqueles relacionados às condições mais desfavoráveis, de forma que os resultados obtidos representassem valores mais seguros, para utilização em novos estudos.

As condições mais desfavoráveis são aquelas que implicam em maior produção de lodo e menor produção de biogás *per capita*, resultando na obtenção de uma temperatura mais baixa do lodo, decorrente da queima do biogás.



No presente trabalho, os parâmetros que resultam nas condições mais desfavoráveis são: menor eficiência do reator UASB, menor produção de biogás por DQO afluente e menor poder calorífico do biogás.

Energia disponível.

Na determinação da energia disponível, foram necessárias as determinações da produção de biogás, contribuição *per capita* de DQO, poder calorífico do biogás e outros sub-itens que serão apresentados a seguir.

a- Produção de biogás em reatores UASB em termos de DQO removida

Segundo DROSTE (1997), a produção de biogás em reator UASB varia de 100 a 350ℓ/kgDQO_{removida}, enquanto que METCALF & EDDY (1991) comentam que é de 341ℓ/kgDQO_{removida}. Porém OLIVA (1997) obteve o valor de 115ℓ/kgDQO_{removida}, sendo assumido, no presente trabalho, este valor da produção de biogás, que é a favor da segurança.

b- DQO afluente *per capita*

O procedimento para determinar a quantidade de DQO gerada por cada habitante diariamente é apresentado a seguir.

- Contribuição diária *per capita* de DBO aos esgotos: 54gDBO/hab.dia (adotado)
- Relação DBO/DQO:

Para o valor da relação DBO/DQO, adotou-se o valor de 0,6, por ser comumente sugerido na literatura teórica sobre esgotos sanitários.

- Contribuição diária *per capita* de DQO afluente aos esgotos:
 $54\text{gDBO/hab.dia} : 0,6 = 90\text{gDQO}_{\text{afluente}}/\text{hab.dia}$

c- DQO removida *per capita*

O cálculo da DQO removida *per capita* envolve as considerações acerca do valor de sua contribuição aos esgotos e da eficiência do reator.

- Eficiência do UASB:

Segundo os diversos autores apresentados na Tabela 3.1, a eficiência de reatores UASB, em termos de DQO removida, varia de 60 a 90%. Para este trabalho, considerou-se eficiência de 60%.

- Contribuição diária *per capita* de DQO aos esgotos: 90gDQO/hab.dia

- Quantidade diária de DQO removida *per capita* no reator:

$$DQO_{\text{afuente}} \times \text{eficiência} = 90\text{gDQO}_{\text{afuente}}/\text{hab.dia} \times 0,60 = 54\text{gDQO}_{\text{removida}}/\text{hab.dia}$$

d- Produção *per capita* de biogás ($P_{\text{biogás}}$)

- Produção de biogás: 115ℓ/kgDQO_{removida}

- DQO removida *per capita* no reator: 54gDQO_{removida}/hab.dia

- Assim,

$$1.000\text{gDQO}_{\text{removida}} \quad - \quad 115\ell\text{biogás}$$

$$54\text{gDQO}_{\text{removida}}/\text{hab.dia} \quad - \quad P_{\text{biogás}}$$

$$\Rightarrow P_{\text{biogás}} = 6,2\ell\text{biogás}/\text{hab.dia}$$

Este valor resultou bastante pequeno em relação ao usualmente adotado na bibliografia (Tabela 3.1), porém foi adotado para se ter mais segurança neste trabalho.

e- Poder calorífico do biogás

De acordo com os autores apresentados na Tabela 3.1, o poder calorífico do biogás varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³. Assim, foi adotado o poder calorífico do biogás ($PC_{\text{biogás}}$) de 5.000kcal/m³, que é o valor mais desfavorável para este estudo.

f- Determinação da energia diária disponível *per capita*

$$E = PC_{\text{biogás}} (\text{kcal}/\text{m}^3) \times P_{\text{biogás}} (\text{m}^3/\text{hab.dia})$$

$$E = 5.000(\text{kcal/m}^3\text{biogás}) \times 6,2(\ell\text{biogás/hab.dia}) \times 0,001(\text{m}^3/\ell)$$

$$\Rightarrow E = 31\text{kcal/hab.dia}$$

$$E = 31(\text{kcal/hab.dia}) \times 1.000(\text{cal/kcal}) \times 4,1833(\text{J/cal})$$

$$\Rightarrow E = 129.682\text{J/hab.dia}$$

Produção de lodo seco.

Na determinação da massa de lodo produzida diariamente *per capita*, são envolvidos o coeficiente de produção celular e a quantidade de DQO removida.

- O coeficiente de produção celular (produção de lodo), X, em reatores UASB em termos de DQO removida varia de 0,1 a 0,2gSST/gDQO_{removida} (Tabela 3.1). O coeficiente que representa uma maior produção de lodo é 0,2gSST/gDQO_{removida}.

$$m_{\text{lodo seco}} = X (\text{gSST/gDQO}_{\text{removida}}) \times \text{DQO}_{\text{removida per capita}} (\text{gDQO}_{\text{removida}}/\text{hab.dia})$$

$$m_{\text{lodo seco}} = 0,2(\text{gSST/gDQO}_{\text{removida}}) \times 54(\text{gDQO}_{\text{removida}}/\text{hab.dia})$$

$$m_{\text{lodo seco}} = 10,8\text{gSST/hab.dia}$$

Calor específico da água.

Segundo PERRY & CHILTON (1986), o calor específico da água é de $1\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C} = 4,1833\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$.

Temperatura média inicial do lodo.

A temperatura média inicial do lodo, $T_i = 20^{\circ}\text{C}$, foi medida durante a coleta do lodo bruto do reator UASB, instalado na Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos.

Temperatura final do lodo.

De posse dos valores da energia disponível (E), massa de lodo seco ($m_{\text{lodo seco}}$), calor específico da água ($c_{\text{água}}$) e temperatura inicial do lodo (T_i), foi possível determinar a temperatura final do lodo, após seu

aquecimento, devido à queima do biogás, utilizando as Equações 4.2 e 4.3; para cada teor de umidade do lodo bruto (90 a 99%).

4.4- Fase II: Caracterização, tratamento químico com cal (desinfecção) e tratamento térmico (desidratação) do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo

4.4.1- Descrição geral do experimento

As amostras de lodo bruto foram coletadas no reator anaeróbio de manta de lodo, sendo realizadas quatro coletas durante este estudo.

Uma parte de cada amostra de lodo foi destinada à sua caracterização e a outra parte, destinada ao tratamento químico e térmico.

O lodo bruto foi caracterizado em estado natural (lodo líquido) e em estado sólido (lodo seco).

No lodo bruto líquido, foram determinados os seguintes parâmetros: teor de umidade, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), sólidos sedimentáveis (SSed), pH, alcalinidade total, coliformes totais, *Escherichia coli*, protozoários e helmintos. E, no lodo bruto seco, foram determinados: DQO, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), metais pesados (zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e cromo (Cr)), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na^+) e sulfato (SO_4^{-2}).

Após a caracterização, as amostras de lodo bruto foram destinadas ao tratamento químico e térmico. O tratamento químico foi utilizado para estudo da desinfecção do lodo e o tratamento térmico, para estudo de sua desidratação. O tratamento térmico foi também utilizado para auxiliar na desinfecção do lodo.

Primeiramente as amostras foram submetidas ao tratamento químico com cal, utilizando diferentes dosagens (0; 10; 20; 30; 40 e 50%), em relação ao peso seco do lodo. As amostras sem cal, ou seja, amostras com dosagem de 0% de cal (amostras-controle), foram utilizadas para efeito de comparação.

O único parâmetro determinado nessas amostras foi o pH, que foi determinado cerca de uma hora após a calagem das mesmas.

Em seguida, as amostras caladas foram submetidas ao tratamento térmico, utilizando uma estufa com controle de temperatura. Em duas das coletas, foi utilizada a temperatura de 40°C e, nas duas outras, a temperatura de 50°C.

Após 5 dias na estufa, as amostras, já secas, foram analisadas quanto a DQO, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), metais pesados (zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e cromo (Cr)), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na⁺) e sulfato (SO₄⁻²).

O restante das amostras caladas secas passou pelo procedimento de reidratação, para serem determinados o pH, coliformes totais, *Escherichia coli*, protozoários e helmintos.

Em duas das coletas realizadas (1^a e 2^a coleta), a reidratação foi feita no dia em que as amostras foram retiradas da estufa, tendo as mesmas passado 5 dias em contato com a cal. Nas outras duas coletas (3^a e 4^a coleta), as amostras secas só foram reidratadas após terem permanecido 10 dias em temperatura ambiente (aproximadamente 25°C), tendo passado assim 15 dias em contato com a cal.

O resumo das etapas e análises realizadas no procedimento experimental da Fase II do presente trabalho está esquematizado no fluxograma da Figura 4.7.

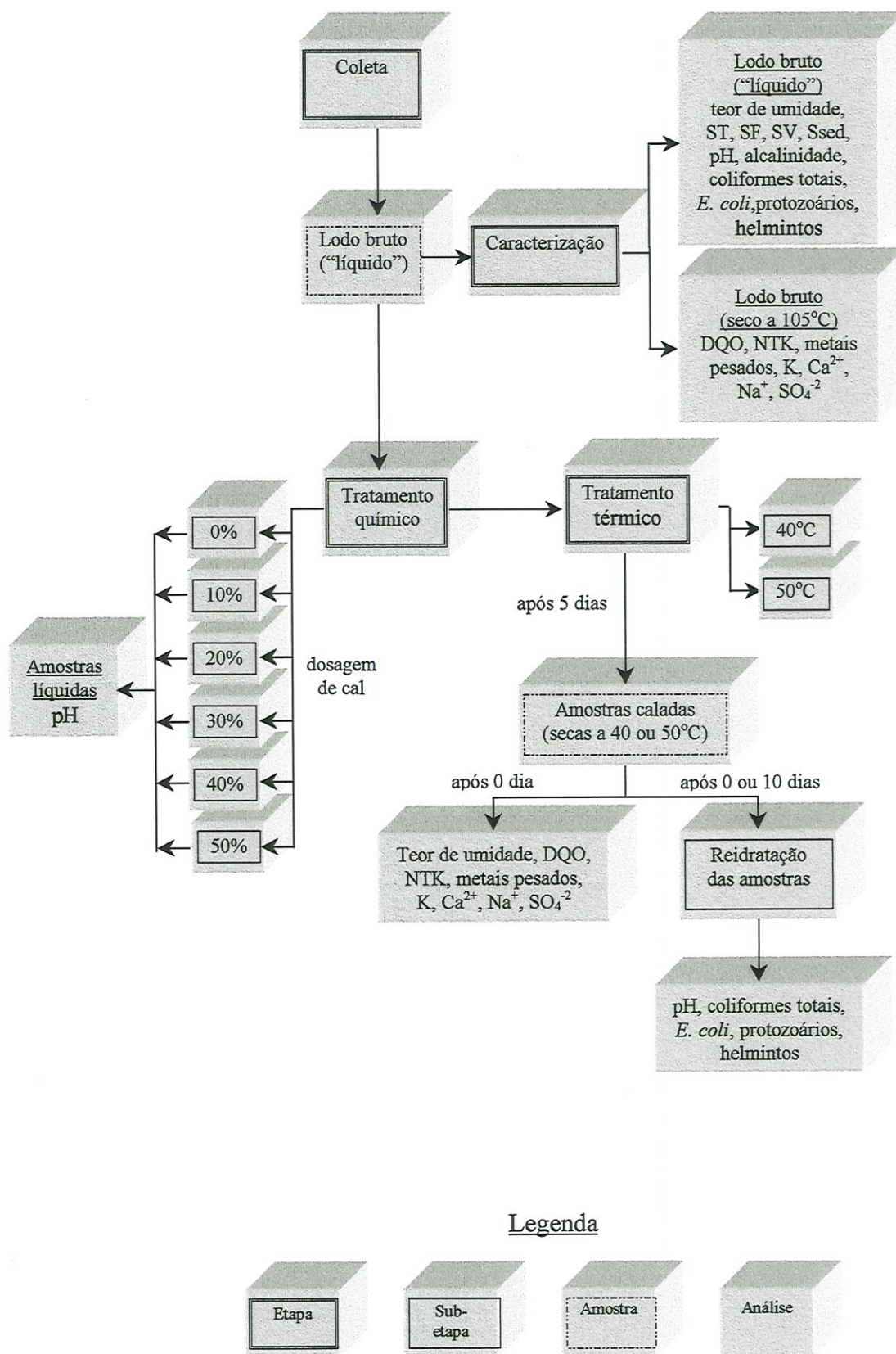


Figura 4.7- Fluxograma geral do trabalho e das análises realizadas.

4.4.2- Coleta das amostras

As amostras de lodo bruto foram coletadas no ponto situado a 0,90m do fundo do reator, conforme indicado na Figura 4.8.

Utilizou-se período de descarte de 30 segundos, com a finalidade de se coletar amostra com consistência mais homogênea, visto que a primeira quantidade de lodo que saía tinha consistência mais espessa.

Após o período de descarte, acoplava-se uma mangueira no recipiente de coleta, para coletar cerca de 3 litros de lodo (Figura 4.9).

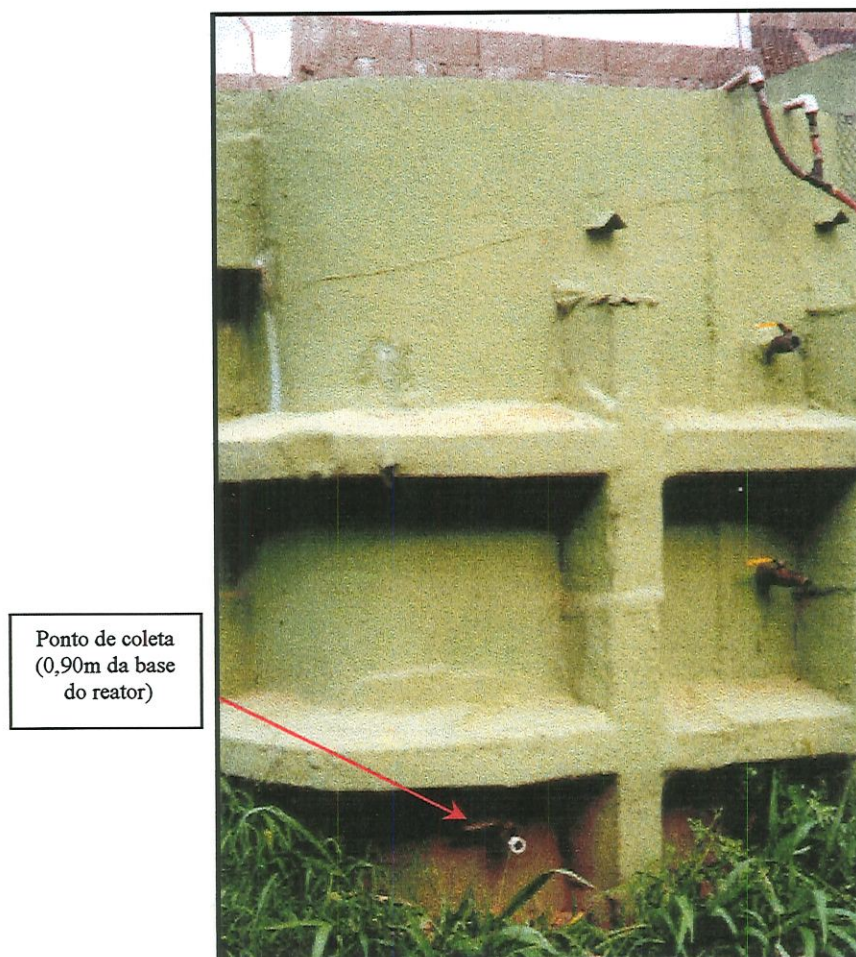


Figura 4.8-Ponto de coleta do lodo, no Reator Anaeróbico de Manta de Lodo.

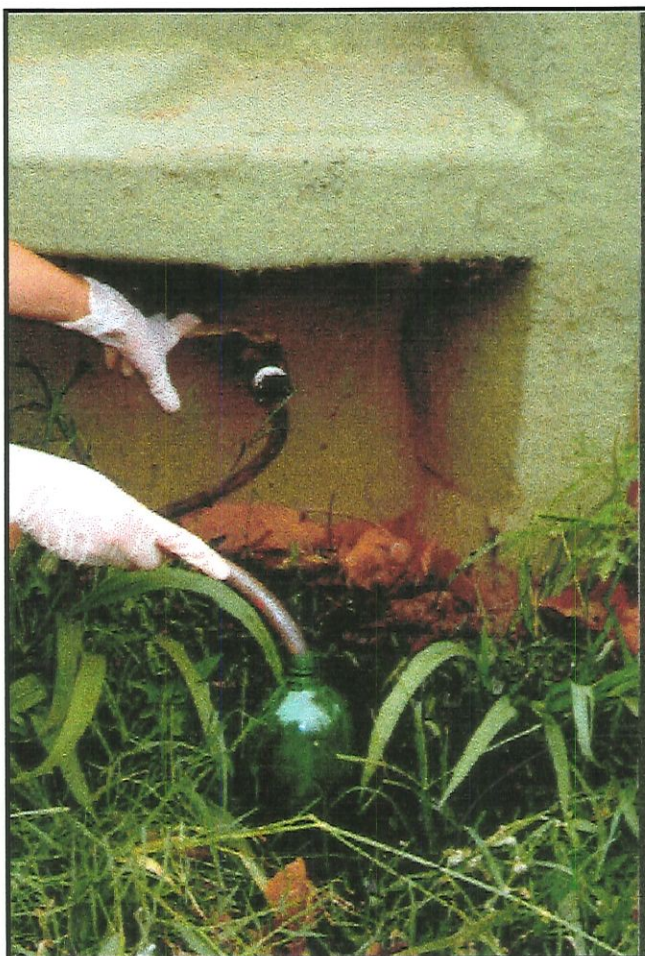


Figura 4.9- Coleta de amostra do lodo bruto.

4.4.3- Procedimento analítico

As análises e determinações foram realizadas no laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC-USP), sendo apenas os exames parasitológicas feitos no laboratório do Departamento de Morfologia e Patologia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

As amostras foram analisadas quanto a diversos parâmetros, utilizando, em sua maior parte, os métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), porém a determinação de alguns parâmetros só foi possível com a utilização

de outros métodos ou após digestão das amostras, seguindo os métodos que são descritos a seguir.

Segundo SULCEK & POVONDRA (1989), a digestão ou dissolução em ácidos é o método mais comum de decomposição de sólidos. Ácidos inorgânicos fortes como clorídrico, nítrico, perclórico e sulfúrico são os mais comumente empregados neste propósito. Os autores ainda comentam que o ácido nítrico é um bom solvente para muitos metais, como cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), Cádmio (Cd), Molibdênio (Mo), entre outros.

a- Teor de umidade, teor de sólidos, sólidos totais, fixos e voláteis (lodo bruto)

A determinação do teor de umidade do lodo bruto foi uma etapa de grande importância, pois dela dependeu a determinação da massa de cal a ser adicionada às amostras. Assim, para garantir uma maior segurança do resultado do teor de umidade, este era determinado em 5 alíquotas para cada amostra coletada.

Com estas 5 alíquotas, eram também determinados o teor de sólidos, sólidos totais, fixos e voláteis. Na determinação destes parâmetros, para cada alíquota, eram medidos 40mℓ de lodo que eram secos em estufa a 105°C, até peso constante (utilizou-se tempo de secagem de 24 horas, por segurança). Para o cálculo dos referidos parâmetros, foram utilizadas as expressões a seguir:

- Teor de umidade (u):

$$u(\%) = \left(1 - \frac{P_s}{P_u}\right) \times 100 \quad (4.6)$$

- Teor de sólidos (TS):

$$TS(\%) = 100 - u(\%) \quad (4.7)$$

- Sólidos totais (ST):

$$ST(\text{g/kg}) = \frac{P_s}{P_u} \times 1000 \quad (4.8)$$

- Sólidos fixos (SF):

$$SF(\text{g/kg}) = \frac{P_c - P_0}{P_u} \times 1000 \quad (4.9)$$

- Sólidos voláteis (SV):

$$SV(\text{g/kg}) = ST - SF \quad (4.10)$$

em que:

P_u : peso da amostra úmida (g) = $P_1' - P_0$;

P_s : peso da amostra seca (g) = $P_2' - P_0$;

P_0 : peso da cápsula (g);

P_1' : $P_0 + P_{\text{lodo}}$ (g);

P_{lodo} : peso do lodo referente a 40mℓ de lodo bruto* (g);

P_2' : P_1 após secagem a 105°C;

P_c : P_1 após calcinação a 600°C.

b- Preparação da calagem do lodo

No procedimento da calagem das amostras, eram separados 6 conjuntos de 6 cápsulas de porcelana, totalizando 36 cápsulas. Para cada conjunto, era aplicada uma dosagem diferente (0; 10; 20; 30; 40 e 50%) de cal hidratada (hidróxido de cálcio) - $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A cal utilizada possuía mínimo de 91% de teor de pureza.

Para cada conjunto de cápsulas, seguia-se o seguinte procedimento:

Utilizando balança de precisão de 0,1mg, pesava-se a cápsula vazia (P_0), adicionava-se a quantidade de cal referente àquele

* Considera-se que 40mℓ do lodo equivalem a 40g, visto que foi determinada a densidade do mesmo, resultando em 1,001g/cm³ (g/mℓ).

conjunto de cápsulas, com a cápsula ainda na balança, determinando-se o P_1 .

$$P_1 = P_0 + P_{cal} \quad (4.11)$$

em que:

P_0 : peso da cápsula (g);

P_1 : peso da cápsula contendo cal (g);

P_{cal} : peso da cal a ser utilizada (g).

O erro da quantidade de cal era de $\pm 1,0\text{mg}$, equivalendo a erro de até $\pm 1,1\%$.

O peso da cal a utilizar era função da quantidade de sólidos presente no lodo. Desta forma, foi utilizada a seguinte expressão:

$$P_{cal} = \left(\frac{100 - u\%}{100} \right) \times 40 \times D \quad (4.12)$$

em que:

$u\%$: teor de umidade do lodo bruto (%);

40: peso aproximado do volume de lodo utilizado: 40mℓ de lodo* (g);

D: dosagem de cal (adimensional).

Nas cápsulas já contendo cal, eram colocados 40mℓ de lodo bruto. Colocava-se uma parte deste lodo na cápsula contendo cal e homogeneizava-se manualmente, sendo o restante do lodo colocado em seguida e a mistura lodo/cal homogeneizada novamente.

Fazia-se nova pesagem (P_2), ou seja, o peso da cápsula + peso da cal + peso do lodo (40mℓ).

* Conforme comentado no item 4.4.3 (a).

$$P_2 = P_1 + P_{\text{lodo}} \quad (4.13)$$

No conjunto das cápsulas sem cal, $P_1 = P_0$.

Após 1 hora de contato da cal com o lodo, media-se o pH.

Quando o lodo bruto estava com elevado teor de sólidos (em torno de 8%, ou seja, teor de umidade de 92%), não foi possível medir o pH com agitação magnética, tendo as amostras sido agitadas manualmente, pois o lodo se apresentava muito espesso.

As cápsulas eram levadas para a estufa, com a temperatura já estabilizada e retiradas após 5 dias.

Fazia-se então a última pesagem das cápsulas (P_3), ou seja:

$$P_3 = P_2 \text{ após secagem a } 40 \text{ ou } 50^\circ\text{C} \quad (4.14)$$

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam algumas etapas descritas neste item.

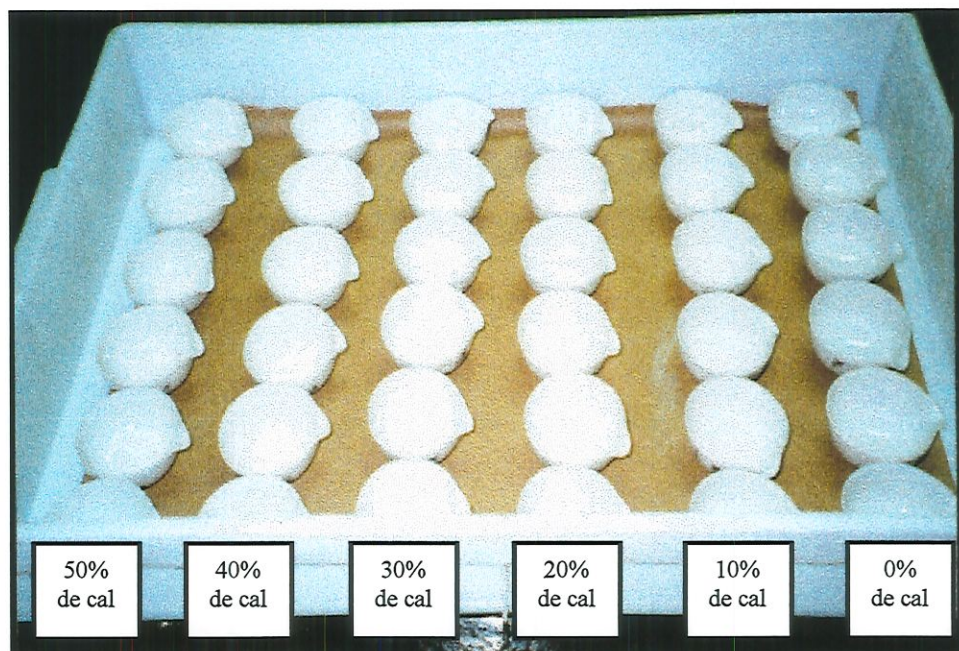


Figura 4.10- Conjuntos de cápsulas utilizados com suas respectivas dosagens de cal.

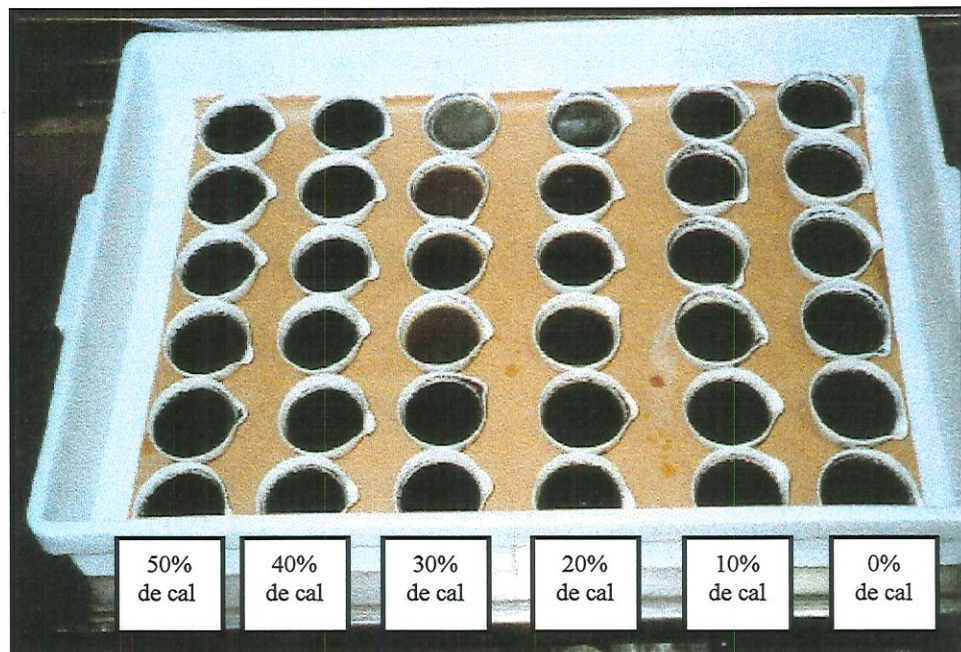


Figura 4.11- Conjuntos de cápsulas utilizados com suas respectivas dosagens de cal em 40mℓ de lodo.

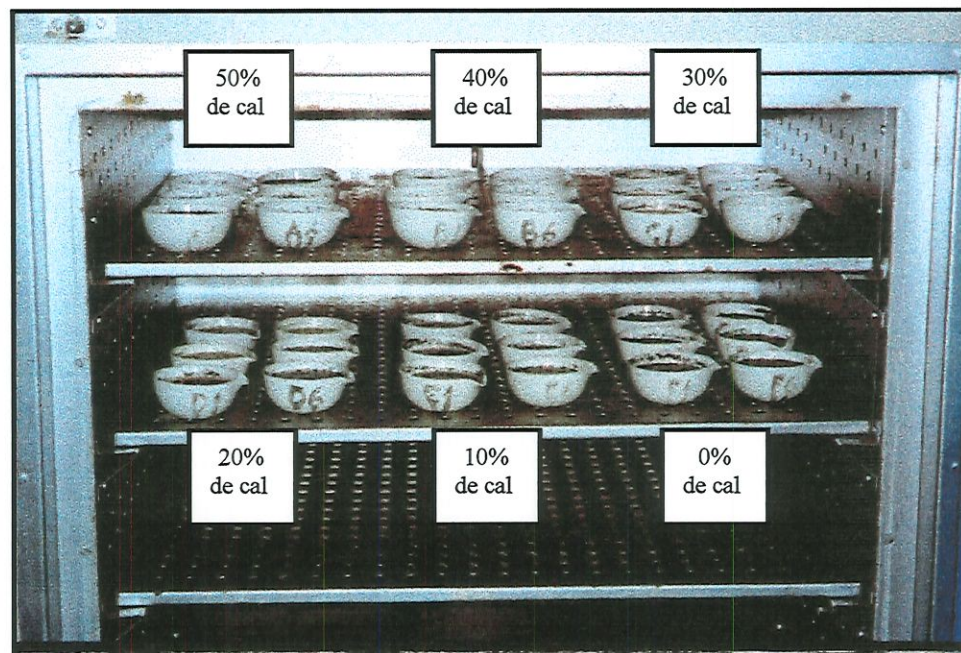


Figura 4.12- Conjuntos de cápsulas utilizados, na estufa, com suas respectivas dosagens de cal em 40mℓ de lodo.

c- Teor de umidade final do lodo calado

Para o cálculo do teor de umidade final do lodo calado, foram utilizadas as seguintes expressões:

- Quantidade de água na cápsula antes de ser colocada na estufa ($P_{\text{águaA}}$):

$$P_{\text{águaA}} \text{ (g)} = (P_2 - P_1) \times u \quad (4.15)$$

- Quantidade de água na cápsula depois de ser retirada da estufa ($P_{\text{águaD}}$):

$$P_{\text{águaD}} \text{ (g)} = (P_3 - P_1) \times u \quad (4.16)$$

- Teor de umidade final do lodo calado (após a retirada das cápsulas da estufa) (u_f):

$$u_f \text{ (%) } = \left(\frac{P_{\text{águaD}}}{P_{\text{águaA}}} \times u \right) \times 100 \quad (4.17)$$

d- Sólidos sedimentáveis, pH e alcalinidade total (lodo bruto)

Quando da determinação dos sólidos sedimentáveis, pH e alcalinidade total, foram utilizadas as amostras do lodo bruto em seu estado líquido, seguindo os métodos do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

Os sólidos sedimentáveis foram determinados pelo método gravimétrico; o pH, por potenciometria e a alcalinidade, por titulometria.

e- DQO (lodo bruto/lodo calado)

Tendo em vista que a quantidade de sólidos no lodo é bastante superior à encontrada nos esgotos domésticos, os valores da DQO obtidos pelo método do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995) para amostras líquidas, diferiram muito para as

diluições feitas, ou seja, não houve reprodutibilidade dos resultados. Desta forma, os resultados dos ensaios realizados por este método foram rejeitados.

Segundo DEUS *et al* (1993a), a técnica de refluxo com dicromato, que é descrito no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), apresenta problemas quanto à representatividade dos resultados, quando são utilizadas amostras de lodo de esgoto.

Portanto seguiu-se o método de digestão citado por GOMES (1989), utilizando ácido sulfúrico. No trabalho deste autor, método em questão foi utilizado para digestão de amostras de resíduos sólidos urbanos.

Este método de digestão (abertura de amostra) foi utilizado para as amostras de lodo bruto e para as 6 amostras caladas (secas a 40 ou 50°C pelo tratamento térmico na estufa).

Segundo tal método, coloca-se 1g da amostra macerada e seca a 105°C, por 24 horas, em um béquer, adicionam-se 5ml de água destilada e 20ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), agitando com bastão de vidro até a reação diminuir (esfriar). Em seguida, coloca-se esta amostra em um balão volumétrico de 250ml, completando o volume com água destilada, para a amostra ser então filtrada, em papel mussoline. O líquido filtrado se constitui na amostra líquida que é digerida segundo o método de refluxo fechado com dicromato de potássio, utilizado na determinação de DQO para amostras líquidas, descrito no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

Obtém-se os resultados da DQO em mg O₂/ℓ, mas estes são transformados para g O₂/kg de lodo seco.

A transformação de O₂/ℓ para g/kg é citado no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, utilizando a equação a seguir (APHA, 1995).

$$\frac{A \times B}{g_{\text{amostra}} \times 1000} \quad (4.18)$$

em que:

A: concentração do parâmetro na solução digerida (mg/l);

B: volume final da solução digerida (ml);

g_{amostra} : peso da amostra seca utilizada na digestão (g).

f- Nitrogênio Total Kjeldahl (lodo bruto/lodo calado)

A determinação do Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) foi realizada pelo método do Instituto Agronômico de Campinas, IAC - CAMARGO *et al* (1996). O referido método é utilizado para determinação de NTK em amostras que contêm matéria orgânica.

Para preparação do indicador de cor, dissolvia-se 0,5g de verde de bromocressol e 0,1g de vermelho de metila em 100ml de álcool etílico ou etanol, ajustando o pH desta solução com soluções diluídas de NaOH ou HCl de forma que a sua coloração ficasse púrpura ou azul.

Para testar o indicador, colocava-se 50ml de ácido bórico, 2 gotas do indicador, 3 gotas de hidróxido de amônio 10% e titulava-se normalmente.

No procedimento da digestão, colocava-se no tubo digestor 0,8g de sedimento seco* a 35°C ou temperatura ambiente; 0,3g da mistura (100g de sulfato de potássio ou sódio e 10g de sulfato de cobre (5H₂O), misturados intimamente em um almofariz); 5ml de água destilada e 15ml de ácido sulfúrico concentrado. Deixava-se esta mistura digerindo até que cessasse a produção de fumos e a mistura ficasse clara, e esperava-se a mesma esfriar.

* Em amostras contendo muita matéria orgânica, usar menos que 1,0g de amostra seca e, em amostras contendo menos que 0,3% de carbono, usar mais que 1,0g de amostra seca.

No procedimento da destilação, colocava-se, em um erlenmeyer, 50mℓ de ácido bórico e 4 gotas do indicador; no destilador, acrescentava-se 50mℓ de água destilada e 85mℓ de NaOH a 32% e destilava-se por 4 minutos até volume aproximado de 100mℓ (o primeiro tempo de 5 minutos).

Por fim, no procedimento da titulação, titulava-se com ácido clorídrico 0,2N ou ácido sulfúrico 0,112N até que a cor azul desaparecesse.

O valor do NTK era obtido pela expressão a seguir.

$$\%NTK = \frac{V_{\text{ácido}} \times N \times 0,014}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (4.19)$$

em que:

$V_{\text{ácido}}$: volume de ácido gasto na titulação (mℓ);

N: normalidade do ácido utilizado (N);

m: massa da amostra seca (g).

Utilizaram-se as amostras com peso de 0,8g que foram secas a 40 ou a 50°C. Segundo KIEHL (1985), não há alterações químicas nas substâncias proteicas, quando é utilizada secagem com temperatura abaixo de 65°C.

Este método foi utilizado para determinação do NTK nas 6 amostras caladas, sendo o NTK do lodo bruto igual à sem cal, pois a temperatura de secagem era a mesma utilizada no tratamento térmico.

g- Metais (Zn, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Cu), potássio (K), sódio (Na⁺) e sulfato(SO₄⁻²) (lodo bruto/lodo calado)

BARRETO (1994) utilizou e adaptou o método de digestão descrito por TALBOT (1983) para a determinação da concentração de cromo (Cr). Este autor utilizou este método de abertura de amostra para a

determinação da concentração de cromo, além da concentração dos outros metais.

No presente trabalho, utilizou-se este método para digerir as amostras, determinando a concentração de metais e também de potássio, sódio e cloretos para a amostra do lodo bruto e para as 6 amostras de lodo calado.

Foram feitas algumas adaptações quanto ao tempo e temperatura de secagem das amostras na estufa e tempo de digestão.

Colocava-se 1,0g da amostra seca* em erlenmeyer e adicionava-se 20mℓ de ácido nítrico concentrado (HNO₃). Colocava-se este erlenmeyer em placa aquecedora a 70°C, deixando o ácido ser evaporado lentamente até ser reduzido o volume para de cerca de 2mℓ, sem deixar secar totalmente. No caso disto ocorrer, adicionava-se mais uns 5mℓ de ácido nítrico e deixava-se evaporar até 2mℓ novamente. O erlenmeyer permanecia na placa até que a amostra estivesse digerida. Então filtrava-se a amostra em membrana de 0,47mm com auxílio de uma bomba a vácuo.

Completava-se o volume para 100mℓ para posterior análise no espectrofotômetro de absorção atômica, segundo o método descrito no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

Deste volume, o potássio e o sódio eram determinados por fotometria de chama e o sulfato, por turbidimetria, segundo o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

h- Cálcio (Ca²⁺) (lodo bruto)

O cálcio só foi determinado nas amostras de lodo bruto, sendo utilizado o mesmo método para a determinação dos metais, ou seja, sendo analisado por espectrofotometria de absorção atômica, a partir da amostra digerida com ácido nítrico.

* Secagem a 105°C para o lodo bruto e, a 40 e 50°C para as amostras caladas, visto que foram as temperaturas estudadas neste trabalho.

Os resultados obtidos em mg Ca/ℓ foram transformados para gCa/kg de lodo seco, utilizando a Equação 4.18.

i- Reidratação das amostras (lodo calado)

Após a retirada da estufa, as amostras caladas de lodo tinham teor de umidade variando de 0 a 2%, ou seja, estavam secas.

Para a realização das análises bacteriológica e parasitológica, essas amostras deveriam estar “líquidas”. Portanto decidiu-se fazer sua reidratação.

A reidratação foi feita de modo que as amostras tivessem o mesmo teor de umidade que possuíam antes de irem para a estufa, a fim de ser possível a comparação dos resultados dos ensaios com a amostra bruta do lodo em seu estado natural.

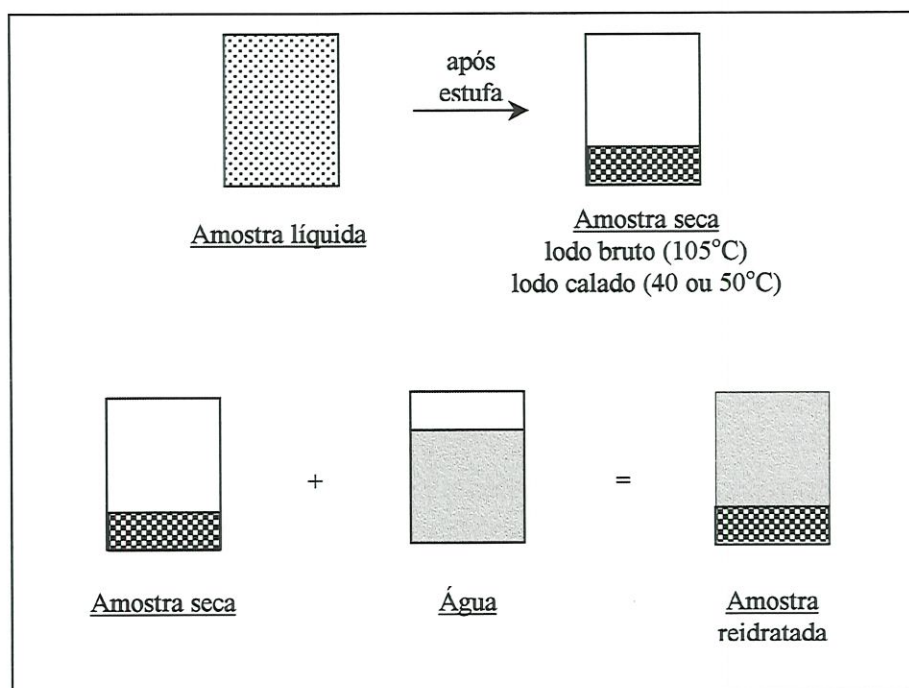


Figura 4.13- Esquema do procedimento de reidratação das amostras.

Para a reidratação, eram maceradas e pesadas as amostras secas, adicionada água destilada (quantidade em peso da água evaporada

durante os 5 dias na estufa) e homogeneizava-se o máximo possível com auxílio de um bastão de vidro. As amostras eram deixadas em repouso por uma hora, para que a água se reincorporasse mais ao material seco. Porém era bem visível a separação das duas fases (sólida+líquida).

No cálculo do peso das amostras e peso da água usados na reidratação, foram utilizadas as seguintes equações:

- Peso da amostra seca a ser reidratada (P_s):

$$P_s (g) = P_3 - P_0 \quad (4.20)$$

- Peso da água a ser adicionada (P_a):

$$P_a (g) = P_2 - P_3 \quad (4.21)$$

em que:

P_0 : peso da cápsula (g);

P_2 : $P_0 + P_{\text{lodo}} + P_{\text{cal}}$ (g);

P_3 : P_2 após secagem a 40 ou 50°C (g).

Eram somados os valores de " P_s " e " P_a " de cada conjunto de cápsulas, feitas as médias e depois multiplicadas por 2 para se obter uma quantidade suficiente de amostra líquida para realização dos exames bacteriológico e parasitológico.

j- pH (lodo calado)

O pH das amostras caladas foi determinado por potenciometria, segundo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995) antes de serem colocadas na estufa (amostras líquidas) e após reidratação das mesmas.

k- Bacteriologia (lodo bruto/lodo calado)

Os coliformes são os microrganismos mais empregados como indicadores da qualidade sanitária. Dentro deste grupo, tem-se a espécie *Escherichia coli* que é considerada como sendo unicamente de origem fecal, sendo portanto empregada como indicador de contaminação fecal.

Os exames bacteriológicos foram feitos nas amostras reidratadas e no lodo bruto em seu estado natural, sendo determinados coliformes totais e *Escherichia coli*, visando analisar a diminuição no Número Mais Provável (NMP) de tais organismos com o aumento da adição de cal e com o aumento da temperatura.

Foi utilizada a técnica do Colilert, de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

l- Parasitologia (lodo bruto/lodo calado)

Nem sempre o número de formas parasitárias encontradas nas fezes é suficiente para que seja possível sua observação em um simples exame direto (colocar uma gotícula de fezes na lâmina e examiná-la ao microscópio). Na maioria das vezes, há necessidade de concentrar as amostras para evidenciação das formas (NEVES *et al*, 1995).

Nos exames parasitológicos, foram utilizados dois métodos qualitativos, que são aqueles em que é verificada a presença de parasitos intestinais, mas não o seu número provável. Segundo NEVES *et al* (1995), tais métodos são os mais freqüentemente utilizados em exames de rotina de fezes humanas.

Os exames parasitológicos foram realizados no Laboratório de Morfologia e Patologia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sendo verificada a presença dos parasitos apresentados na Tabela 4.2.

Para exame das amostras de lodo bruto e das amostras reidratadas, foram utilizadas adaptações dos métodos de Faust e o de Hoffmann *et al*, sendo verificada a presença de cistos de protozoários e ovos e larvas de helmintos.

Tabela 4.2- Parasitos pesquisados nas amostras de lodo bruto e nas amostras reidratadas.

Protozoários	Helmintos
<i>Balantidium coli</i>	<i>Ancylostomo braziliensis</i>
<i>Endolimax nana</i>	<i>Ancylostomo duodenalis</i>
<i>Entamoeba coli</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>
<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>
<i>Giardia lamblia</i>	<i>Enterobius vermiculares</i>
<i>Paramecium sp</i>	<i>Fasciola hepatica</i>
	<i>Hymenolepis nana</i>
	<i>Necator americanus</i>
	<i>Strongyloides stercoralis</i>
	<i>Taenia sarginata</i>
	<i>Taenia solium</i>
	<i>Trichinella spiralis</i>
	<i>Trichocephalus trichiurus</i>

Em trabalho realizado com várias técnicas de concentração de ovos de helmintos presentes no lodo de esgoto, CORAUCCI FILHO *et al* (1997a) concluíram que, dentre as técnicas analisadas (método de Faust, método de Ritchie, método seguido por Sykora (1991) e método de Hoffmann), as que ofereceram melhores resultados foram a de Faust e aquela desenvolvida por Sykora.

O método de Faust ou método da centrífugo-flutuação foi adaptado do descrito por NEVES *et al* (1995). O primeiro passo a ser dado era agitar a amostra, colocar 5mℓ da mesma em tubo cônico e centrifugar por três minutos a 2.000rpm. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante era desprezado e a matéria depositada era ressuspensa em água e centrifugada mais duas a três vezes, até que o líquido sobrenadante ficasse límpido. Depois da última lavagem, a água sobrenadante era desprezada e o tubo era completado com uma solução de sulfato de zinco a 33% com densidade de 1,18. Fazia-se mais uma centrifugação por três minutos a 2.000rpm. Como a densidade do sulfato de zinco era maior que a dos cistos e ovos presentes, os mesmos ficavam concentrados na película flutuante, a qual era recolhida com alça de platina, colocada em uma lâmina junto com uma gota de lugol e coberta com uma lamínula, que então era examinada no microscópio com aumento de 100 e 400 vezes.

Já o método de Hoffmann, Pons & Janer ou método de Lutz ou método da sedimentação espontânea, citado por SEIXAS (1994), consistia em colocar a amostra em cálice cônico de sedimentação (cálice de Hoffmann), completando o volume com água. Deixava-se esta amostra em repouso por um período mínimo de 2 horas para sedimentar. Após este tempo, o material sedimentado era recolhido por meio de uma pipeta de Pasteur, transferindo-o para uma lâmina. Era colocada uma gota de lugol, cobrindo a lâmina com uma lamínula e, logo em seguida, era procedido o exame, utilizando microscópio com aumento médio de 100 a 400 vezes.

Segundo SEIXAS (1998)^{*}, o método de Faust é usado para pesquisa de ovos leves e densos, larvas e cistos.

Ainda, segundo SEIXAS (1998), com o tempo de repouso de 2 horas, no método de Hoffmann, é possível verificar apenas a presença de ovos pesados e larvas, enquanto que, com a amostra permanecendo em repouso por mais de 12 horas, além destes, é também possível verificar a presença de ovos leves e cistos.

^{*}SEIXAS, A. S. S. (1998), Universidade Federal de São Carlos, *Comunicação pessoal*.

Por isso, para que fosse possível a análise de todas as formas parasitárias, as amostras de lodo foram deixadas em repouso por cerca de 24 horas, quando da utilização do método de Hoffmann.

4.5- Fase III: Desidratação do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional (em escala de laboratório)

Esta fase do trabalho consiste na verificação da influência do aquecimento do lodo, por meio da queima do biogás, no tempo de secagem e no teor de sólidos, quando são utilizados leitos de secagem, na desidratação do lodo anaeróbio. Foi utilizada estufa para simular a queima do biogás.

Também foi estudada a desidratação do lodo em leitos de secagem convencionais (descoberto e coberto), para efeito de comparação dos resultados com os do leito de secagem não-convencional.

A temperatura utilizada (50°C), nos leitos de secagem não-convencionais, foi aproximadamente igual à temperatura teórica obtida na Fase I.

Esta fase do trabalho, dividida em 3 partes, foi desenvolvida no intuito de desidratar o lodo de reator UASB, em leitos de secagem convencional e não-convencional, em escala de laboratório. Não foi utilizada cal nos leitos de secagem, visto que a desinfecção do lodo já fora estudada, durante a Fase II.

Foram utilizados 9 leitos de secagem de porte laboratorial, sendo cada um constituído por 2 recipientes metálicos, cilíndricos e destampados que foram soldados um sobre o outro, sendo designados de recipiente I e II, respectivamente (Figura 4.14). Cada recipiente possuía volume de 900mℓ e aproximadamente as seguintes dimensões: diâmetro interno de 8cm e altura de 18cm.

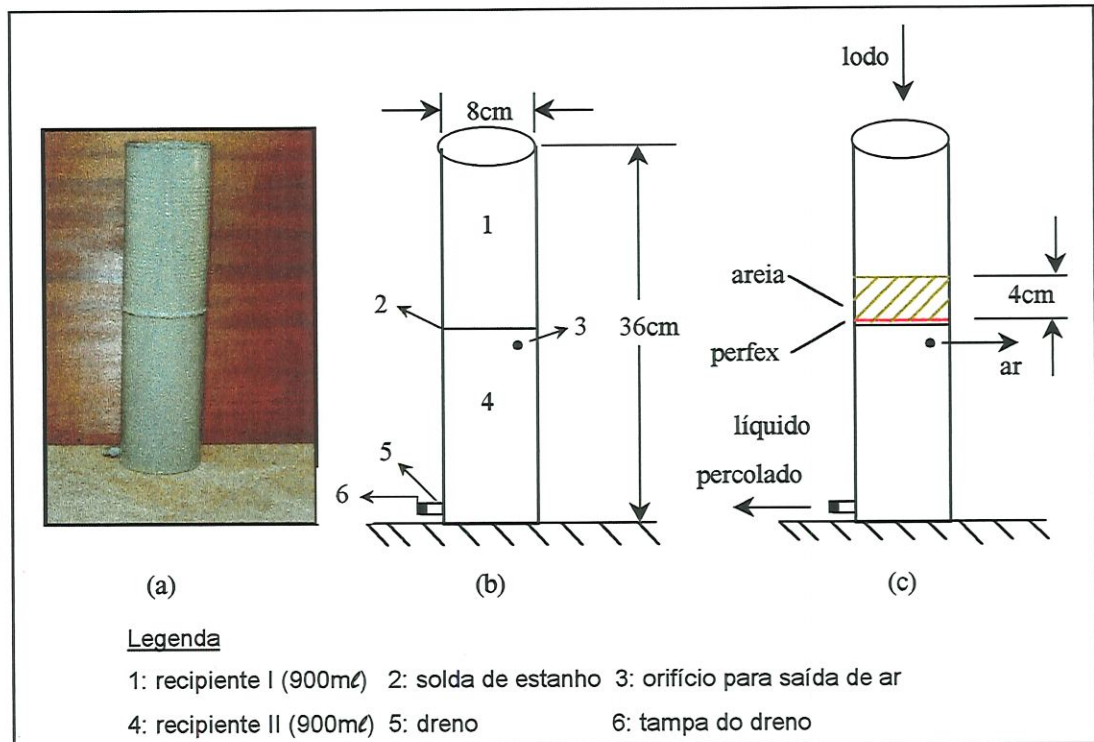


Figura 4.14- Montagem do leito de secagem:(a) fotografia - vista lateral;
 (b) e (c) desenhos esquemáticos.

A base do recipiente I serviu de apoio para a areia, sendo uniformemente perfurada com orifícios grandes para a passagem do líquido percolado. Como o diâmetro destes orifícios era superior aos dos grãos de areia, foi colocada, sobre este fundo, uma camada de perfex (tecido finamente perfurado), para permitir apenas a passagem do líquido percolado e não a da areia (Figura 4.15).

O material utilizado na camada drenante foi areia grossa, cujos grãos ficaram retidos entre as peneiras de abertura de 1,65 e 2,38mm.

Na parte inferior do recipiente II, foi colocado e soldado um pequeno tubo metálico, com uma tampa, para drenar o líquido percolado e, na parte superior, foi feito um pequeno orifício para saída do ar presente no recipiente II, para que a pressão exercida pelo ar presente, neste recipiente, não impedisse a retirada do líquido.

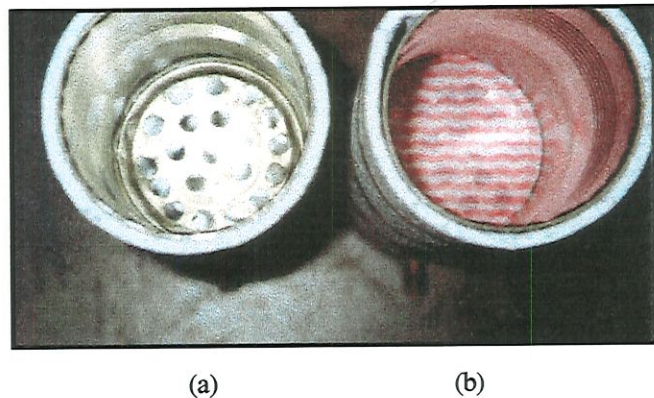


Figura 4.15- Vista superior das montagens dos leitos de secagem, em escala de laboratório: (a) base perfurada do recipiente I; (b) camada de perfex sobre a base do recipiente I.

Em cada leito de secagem, foram colocados 800mℓ (medidos em proveta) de lodo bruto sobre uma camada de 4cm de areia, obtendo-se uma lâmina de lodo de aproximadamente 14cm, que é cerca de metade da lâmina utilizada em leitos de secagem em escala real, cuja lâmina total que é geralmente da ordem de 30cm.

A Figura 4.16 apresenta leitos após colocação da camada de areia e após colocação do lodo.

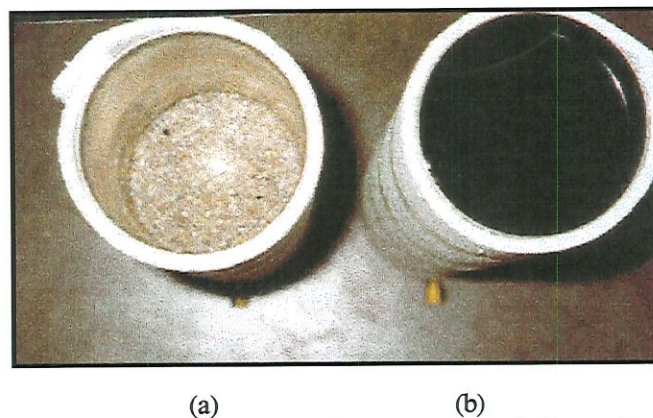


Figura 4.16- Vista superior aos montagens aos leitos de secagem, em escala de laboratório: (a) após colocação da camada drenante (areia grossa); (b) após colocação do lodo.

Os leitos de secagem foram separados em 3 grupos, com 3 unidades cada: um grupo de leito de secagem não-convencional e dois grupos de leitos de secagem convencionais.

O grupo 1 (não-convencional) foi levado à estufa a 50°C para ser analisado o efeito da temperatura; o grupo 2 (convencional) foi mantido sob os efeitos das condições climáticas (sol, chuva, vento), ou seja, em local descoberto; e o grupo 3 (convencional) foi mantido sob os efeitos indiretos do tempo, ou seja, em local externo, porém sob cobertura de cimento amianto.

Como, no período do experimento, as chuvas foram freqüentes, pôde-se verificar se o efeito das mesmas, assim como o efeito direto dos raios solares sobre a secagem do lodo, eram significativos.

Todos os leitos de secagem foram isolados termicamente nas laterais e na parte inferior. O primeiro grupo foi isolado com uma camada de aproximadamente 2cm de lã de vidro e os outros dois grupos, com isopor de espessura de 0,5cm, como pode ser observado nas Figuras 4.17 e 4.18, respectivamente.

Nas amostras de lodo, foram determinados sólidos totais, fixos e voláteis e o teor de sólidos, para os três grupos. E, nas amostras do líquido percolado dos grupos 2 e 3, foram determinados os sólidos e a DQO, seguindo os métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

No grupo 1, não foi possível a análise do líquido percolado, tendo em vista que fora evaporado durante o período, devido à temperatura da estufa.

A análise do líquido percolado, quanto à DQO, deve-se ao fato que este geralmente é enviado ao início das ETEs, tornando-se necessário seu valor para o dimensionamento das unidades da estação de tratamento de esgotos.

Os leitos de secagem do grupo 1 foram retirados da estufa no período de 1; 5 e 10 dias após a colocação do lodo, para a realização das análises citadas anteriormente, enquanto que os leitos de secagem dos grupos 2 e 3 foram retirados para análise após 5; 15 e 30 dias.

O período de retirada dos leitos de secagem do grupo 1 diferiu dos demais por a desidratação deste grupo ser mais rápida.

Os três grupos de leitos de secagem podem ser observados nas Figuras 4.17 e 4.18.



Figura 4.17- Montagem dos leitos de secagem, em escala de laboratório, em que foi utilizada secagem não-convencional (secagem em estufa).

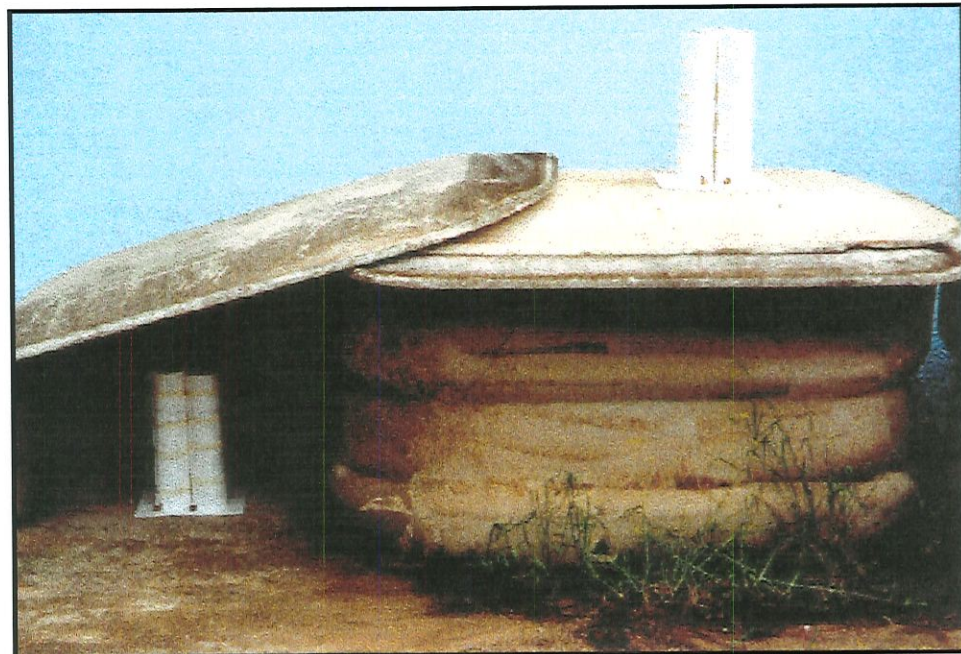


Figura 4.18- Montagem dos leitos de secagem, em escala de laboratório, em que foi utilizada secagem convencional (leitos de secagem descobertos e cobertos).

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Fase I: Estudo da possibilidade de aproveitamento do biogás na desidratação de lodo gerado em reator anaeróbio de manta de lodo

Com base nas considerações e nos cálculos teóricos apresentados no Capítulo 4, foram obtidos os valores dos parâmetros que seguem, para as situações mais desfavoráveis:

▪ Produção de lodo seco:	10,8gSST/hab.dia
▪ Produção de biogás:	6,2ℓ/hab.dia
▪ Energia disponível:	129.682J/hab.dia
▪ Calor específico da água:	4,1833J/g.°C

5.1.1- Temperatura final do lodo

A temperatura final que o lodo pode atingir com a queima do biogás é apresentada na Tabela 5.1.1, para cada teor de umidade usual de lodo descartado.

Observando a Tabela 5.1.1, verificou-se que a energia resultante da queima do biogás gerado por uma pessoa é suficiente para aquecer o lodo produzido pela mesma.

Tabela 5.1.1– Temperatura final do lodo decorrente do aquecimento com a queima do biogás para diversos teores de umidade do lodo bruto.

Umidade do lodo	Temperatura (°C)
99%	49
98%	77
97 a 90%	100

Com os valores apresentados na Tabela 5.1.1, pôde ser percebida redução da temperatura possível de ser alcançada pelo lodo, com o aumento da umidade do lodo bruto. Este comportamento já era esperado, pois, devido à maior quantidade de água presente, maior seria a dificuldade de secar o lodo.

Verificou-se ainda que, com a queima do biogás, é possível teoricamente manter a temperatura em 49°C, para lodo com teor de umidade de 99%; em 77°C, para lodo com teor de umidade de 98%; e em 100°C, para lodo com teor de umidade igual ou inferior a 97%, demonstrando a potencialidade do uso do biogás na secagem do lodo anaeróbio. Porém não foram consideradas as perdas no sistema de queima e distribuição do calor no leito que podem ocorrer em uma instalação real, o que poderia diminuir o valor da temperatura de aquecimento do lodo.

Mantendo essas temperaturas no lodo, o processo de desidratação do mesmo seria bastante acelerado, pois 105°C é a temperatura utilizada nos procedimentos de determinação de sólidos da APHA (1995), secando totalmente os sólidos presentes no esgoto, em apenas 2 horas. No caso da determinação de sólidos em lodos, foi utilizado, neste trabalho, tempo de secagem de 24 horas.

Assim, supondo o aproveitamento do biogás em uma instalação real, com, o tempo de secagem dos lodos com teor de umidade na faixa de 98 a 90% seria da ordem de apenas 1 dia, e, para lodos com

teor de umidade de 99%, o tempo de secagem seria em torno de 5 dias (tempo utilizado na Fase II que segue). Esses valores são bastante satisfatórios, visto que em leitos de secagem convencionais, o tempo de secagem varia de 20 a 30 dias.

5.2- Fase II: Caracterização, tratamento químico com cal (desinfecção) e tratamento térmico (desidratação) do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo

5.2.1- Caracterização do lodo bruto

As características do lodo bruto coletado no reator anaeróbio de manta de lodo são apresentadas na Tabela 5.2.1.

Tabela 5.2.1– Caracterização do lodo coletado no reator anaeróbio de manta de lodo.

Parâmetro	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
Temperatura do lodo na coleta (°C)	-	18	20	21
Teor de umidade (%)	97,7	92,5	96,7	94,7
Teor de sólidos (%)	2,3	7,5	3,3	5,3
Sólidos totais (g/kg de lodo seco)	23,0	75,7	33,1	52,9
Sólidos fixos (g/kg de lodo seco)	8,6 (37,4%ST)	29,6 (39,1%ST)	12,5 (37,8%ST)	20,1 (38,0%ST)
Sólidos voláteis (g/kg de lodo seco)	14,4 (62,6%ST)	46,1 (60,9%ST)	20,6 (62,2%ST)	32,7 (61,8%ST)
Sólidos sedimentáveis (mℓℓ de lodo bruto)	500	40	550	875
pH	7,0	6,5	6,8	6,6
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /ℓ de lodo bruto)	721	989	484	685

(-): valor não medido

A temperatura média do lodo bruto não apresentou grandes variações, estando em torno de 20°C, durante o período de coleta.

O teor de umidade do lodo variou de 92,4 a 97,7%; seu pH variou de 6,5 a 7,0 e a alcalinidade variou de 484 a 989mgCaCO₃/ℓ de lodo bruto.

Os sólidos sedimentáveis diferiram sensivelmente de uma coleta de lodo para outra, variando de 40 a 875mℓℓ de lodo bruto. O fato de o valor dos sólidos sedimentáveis da 2ª coleta ter sido bem inferior, em relação aos demais lodos coletados, pode ter sido devido à maior concentração de sólidos (7,5%), como também à temperatura mais baixa do lodo (18°C).

A fração de sólidos voláteis variou de 60,9 a 62,6% dos sólidos totais, tendo valor médio de 61,9%. O lodo do reator anaeróbico de manta de lodo apresentou teor de sólidos voláteis dentro da faixa citada em METCALF & EDDY (1991), que é de 60 a 80%.

5.2.2- Tratamento térmico: tempo de secagem

Em uma instalação real de secagem de lodo, sob aquecimento por meio da queima do biogás, haveria perdas de energia no sistema. Assim foram utilizadas neste trabalho, temperaturas de 40 e 50°C: uma menor e outra igual à menor obtida na Fase I (para lodo com 99% de umidade), para verificar a influência da temperatura na umidade final das amostras, após a desidratação.

Antes de iniciar os experimentos, pretendia-se manter as amostras na estufa por cerca de 10 a 15 dias, até que as mesmas estivessem secas. A primeira temperatura utilizada foi a de 40°C. Percebeu-se que, após 5 dias na estufa, as amostras já estavam secas, sendo assim fixado este tempo de secagem para os demais ensaios, tanto para temperatura de 40°C, como para a de 50°C.

5.2.3- pH das amostras caladas

Os valores do pH das amostras caladas são apresentados na Tabela 5.2.2.

O pH das amostras aumentou com o aumento da dosagem de cal, como era de se esperar, visto que tal produto químico é um alcalinizante.

Nas amostras caladas a 50% e 40%, o pH se manteve acima de 12, variando de 12,2 a 12,5 e de 12,1 a 12,5, respectivamente. Nas amostras caladas a 30%, o pH variou de 11,9 a 12,5; nas caladas a 20%, variou de 11,5 a 12,5 e, nas caladas a 10%, variou de 10,1 a 11,6.

Tabela 5.2.2- pH das amostras caladas.

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C	50°C	40°C	50°C
	(1ª coleta)	(2ª coleta)	(3ª coleta)	(4ª coleta)
pH				
0%	7,0	6,5	6,8	6,6
10%	10,1	11,6	10,8	10,9
20%	11,3	12,5	12,0	12,2
30%	11,9	12,5	12,2	12,2
40%	12,1	12,5	12,3	12,3
50%	12,2	12,5	12,3	12,4

No lodo da segunda coleta, o pH foi o mesmo para as dosagens de 20; 30; 40 e 50% de cal. É possível que este fato esteja relacionado ao elevado teor de sólidos no lodo dessa coleta que impossibilitou uma agitação adequada das amostras.

5.2.4- Desidratação das amostras caladas

O teor de umidade final das amostras caladas, após 5 dias na estufa, sob temperatura de 40°C variou de 0 a 1,9%, para a primeira coleta, e de 0,1 a 1,9%, para a terceira coleta. Na desidratação das amostras submetidas à temperatura de 50°C, a variação foi de 0,2 a 1,2%, para a segunda coleta, e de 0,6 a 2,2%, para a quarta coleta, como pode ser observado nas Tabelas A, B, C e D, em anexo. E, na Tabela 5.2.3, são apresentadas as umidades finais médias obtidas em cada coleta, após 5 dias em estufa.

O teor de umidade final das amostras caladas não variou significativamente com o teor de umidade inicial do lodo bruto, nem com a mudança da temperatura da estufa.

Percebeu-se que, após os 5 dias de secagem, as colorações das amostras diferiram entre si para cada conjunto de cápsulas, variando de mais escura a mais clara com o aumento da dosagem de cal.

Tabela 5.2.3- Teor de umidade final média do lodo calado (%), após 5 dias em estufa.

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C	50°C	40°C	50°C
	(1ª coleta)	(2ª coleta)	(3ª coleta)	(4ª coleta)
Teor de umidade final média (u_f , %)				
0%	0,5	0,4	0,6	1,6
10%	1,1	0,5	1,1	1,9
20%	1,2	0,9	0,5	1,5
30%	1,0	0,8	0,6	1,0
40%	0,6	0,7	1,1	1,3
50%	1,4	0,5	1,4	1,2

5.2.5- DQO do lodo bruto e das amostras caladas

Os valores da DQO do lodo bruto e das amostras caladas são apresentados na Tabela 5.2.4.

Tabela 5.2.4–DQO do lodo bruto e das amostras caladas (g/kg de lodo seco).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
DQO (g/kg de lodo seco)				
Lodo bruto* - N	252	170	315	196
- S	164	289	290	181
0% - N	380	205	278	144
- S	148	264	294	181
10% - N	312	131	245	148
- S	381	202	321	194
20% - N	292	162	232	157
- S	296	169	300	158
30% - N	220	126	271	130
- S	333	183	298	177
40% - N	280	140	274	181
- S	332	171	383	145
50% - N	264	138	216	177
- S	294	316	310	136

N: amostra seca digerida com ácido nítrico (HNO₃)

S: amostra seca digerida com ácido sulfúrico (H₂SO₄)

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Não foi observada correlação entre a DQO e as dosagens de cal utilizadas para nenhum dos métodos de digestão utilizados. Porém, quando a decomposição da matéria seca (lodo) foi realizada com ácido sulfúrico, foi observado que, em 22 dos 28 valores obtidos, ou seja, em 79% dos resultados, os valores de DQO foram mais elevadas, que aqueles obtidos com a digestão feita com ácido nítrico.

A DQO das amostras digeridas com ácido nítrico variou de 130 a 380g/kg de lodo seco, enquanto que a DQO das amostras digeridas com ácido sulfúrico variou de 136 a 383g/kg de lodo seco. Em ambos casos, a variabilidade dos resultados foi bastante elevada, chegando a 292% e a 282% na digestão com ácido nítrico e sulfúrico, respectivamente.

Nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2, pôde ser observada graficamente a variação da DQO com as diferentes dosagens de cal e com os métodos de digestão utilizando ácido nítrico ou ácido sulfúrico.

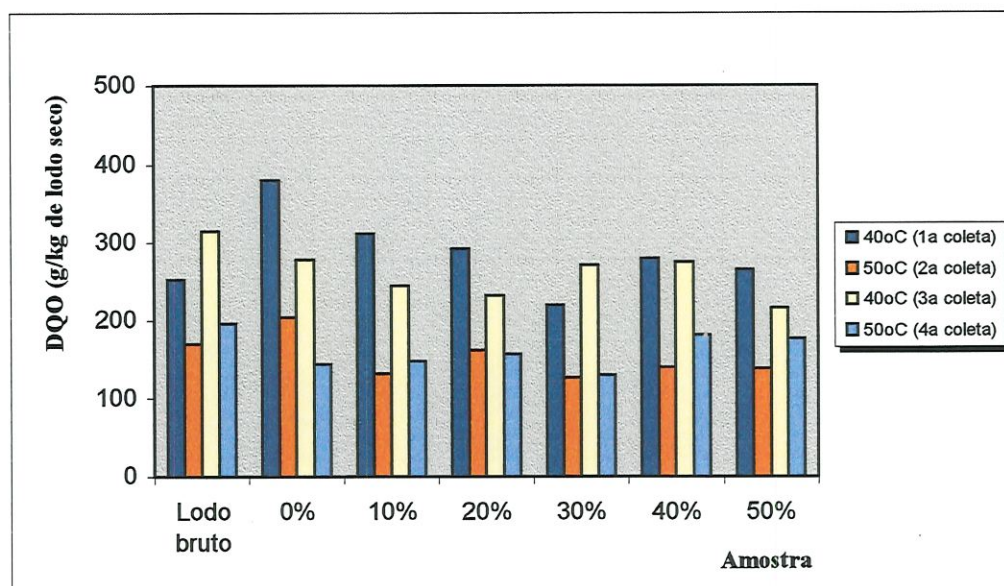


Figura 5.2.1- DQO do lodo bruto e das amostras caladas (digestão com ácido nítrico).

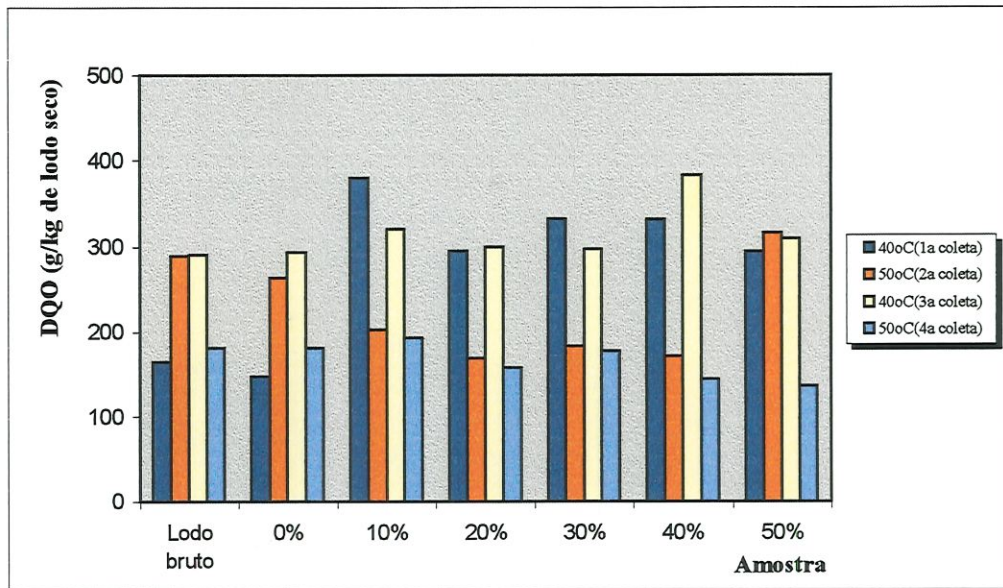


Figura 5.2.2- DQO do lodo bruto e das amostras caladas (digestão com ácido sulfúrico).

5.2.6- Nitrogênio Total Kjeldahl do lodo bruto e das amostras caladas

O nitrogênio é normalmente o mais valioso constituinte do lodo, que pode ser usado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de lodo a ser aplicado no solo, pois, acima de certo nível, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitratos e contaminar o lençol freático (SANEPAR, 1997).

A Tabela 5.2.5 apresenta a variação da concentração de NTK, nas amostras estudadas.

Em todas as coletas, o valor máximo da concentração de NTK foi obtido nas amostras sem cal (caladas a 0%), variando de 3,8 a 4,2% e o valor mínimo foi obtido nas amostras caladas a 40 e 50%, variando de 2,3 a 3,2%. Para as demais dosagens de cal utilizadas, em todas as coletas, foi observado que as concentrações apresentaram tendência à redução do NTK com aumento da calagem.

Tabela 5.2.5– NTK das amostras caladas* (% ou g/100g de lodo seco).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C	50°C	40°C	50°C
	(1ª coleta)	(2ª coleta)	(3ª coleta)	(4ª coleta)
NTK (% ou g/100g de lodo seco)				
0%	4,1	3,9	4,2	3,8
10%	3,2	3,5	3,7	3,5
20%	3,0	3,0	3,7	3,1
30%	3,0	2,9	3,1	2,9
40%	2,9	2,7	3,2	2,5
50%	2,9	2,9	2,8	2,3

* O NTK da amostra sem cal (calada a 0%) é equivalente ao NTK da amostra de lodo bruto

Com base na Figura 5.2.3, pôde-se perceber que a concentração de NTK, em quase todas as coletas, diminuiu com o aumento da dosagem de cal aplicada ao lodo do reator UASB. Em trabalho realizado por VALIM *et al* (1997), foi observado comportamento semelhante, em que o lodo bruto possuía 2,4% de nitrogênio, enquanto que o lodo calado a 50% possuía 1,3% do macronutriente.

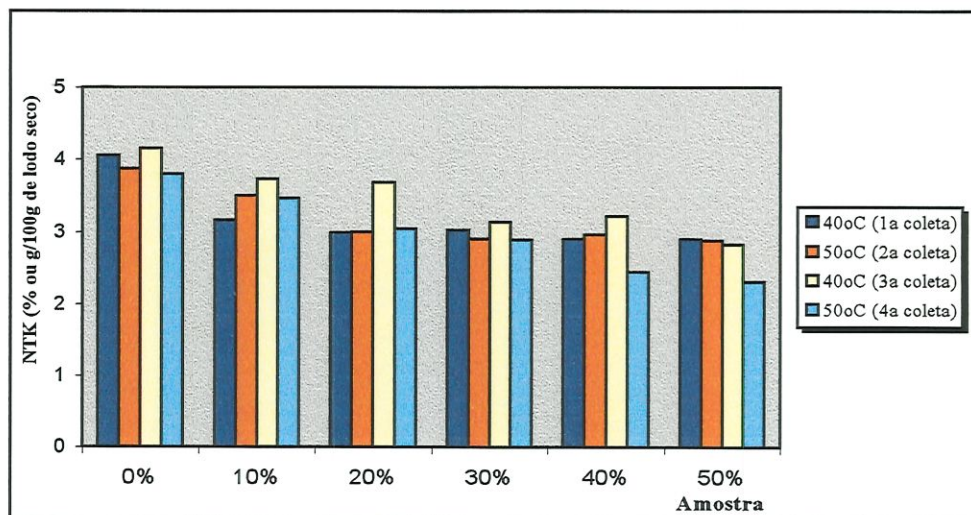


Figura 5.2.3- NTK das amostras caladas de lodo.

Este fato sugere que provavelmente a calagem apresenta um fator negativo para o uso do lodo de esgoto na agricultura, pois diminui a concentração de nitrogênio no lodo. Porém há estudo que comprova o contrário, como o realizado por DESCHAMPS & FAVARETTO (1997).

Esses autores verificaram o teor nutricional que o lodo de esgoto tratado com cal^{*} era capaz de fornecer à cultura de feijoeiro e de girassol, concluindo que tal lodo poderia ser utilizado como fonte de adubação orgânica, substituindo 100% da quantidade de nitrogênio recomendada, sem prejuízo em termos de rendimento quando comparado à adubação mineral.

Segundo KIEHL (1985), um fertilizante orgânico deve ter mínimo de 1% de nitrogênio. Assim o lodo do reator UASB, operado na EESC - USP, mesmo com 50% de cal, estaria apto ao uso na agricultura, com relação à concentração de nitrogênio.

5.2.7- Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas

Com base nas Tabelas 5.2.6; 5.2.7; 5.2.8 e 5.2.9, verificou-se que as concentrações de metais (Zn, Pb, Cd, Ni, Cr e Cr) nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas ficaram dentro dos limites estabelecidos pela EPA e pela Legislação Espanhola, para a aplicação do lodo na agricultura (Tabela 3.5).

Zinco, manganês e cobre são micronutrientes encontrados no lodo. De acordo com a SANEPAR (1997), quando o lodo de esgoto é aplicado no solo em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, as necessidades de micronutrientes são também supridas.

É possível que a elevada concentração do metal ferro encontrada nas amostras de lodo deva-se ao fato de haver sido aplicado cloreto férrico no reator utilizado, durante a realização do trabalho de OLIVA

* Os autores não citaram a dosagem de cal utilizada no lodo, mas a autora do presente trabalho supõe que tenha sido de 50%, tendo em vista que o lodo era proveniente da ETE Belém (Curitiba – PR), onde está sendo usada calagem a 50% para desinfetar o lodo e utilizá-lo na agricultura.

(1997), para melhorar as condições de sedimentabilidade do lodo durante a fase de partida, acumulando o metal no lodo do reator.

Outro fator que pode ter influenciado no elevado teor de ferro, é a presença de despejos industriais na rede coleta que alimentava o reator.

Tabela 5.2.6– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco):40°C – 1ª coleta.

<i>Amostra</i> (dosagem de cal aplicada)	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr
	(g/kg de lodo seco)							
Lodo bruto*	1,0	0,11	ND	0,02	29,6	0,03	0,6	0,02
0%	1,4	0,06	ND	0,03	27,3	0,05	0,5	ND
10%	1,2	0,06	ND	0,03	18,6	0,07	0,5	ND
20%	1,5	0,05	ND	0,02	21,6	0,08	0,5	ND
30%	1,2	0,02	ND	0,02	16,8	0,09	0,4	ND
40%	1,1	0,04	ND	0,02	15,2	0,10	0,4	ND
50%	1,0	0,03	ND	0,02	12,6	0,13	0,3	ND

ND: não detectado

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Tabela 5.2.7– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco):50°C – 2ª coleta.

<i>Amostra</i> (dosagem de cal aplicada)	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr
	(g/kg de lodo seco)							
Lodo bruto*	1,5	0,13	ND	0,05	10,3	0,06	0,5	0,04
0%	1,5	0,12	ND	0,05	14,0	0,06	0,5	0,04
10%	1,0	0,11	ND	0,04	11,1	0,07	0,4	0,05
20%	1,3	0,09	ND	0,04	13,0	0,08	0,4	0,04
30%	1,1	0,09	ND	0,04	9,0	0,10	0,3	0,04
40%	1,2	0,10	ND	0,05	9,5	0,10	0,3	0,04
50%	0,9	0,10	ND	0,05	5,4	0,11	0,3	0,04

ND: não detectado

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Tabela 5.2.8– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco):40°C – 3ª coleta.

<i>Amostra</i> (dosagem de cal aplicada)	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr
	(g/kg de lodo seco)							
Lodo bruto*	4,2	0,17	ND	0,06	31,4	0,07	0,5	0,02
0%	3,0	0,14	ND	0,06	31,1	0,06	0,5	0,02
10%	2,4	0,14	ND	0,06	19,1	0,08	0,5	0,04
20%	2,1	0,14	ND	0,05	18,6	0,09	0,4	0,02
30%	2,0	0,12	ND	0,05	15,8	0,10	0,4	0,01
40%	1,6	0,13	ND	0,05	17,1	0,11	0,4	0,01
50%	1,3	0,11	ND	0,05	10,9	0,11	0,3	0,01

ND: não detectado

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Tabela 5.2.9– Metais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco):50°C – 4ª coleta.

<i>Amostra</i> (dosagem de cal aplicada)	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr
	(g/kg de lodo seco)							
Lodo bruto*	1,8	0,13	ND	0,06	38,5	0,07	0,5	0,04
0%	2,3	0,12	ND	0,05	32,3	0,06	0,5	0,03
10%	1,5	0,11	ND	0,05	21,1	0,08	0,4	0,03
20%	1,4	0,10	ND	0,05	21,7	0,09	0,4	0,04
30%	1,4	0,09	ND	0,05	19,0	0,09	0,4	0,03
40%	1,6	0,10	ND	0,05	16,7	0,10	0,4	0,03
50%	1,3	0,10	ND	0,05	16,6	0,11	0,3	0,02

ND: não detectado

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

5.2.8- Potássio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas

Não houve variação considerável nas concentrações de potássio obtidas nas coletas realizadas. Sua concentração média foi de 1,4g/kg de lodo seco, tendo seu valor máximo de 1,8 e mínimo de 1,0g/kg.

Tabela 5.2.10- Potássio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas- digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
	Potássio (K, g/kg de lodo seco)			
Lodo bruto*	1,0	1,2	1,3	1,3
0%	1,5	1,4	1,6	1,4
10%	1,8	1,2	1,5	1,6
20%	1,6	1,1	1,6	1,4
30%	1,4	1,0	1,5	1,6
40%	1,5	1,1	1,4	1,4
50%	1,3	1,0	1,3	1,4

* A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Segundo a SANEPAR (1997), por ser muito solúvel, pouco do potássio presente nos esgotos sanitários fica retido no lodo, por isso seu teor de potássio no lodo é baixo, sendo um macronutriente a ser fornecido pela suplementação de fertilizantes minerais. Mesmo o lodo apresentando baixos teores de potássio, 100% deste nutriente é considerado assimilável.

5.2.9- Sódio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas

As concentrações de sódio variaram sobremaneira nas coletas realizadas. Os valores médios obtidos na primeira, segunda, terceira e quarta coleta, foram 1,46; 0,63; 1,71 e 1,57g/kg de lodo seco,

respectivamente. Na segunda coleta, a média da concentração de sódio foi menor que a metade encontrada nas demais coletas.

Tabela 5.2.11– Sódio nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
	Sódio (Na ⁺ , g/kg de lodo seco)			
Lodo bruto*	1,0	0,7	1,6	1,5
0%	1,4	0,7	1,7	1,6
10%	2,0	0,6	1,8	1,7
20%	1,6	0,6	1,8	1,6
30%	1,4	0,6	1,8	1,6
40%	1,5	0,6	1,7	1,5
50%	1,3	0,6	1,6	1,5

* A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

5.2.10- Sulfato nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas

Segundo SULCEK & POVONDRA (1989), a dissolução de sólidos com emprego de ácido nítrico não deve ser utilizado para determinação de sulfato. Este procedimento de decomposição não é recomendado para tal fim, pois, durante a dissolução, há a formação de sulfato e variadas quantidades de elementos e compostos sulfurosos.

Assim, com a interferência do ácido nítrico, os resultados obtidos, durante a realização deste trabalho, são válidos apenas para fins comparativos.

Examinando a Tabela 5.2.12, pôde ser observado que houve redução do teor de sulfato com a utilização de dosagem maior de cal. Este comportamento foi verificado em todas as coletas realizadas.

Tabela 5.2.12– Sulfato nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas - digestão com ácido nítrico (g/kg de lodo seco).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
	Sulfato (SO_4^{-2} , g/kg de lodo seco)			
Lodo bruto*	17	32	43	39
0%	52	40	44	44
10%	50	40	40	39
20%	47	29	39	33
30%	44	26	33	31
40%	38	36	34	33
50%	36	20	26	27

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Foi verificado também que o teor de sulfato no lodo bruto da primeira coleta diferiu sensivelmente com a obtida na amostra calada a 0%. Este fato pode ser atribuído a um erro de leitura, durante o ensaio.

Na Figura 5.2.4, pode ser observada a variação do sulfato nas amostras estudadas

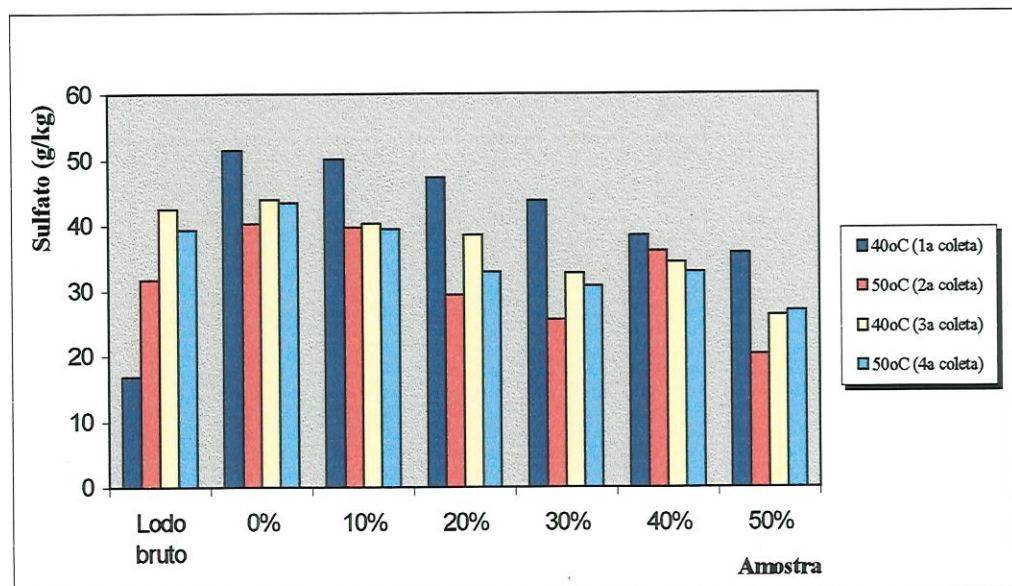


Figura 5.2.4- Sulfato nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas.

5.2.11- Cálcio nas amostras de lodo bruto

A concentração de cálcio variou sensivelmente nas amostras de lodo bruto coletadas, variando de 2,3 a 7,5g/kg de lodo seco. O valor máximo obtido foi cerca de três vezes superior ao valor mínimo, como é verificado na Tabela 5.2.13.

O cálcio é outro macronutriente encontrado no lodo de esgoto. O lodo tratado com cal contém bastante cálcio e pode influenciar na reação do solo, determinando aumento do pH (SANEPAR, 1997).

Tabela 5.2.13- Cálcio nas amostras de lodo bruto* (g/kg de lodo seco).

<i>Temperatura utilizada no tratamento térmico</i>	<i>Ca⁺² (g/kg de lodo seco)</i>
40°C (1ª coleta)	2,3
50°C (2ª coleta)	3,1
40°C (3ª coleta)	7,5
50°C (4ª coleta)	4,7

* A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

5.2.12- Comparação do lodo bruto produzido no reator anaeróbio de manta de lodo (EESC-USP) com lodos de Brasília e do Paraná

Na Tabela 5.2.14, são apresentadas as características do lodo bruto produzido no Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (EESC-USP), dos lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Esgotos de Brasília* (CAESB) e do lodo produzido no Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado no Paraná (SANEPAR), para que pudessem ser feitas comparações entre os mesmos.

* Em CAESB/EMATER (s.d.), não foi especificado o tratamento utilizado nas ETEs de Brasília.

Tabela 5.2.14- Características físico-químicas do lodo do reator anaeróbio de manta de lodo (EESC-USP) e dos lodos da CAESB e da SANEPAR.

<i>Característica</i>	<i>EESC-USP</i>	<i>CAESB¹</i>	<i>SANEPAR²</i>
pH	6,5 – 7,0	7,8 – 8,0	6,1
Nitrogênio (% ou g/100g de lodo seco)	3,8 – 4,2	4,5 – 6,5	2,2
Zinco (g/kg de lodo seco)	1,0 – 4,2	0,5 – 0,8	0,5
Chumbo (g/kg de lodo seco)	0,11 – 0,17	0,05	0,06
Cádmio (g/kg de lodo seco)	ND	< 0,01	ND
Níquel (g/kg de lodo seco)	0,02 – 0,06	0,03	0,04
Ferro (g/kg de lodo seco)	10,3 – 38,5	20 – 40	-
Manganês (g/kg de lodo seco)	0,03 – 0,07	0,1 – 0,2	-
Cobre (g/kg de lodo seco)	0,5 – 0,6	0,1 – 0,2	0,09
Cromo (g/kg de lodo seco)	0,02 – 0,04	0,05	0,06
Potássio (g/kg de lodo seco)	1,0 – 1,3	3,0 – 4,0	3,4
Sódio (g/kg de lodo seco)	0,7 – 1,6	1,0 – 2,0	-
Cálcio (g/kg de lodo seco)	2,3 – 7,5	40 - 50	8,3

ND: valor não detectado

-: valor não fornecido

Fonte: 1- CAESB/EMATER (s.d.)

2- SANEPAR (1997)

Na maior parte dos parâmetros comparados, os valores do lodo do reator da USP estiveram dentro da faixa de valores dos lodos da CAESB e da SANEPAR ou foram menores.

A faixa de pH do reator da USP foi mais baixa que a faixa de pH do lodo da CAESB e mais elevada que o pH da SANEPAR.

As concentrações de zinco, chumbo, níquel e cobre foram superiores às encontradas no lodo bruto da CAESB e da SANEPAR, porém estão dentro dos limites estabelecidos pela EPA e pela Legislação Espanhola, para reciclagem agrícola do lodo (Tabela 3.5).

Tendo em vista que os lodos da CAESB e da SANEPAR são aplicados na agricultura, a caracterização físico-química do lodo do reator

UASB indica que o mesmo (em estado bruto), poderia ser também utilizado para fins agrícolas.

5.2.13- Reidratação das amostras

As Tabelas E, F, G e H, em anexo, apresentam os valores determinados do peso de água adicionado e o respectivo peso da amostra seca, para reidratação das amostras.

Os valores do peso de água e peso de amostra seca das Tabelas G e H foram utilizados duas vezes para cada amostra, pois, conforme comentado anteriormente, na terceira e na quarta coleta, as amostras foram reidratadas duas vezes: após 5 e 15 dias de contato com a cal.

5.2.14- pH das amostras reidratadas

Os valores do pH das amostras reidratadas são apresentados na Tabela 5.2.15.

As amostras provenientes do lodo da terceira e quarta coleta foram reidratadas duas vezes, diferindo no tempo de contato com a cal.

Observou-se que o pH das amostras reidratadas após 5 dias da adição da cal, tempo em que as mesmas permaneceram na estufa, foi praticamente igual ao pH das amostras reidratadas, após 15 dias da adição do produto.

Nas amostras reidratadas sem cal (dosagem igual a 0%), o pH foi semelhante ao do lodo bruto.

Tabela 5.2.15- pH das amostras reidratadas, após 5 (1^a, 2^a, 3^a e 4^a coleta) e 15 dias de contato com a cal (3^a e 4^a coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	pH					
	Temperatura utilizada no tratamento térmico					
	40°C (1 ^a coleta)	50°C (2 ^a coleta)	40°C (3 ^a coleta)	50°C (4 ^a coleta)	40°C (3 ^a coleta)	50°C (4 ^a coleta)
	5 dias de contato				15 dias de contato	
0%	6,8	7,0	7,0	6,4	6,9	6,2
10%	8,4	9,1	8,7	8,3	8,2	8,2
20%	8,8	10,5	9,1	9,2	9,3	9,2
30%	10,0	11,7	11,5	10,0	11,5	10,0
40%	10,9	11,9	11,5	11,1	11,6	11,0
50%	11,9	12,0	12,0	11,8	11,9	11,9

Nas amostras caladas a 50%, o pH se manteve em torno de 12; nas caladas a 40%, o pH variou de 10,9 a 11,9; nas caladas a 30%, variou de 10 a 11,7; nas caladas a 20%, variou de 8,8 a 10,5 e, nas caladas a 10%, variou de 8,2 a 9,1.

5.2.15- Bacteriologia (lodo bruto/lodo calado)

As determinações do NMP (Número Mais Provável) de coliformes fecais e *Escherichia coli* foram feitas nas amostras de lodo bruto e nas amostras reidratadas, sendo utilizada a técnica do Colilert, de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995). Esta técnica é mais freqüentemente utilizada em amostras de água de abastecimento, mas também é utilizada em amostras de esgotos sanitários.

Os resultados destes ensaios não foram coerentes, uma vez que foi observado, para a maioria das amostras analisadas, que os valores de *E. coli* foram superiores aos de coliformes fecais. Como a *E. coli* é uma

espécie pertencente ao grupo dos coliformes fecais, seu valor não poderia ser mais elevado que o dos coliformes.

CEBALLOS (1998) comenta que vários pesquisadores também têm observado resultados semelhantes em amostras de água poluídas e esgotos, atribuindo os resultados falsos-positivos à presença de *Aeromonas spp*, *Pseudomonas ssp* e *Shigella spp*.

Em virtude do aparecimento de falsos-positivos no NMP de *E. coli*, nos resultados dos ensaios de bacteriologia, foram apresentados apenas os valores de coliformes totais apenas para fins comparativos, visando analisar a diminuição dos valores de tais organismos com o aumento da adição de cal e com o aumento da temperatura.

Os valores do NMP de coliformes totais encontrados nas amostras utilizadas neste trabalho estão apresentados na Tabela 5.2.16 e a eficiência de remoção dos coliformes totais, na Tabela 5.2.17.

Tabela 5.2.16- NMP de coliformes totais por 100mℓ nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas, com 5 e 15 dias de contato com a cal.

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico							
	40°C		50°C		40°C		50°C	
	(1ª coleta)	(2ª coleta)	(3ª coleta)	(4ª coleta)	(5ª coleta)	(6ª coleta)		
	5 dias de contato	5 dias de contato	5 dias de contato	15 dias de contato	5 dias de contato	15 dias de contato		
NMP de coliformes totais/100mℓ								
Lodo bruto*	3,0x10 ⁶	9,6x10 ⁶	1,8x10 ⁷	1,5x10 ⁷				
0%	6,1x10 ⁴	1,8x10 ⁶	2,3x10 ⁵	1,4x10 ⁵	4,3x10 ⁴	3,0x10 ⁴		
10%	3,3x10 ⁵	4,1x10 ⁵	1,3x10 ⁵	7,7x10 ⁵	5,5x10 ³	3,8x10 ²		
20%	4,4x10 ²	2,8x10 ³	1,0x10 ²	3,7x10 ³	1,0x10 ²	1,2x10 ²		
30%	8,5x10 ³	7,1x10 ²	2,0x10	4,6x10 ²	2,0x10 ²	2,0x10 ²		
40%	1,1x10 ³	1,0x10 ²	ND	ND	9,5x10 ²	2,0x10 ²		
50%	1,2x10 ³	ND	ND	ND	1,2x10 ³	4,1x10		

* A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico
ND: valor não detectado com diluição de 1:10.

Tabela 5.2.17- Eficiência de remoção de coliformes totais nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas, com 5 e 15 dias de contato com a cal.

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico							
	40°C		50°C		40°C		50°C	
	(1ª coleta)	(2ª coleta)	(3ª coleta)	(4ª coleta)	(5ª coleta)	(6ª coleta)		
	5 dias de contato	5 dias de contato	5 dias de contato	15 dias de contato	5 dias de contato	15 dias de contato		
Eficiência de remoção de coliformes totais (%)								
0%	98,0	81,3	98,7	99,2	99,7	99,8		
10%	89,0	95,7	99,3	95,7	99,96	99,997		
20%	99,99	99,97	99,999	99,98	99,999	99,999		
30%	99,7	99,99	99,9999	99,997	99,999	99,999		
40%	99,96	99,999	ND	ND	99,99	99,999		
50%	99,96	ND	ND	ND	99,99	99,9997		

ND: valor não detectado com diluição de 1:10.

Da Tabela 5.2.16, comparando os valores do lodo bruto com os valores das amostras caladas a 0%, verificou-se que houve diminuição no NMP de coliformes totais. Este comportamento evidenciou a influência das temperaturas de 40 e 50°C, durante pelo menos 5 dias, na remoção das bactérias do grupo coliformes.

Alguns resultados, porém, foram contraditórios, pois, com o aumento da quantidade do desinfetante (cal), foi verificado o aumento do NMP dos coliformes. Este fato pode ser atribuído, principalmente, à alta quantidade de sólidos presentes nas amostras, interferindo na leitura dos resultados, pois o método utilizado é recomendável apenas para águas de abastecimento e esgotos sanitários, cujas amostras apresentam baixo teor de sólidos, principalmente se comparadas às amostras de lodo.

Examinando a Tabela 5.2.17, foi verificada também tendência de redução do NMP de coliformes totais, com o aumento da dosagem de cal, porém não houve aumento significativo na eficiência de



remoção de tais organismos com o aumento do tempo de contato com a cal, de 5 para 15 dias.

Observou-se que os resultados que apresentaram maiores eficiências de remoção de coliformes totais foram os das amostras caladas com dosagens de 30; 40 e 50% de cal. Relacionou-se esse resultado satisfatório ao pH em torno de 12 dessas amostras, logo após a calagem (Tabelas A, B, C e D – Anexos).

5.2.16- Parasitologia (lodo bruto/lodo calado)

Os resultados da pesquisa qualitativa de protozoários e helmintos encontrados no lodo são apresentados nas Tabelas 5.2.18 e 5.2.19.

As dosagens de 40 e 50% de cal apresentaram os resultados mais seguros quanto à ausência de organismos patogênicos, para as duas temperaturas estudadas, mesmo com o tempo de contato de 5 dias.

A dosagem de 30% de cal apresentou resultado bom para a temperatura de 50°C, independente dos tempos de contato utilizados. Porém, para a temperatura de 40°C, o tempo de contato deve ser em torno de 15 dias para a obtenção de resultados satisfatórios.

Mesmo com o tratamento térmico e com o tempo de contato de 15 dias, as dosagens de 0; 10 e 20% de cal não apresentaram bons resultados na remoção dos organismos patogênicos. Este fato corrobora com o comentário, mencionado anteriormente, da necessidade que as amostras tenham pH em torno de 12 ou superior, de maneira a eliminar organismos patogênicos.

Tabela 5.2.18– Protozoários e helmintos encontrados nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas após 5 dias de contato com a cal (1ª, 2ª, 3ª e 4ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico			
	40°C (1ª coleta)	50°C (2ª coleta)	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
Lodo bruto*	<i>Entamoeba coli</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Necator americanus</i>	<i>Entamoeba coli</i> <i>Giardia lamblia</i>	<i>Entamoeba coli</i>	<i>Entamoeba coli</i> <i>Paramecium sp</i> <i>Necator americanus</i>
0%	<i>Necator americanus</i>	<i>Entamoeba coli</i> <i>Strongyloides stercoralis</i>	<i>Strongyloides stercoralis</i>	<i>Entamoeba coli</i>
10%	-	<i>Strongyloides stercoralis</i>	-	<i>Paramecium sp</i>
20%	<i>Entamoeba coli</i>	-	<i>Necator americanus</i>	<i>Entamoeba coli</i>
30%	<i>Giardia lamblia</i> <i>Necator americanus</i>	-	-	-
40%	-	-	-	-
50%	-	-	-	-

*A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Tabela 5.2.19–Protozoários e helmintos encontrados nas amostras de lodo bruto e nas amostras caladas após 15 dias de contato com a cal (3ª e 4ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Temperatura utilizada no tratamento térmico	
	40°C (3ª coleta)	50°C (4ª coleta)
Lodo bruto*	<i>Entamoeba coli</i> <i>Strongyloides stercoralis</i> <i>Necator americanus</i>	<i>Entamoeba coli</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Paramecium sp</i>
0%	-	<i>Entamoeba coli</i>
10%	-	-
20%	-	<i>Entamoeba coli</i>
30%	-	-
40%	-	-
50%	-	-

* A amostra de lodo bruto não foi submetida ao tratamento térmico

Assim, o lodo do reator UASB utilizado nesta pesquisa, poderia ser disposto na agricultura, desde que fosse previamente submetido a tratamento químico com adição de cal, utilizando dosagem de 30%, permanecesse 15 dias em contato com a cal, e fosse submetido a tratamento térmico a 50°C, por 5 dias, a fim de obter condições sanitárias que não prejudiquem a saúde do homem e dos animais. Porém sugere-se estudos com maior número de amostras, para permitir análise estatística mais segura.

5.3- Fase III: Desidratação do lodo proveniente do reator anaeróbio de manta de lodo em leitos de secagem convencional e não-convencional

Os resultados do monitoramento dos leitos de secagem, tanto para o líquido percolado, quanto para o lodo, são apresentados nas Tabelas 5.3.1 e 5.3.2.

Tabela 5.3.1- Monitoramento dos leitos de secagem: características do líquido percolado.

Característica da secagem (tipo de leito de secagem)	Amostra	Tempo decorrido da colocação do lodo bruto	Líquido percolado					
			DQO (mg/l)	ST (mg/kg)	SF (mg/kg) (%)		SV (mg/kg) (%)	
-	Lodo bruto	2 horas	361,0	218	114	52	104	48
Não-convencional: estufa a 50oC	1	1 dia	-	-	-	-	-	-
	2	5 dias	-	-	-	-	-	-
	3	10 dias	-	-	-	-	-	-
Convencional: descoberto	1	5 dias	276	265	133	50	133	50
	2	15 dias	63	324	214	66	110	34
	3	25 dias	132	819	356	54	463	46
Convencional: coberto	1	5 dias	385	239	0	0	239	100
	2	15 dias	77	180	107	59	73	41
	3	25 dias	40	192	103	54	89	46

Tabela 5.3.2- Monitoramento dos leitos de secagem: características do lodo.

Característica da secagem (tipo de leito de secagem)	Amostra	Tempo decorrido da colocação do lodo bruto	Lodo						
			u (%)	Teor de sólidos (%)	ST (g/kg)	SF (g/kg)	SF (%)	SV (g/kg)	SV (%)
-	Lodo bruto	-	97,2	2,8	28	11	38	17	62
Não-convencional: estufa a 50oC	1	1 dia	78,2	21,8	218	92	42	92	58
	2	5 dias	6,3	93,7	937	381	41	557	59
	3	10 dias	4,9	95,1	951	409	43	542	57
Convencional: descoberto	1	5 dias	75,5	24,5	245	103	42	142	58
	2	15 dias	71,6	28,4	284	120	42	164	58
	3	25 dias	71,5	28,5	285	130	45	155	55
Convencional: coberto	1	5 dias	79,4	20,6	206	88	43	118	57
	2	15 dias	70,4	29,6	296	126	43	170	57
	3	25 dias	65,1	34,9	349	154	44	195	56

5.3.1- Tempo de secagem

O tempo de secagem nos leitos de secagem convencionais (descoberto e coberto) variou de 5 a 25 dias e o dos leitos de secagem não-convencionais variou de 1 a 10 dias.

5.3.2- Sólidos no líquido percolado

Nos leitos de secagem descobertos, a concentração de sólidos totais no líquido percolado, com tempo de secagem de 5 e 15 dias foi de 0,3g/kg de lodo seco e, com tempo de 25 dias, aumentou para 0,8g/kg. No entanto, no líquido percolado nos leitos de secagem cobertos, a concentração de sólidos permaneceu da ordem de 0,2g/kg durante os tempos de secagem estudados.

Durante tempo de secagem de 15 e 25 dias, ocorreram freqüentes chuvas. Com isto, a água das chuvas penetrou no leito de secagem descoberto, pelos vazios que se formaram durante a secagem, carregando consigo certa quantidade de sólidos do lodo. Por isso houve aumento na quantidade de sólidos no tempo de secagem de 25 dias.

5.3.3- DQO do líquido percolado

A DQO média do líquido percolado dos leitos de secagem convencionais descobertos foi de 157mg/l, com mínimo e máximo de 63 e 276mg/l, no tempo de secagem de 15 e 5 dias, respectivamente. Enquanto que a DQO média do líquido percolado dos leitos de secagem convencionais cobertos foi de 167mg/l, com mínimo e máximo de 40 e 385mg/l, no tempo de secagem de 25 e 5 dias, respectivamente.

Percebeu-se que a DQO do líquido percolado dos leitos de secagem cobertos diminuiu com o tempo de secagem, enquanto que a DQO aumentou no leito descoberto, após tempo de 15 dias. Possivelmente este

aumento ocorreu por causa do aumento na quantia de sólidos totais, devido às freqüentes chuvas que provocaram arraste de partículas através do meio filtrante, influenciando sobremaneira no valor da DQO do líquido percolado.

A variação da DQO no líquido percolado nos leitos descoberto e coberto pode ser observada na Figura 5.3.1.

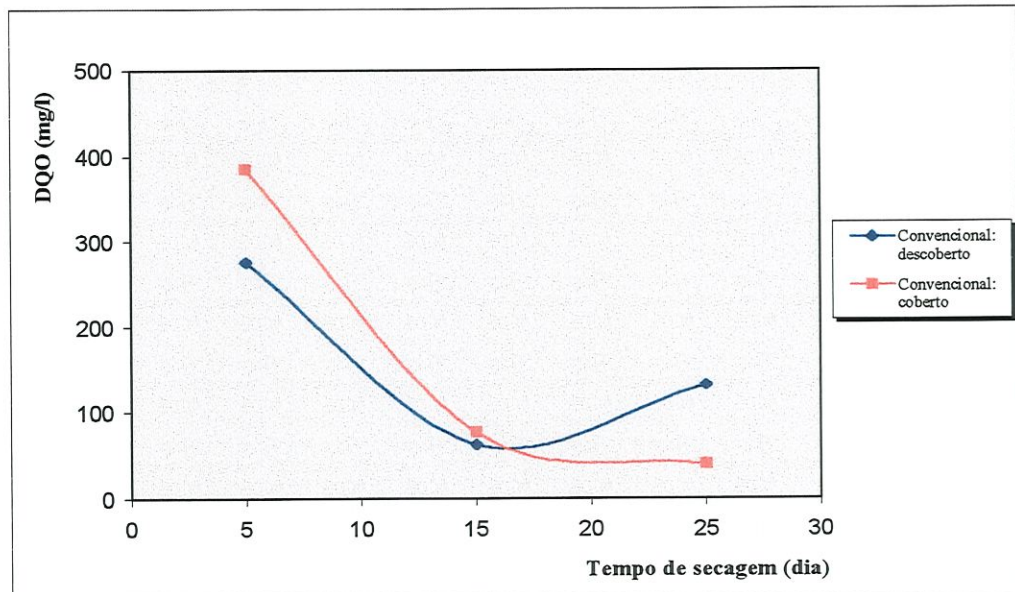


Figura 5.3.1- DQO do líquido percolado nos leitos de secagem convencionais descoberto e coberto.

5.3.4- Teor de sólidos no lodo

O teor de sólidos no lodo foi monitorado durante sua desidratação, sendo os resultados dos três tipos de leito de secagem apresentados na Figura 5.3.2.

Os valores mais altos foram 93,7 e 95,1%, que foram obtidos nos leitos de secagem não-convencionais, nos tempos de secagem de 5 e 10 dias, respectivamente. Porém a diferença não foi significativa entre os teores de sólidos nesses dois tempos de secagem.

Com tempo de secagem de 5; 10 e 15 dias, o teor de sólidos, nos leitos de secagem descobertos, variou de 24,5 a 28,5% e, nos leitos de secagem cobertos, variou de 20,6 a 34,9%. Desta forma, foi

observado que o teor de sólidos nos leitos cobertos foi superior ao dos leitos descobertos, devido ao período de chuvas freqüentes, que interferiu nos resultados dos leitos de secagem descobertos.

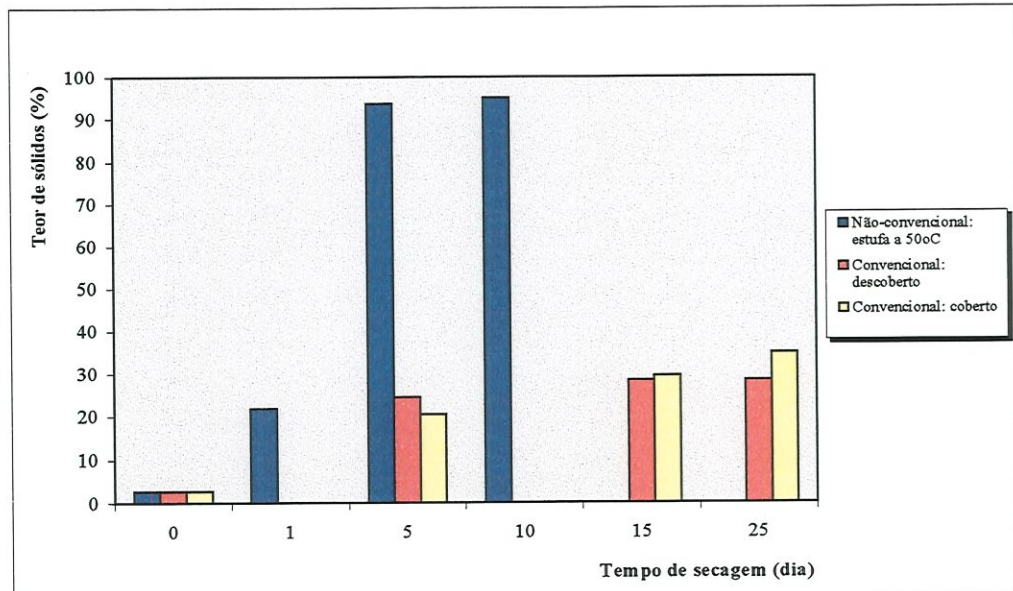


Figura 5.3.2- Teor de sólidos do lodo nos leitos de secagem.

5.3.5- Sólidos fixos e voláteis no lodo

Assim como no lodo bruto, os sólidos fixos e voláteis no lodo, após os tempos de secagem estudados, representaram 40 e 60% dos sólidos totais, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos nesta parte do trabalho, verificou-se que, em 25 dias, pôde-se ter de 29 a 35% de sólidos no lodo dos leitos de secagem convencionais, enquanto que a 50°C, obteve-se lodo com 93,5% de sólidos, nos leitos de secagem não-convencionais, em apenas 5 dias.

6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados dos ensaios, análises e determinações realizados ao longo do período experimental deste trabalho, foram obtidas as seguintes conclusões:

- A energia resultante da queima do biogás gerado por uma pessoa é suficiente para aquecer significativamente o lodo produzido pela mesma. Desta forma, teoricamente, o lodo de um reator UASB pode ser total ou parcialmente seco mediante queima do biogás produzido, resultando em redução significativa do tempo de secagem;
- A situação mais desfavorável para secagem do lodo é quando o teor de umidade é mais elevado. Com a queima do biogás, é possível manter a temperatura em 49°C, para lodo com umidade de 99%; em 77°C, para lodo com umidade de 98%; e em 100°C para lodo com umidade igual ou inferior a 97%, demonstrando a potencialidade do uso do biogás na secagem do lodo anaeróbio. Porém não foram consideradas as perdas no sistema de queima e a distribuição do calor no leito que podem ocorrer em uma instalação real, nos cálculos das temperaturas;
- Com o aproveitamento do biogás, o tempo de secagem dos lodos com teor de umidade na faixa de 98 a 90% seria da ordem de 1 dia, e, para lodos com teor de umidade de 99%, o tempo de secagem seria em torno

de 5 dias. Esses valores são bastante satisfatórios, visto que em leitos de secagem convencionais, o tempo de secagem varia de 20 a 30 dias;

- Independentemente da temperatura (40 ou 50°C) utilizada na desidratação térmica e do teor de umidade do lodo bruto, após 5 dias, obteve-se amostras secas com teor de umidade final de praticamente zero a 2,2%;
- O uso do tratamento térmico (40 ou 50°C), durante 5 dias, reduziu sensivelmente o volume e o peso das amostras de lodo. Assim o custo de transporte do lodo ao destino final seria bem mais acessível, que se o mesmo não tivesse passado pelo processo de desidratação;
- O efeito alcalinizante da cal, nas amostras de lodo de esgoto, eleva o pH das mesmas rapidamente e o mantém elevado por pelo menos uma hora. Após 5 dias, o pH nas amostras já secas é reduzido um pouco e se mantém estabilizado por, pelo menos, mais 10 dias;
- O lodo do reator UASB utilizado neste trabalho é classificado como de Classe B, segundo a classificação da U.S.EPA, devido à presença de patógenos;
- O tratamento térmico do lodo, simultaneamente com o tratamento químico com cal, é benéfico na remoção de coliformes totais, protozoários e helmintos;
- Houve redução do valor do NMP de coliformes totais, com o aumento da dosagem de cal, porém não houve aumento significativo na eficiência de remoção de tais organismos com o aumento do tempo de contato com a cal, de 5 para 15 dias;

- Os resultados que apresentaram maiores eficiências de remoção de coliformes totais foram os das amostras caladas com dosagens de 30; 40 e 50% de cal, possivelmente devido ao pH em torno de 12 dessas amostras, logo após a calagem;
- As dosagens de 40 e 50% de cal apresentaram os resultados mais seguros quanto à ausência de protozoários e helmintos, para as temperaturas de 40 e 50°C, mesmo com o tempo de contato de 5 dias;
- A dosagem de 30% de cal apresentou resultado bom na remoção de protozoários e helmintos, para a temperatura de 50°C, independente dos tempos de contato utilizados. Porém, para a temperatura de 40°C, o tempo de contato deve ser em torno de 15 dias para a obtenção de resultados satisfatórios;
- As dosagens de 0; 10 e 20% de cal não apresentaram bons resultados na remoção de protozoários e helmintos presentes no lodo, mesmo com 15 dias de contato com a cal;
- Com base na caracterização do lodo e nos resultados obtidos com o uso simultâneo do tratamento químico, com dosagem de 30% de cal (com tempo de contato com a cal de 15 dias), e do tratamento térmico com temperatura de 50°C (durante 5 dias), o lodo do reator UASB, utilizado neste trabalho, poderia ser aplicado em solos para reflorestamento, plantio de árvores frutíferas, plantas ornamentais e produtos agrícolas que não sejam consumidos crus, sem haver problemas de contaminação ambiental por organismos patogênicos ou metais pesados;
- A utilização, em escala de laboratório, de leitos de secagem não-convencionais, cuja fonte de calor advém da queima do biogás, considerando que o lodo atinge 50°C com a queima desse gás, requis

apenas 5 dias de secagem para que no lodo fosse obtido 93,5% de teor de sólidos, ou seja, lodo quase totalmente seco. Enquanto que, nos leitos de secagem convencionais cobertos e descobertos (em escala de laboratório), obteve-se lodo com 28,5 a 34,9% de sólidos, respectivamente, em 25 dias de secagem;

- Em regiões onde há períodos de chuvas freqüentes, pode ser conveniente o uso de leitos de secagem convencionais cobertos para a desidratação de lodo, devendo ser elaborado estudo técnico-econômico para verificação da viabilidade do uso deste tipo de leito de secagem.

Tendo em vista pesquisas futuras com lodo, recomendam-se:

- Construção e operação de um leito de secagem não-convencional, em escala real, utilizando a queima do biogás ou outro gás combustível, na desidratação de lodos;
- Estudo da viabilidade técnico-econômica da desinfecção química com cal, simultaneamente, com a desinfecção térmica, visando redução do número de organismos patogênicos e volume do lodo, assim como redução dos custos de transporte do lodo da ETE ao destino final.

7- ANEXOS

Tabela A - Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) - 40°C (1ª coleta).

Preparação das cápsulas:		Umidade do lodo bruto: 97,7011%		Temperatura da estufa: 40°C 1ª coleta			pH amostras caladas		Após 5 dias
% cal peso de cal	Cápsula	Conjunto	Po (cápsula)	P1 (Po+cal)	P2 (P1+lodo)	P3 (após secagem)	pH	Hora adição lodo Hora medição do pH	Umidade (%)
50 (g) 0,4598	1	A	39,8282	40,2880	79,2525	40,9000	12,2	15:10	-0,7282
	2		39,9882	40,4478	80,2766	41,3750		16:15	0,0291
	3		38,2005	38,6611	78,7514	39,7614			0,4457
	4		36,8411	37,3015	76,6553	38,5637			0,9084
	5		39,0922	39,5587	79,1510	40,7801			0,7860
	6		36,8526	37,3130	77,2696	38,5168			0,7139
40 (g) 0,3678	1	B	32,1389	32,5071	71,9213	33,6881	12,1	15:15	0,6975
	2		37,7135	38,0822	78,2241	39,3435		16:25	0,8432
	3		32,9719	33,3396	73,1745	34,7741			1,3022
	4		36,1050	36,4738	76,2458	37,8744			1,2227
	5		36,4158	36,7839	77,0224	38,2039			1,2301
	6		34,0239	34,3917	74,3983	35,7590			1,1188
30 (g) 0,2759	1	C	33,9756	34,2513	73,3463	35,5247	11,9	15:20	0,9583
	2		35,2824	35,5593	75,1695	36,9400		16:30	1,1868
	3		36,1808	36,4568	76,2596	37,8468			1,1933
	4		33,2691	33,5450	73,4812	35,0238			1,4040
	5		32,2145	32,4906	72,2832	33,9650			1,4063
	6		35,7487	36,0246	75,7754	37,4570			1,3045
20 (g) 0,1839	1	D	37,4590	37,6428	77,9304	38,8729	11,3	15:25	0,7544
	2		36,4684	36,6527	76,7321	38,0480		16:40	1,1824
	3		37,2511	37,4345	77,4828	39,0329			1,6923
	4		41,7669	41,9511	81,8305	43,6349			1,9233
	5		38,0091	38,1935	78,1357	39,1570			0,1133
	6		32,2704	32,4546	72,3465	33,5121			0,3520
10 (g) 0,0920	1	E	33,7264	33,8190	73,1546	34,7145	10,1	15:30	-0,0223
	2		36,6095	36,7020	76,4009	37,8924		16:45	0,6997
	3		34,2647	34,3574	73,9491	35,4790			0,5340
	4		36,4261	36,5178	76,1381	37,6817			0,6387
	5		32,2345	32,3271	71,8581	33,5327			0,7509
	6		34,3029	34,3957	74,3517	35,7999			1,2155
0 -	1	F	37,5532	Po	77,4280	39,0469	7,0	15:35	1,4471
	2		43,8132	Po	83,4042	45,2219		17:00	1,2592
	3		34,4891	Po	74,6763	35,9616			1,3652
	4		36,1911	Po	80,7952	37,8250			1,3642
	5		40,3803	Po	80,0507	41,9058			1,5465
	6		39,0176	Po	79,1619	40,5050			1,4062

Tabela B- Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) - 50°C (2ª coleta).

Preparação das cápsulas:		Umidade do lodo bruto: 92,4315%		Temperatura da estufa: 50°C 2ª coleta			pH amostras caladas		Após 5 dias
% cal peso de cal	Cápsula	Conjunto	Po (cápsula)	P1 (Po+cal)	P2 (P1+lodo)	P3 (após secagem)	pH	Hora adição lodo Hora medição do pH	Umidade (%)
50 (g) 1,5137	1	A	39,8313	41,3445	77,4073	44,2706	12,5	17:22	0,5454
	2		39,9904	41,5038	80,8450	44,6545		18:47	0,4402
	3		38,2023	39,7165	78,2667	42,7242			0,2335
	4		36,8445	38,3588	76,5417	41,3785			0,3400
	5		39,1028	40,6170	79,9702	43,7527			0,3996
	6		36,8543	38,3681	77,5592	41,5268			0,4912
40 (g) 1,211	1	B	32,1398	33,3500	70,8987	36,3899	12,5	17:37	0,5274
	2		37,7158	38,9277	77,2516	41,9686		18:51	0,3662
	3		32,9732	34,1847	72,0830	37,2160			0,4300
	4		36,1073	37,3188	75,7907	40,4265			0,5093
	5		35,4166	36,6268	74,2129	39,5765			0,2793
	6		34,0261	35,2377	73,0261	38,3733			0,7293
30 (g) 0,9082	1	C	33,9769	34,8863	70,3073	37,8764	12,5	17:56	0,8731
	2		35,2841	36,1917	73,4284	39,3464		18:54	0,9035
	3		36,1825	37,0907	74,8557	40,2906			0,9047
	4		33,2713	34,1802	71,1331	37,3049			0,8874
	5		30,8373	31,7457	69,5691	34,8901			0,7449
	6		35,7498	36,6577	74,0746	39,8056			0,8445
20 (g) 0,6055	1	D	37,4606	38,0657	75,7426	41,1533	12,5	18:14	0,6264
	2		36,4705	37,0770	75,2691	40,2317		19:00	0,6916
	3		37,2550	37,8614	74,1651	40,8450			0,6499
	4		41,7725	42,3782	79,3588	45,4493			0,7361
	5		38,0140	38,6192	76,4735	41,7671			0,7473
	6		32,2720	32,8776	69,9189	36,1279			1,2063
10 (g) 0,3027	1	E	33,7270	34,0289	68,3334	36,9225	11,6	18:28	0,8665
	2		36,6095	36,9129	72,5121	39,8752		19:04	0,7528
	3		34,2655	34,5690	71,4894	37,6428			0,7570
	4		36,4353	36,7374	75,8279	39,9498			0,6494
	5		32,2364	32,5388	71,0325	35,7169			0,6877
	6		34,3039	34,6063	72,7444	37,7214			0,5994
0 -	1	F	37,5548	Po	75,7623	40,6398	6,5	18:42	0,5058
	2		43,8154	Po	81,3981	46,8419		19:08	0,4844
	3		34,4900	Po	71,2676	37,4720			0,5397
	4		36,1931	Po	75,2188	39,3195			0,4426
	5		40,3840	Po	77,4944	43,3746			0,4902
	6		39,0195	Po	75,1629	41,9809			0,6250

Tabela C- Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) - 40°C (3ª coleta).

Preparação das cápsulas:		Umidade do lodo bruto: 96,6860%		Temperatura da estufa: 40°C 3ª coleta			pH amostras caladas		Após 5 dias
% cal peso de cal	Cápsula	Conjunto	Po (cápsula)	P1 (Po+cal)	P2 (P1+lodo)	P3 (após secagem)	pH	Hora adição lodo Hora medição do pH	Umidade (%)
50 (g) 0,6628	1	A	39,8302	40,4934	79,6324	42,0608	12,3	10:45	0,6907
	2		39,9898	40,6524	80,3778	42,1092		11:20	0,3532
	3		38,2013	38,8641	79,0129	40,3121			0,2926
	4		36,8433	37,5059	77,6396	39,0958			0,6475
	5		39,1018	39,7654	79,4115	41,3527			0,6897
	6		36,8538	37,5174	77,4009	39,1615			0,8083
40 (g) 0,5302	1	B	32,1392	32,6700	72,5772	34,6062	12,3	11:25	1,5378
	2		37,7164	38,2466	79,0004	40,1429		11:23	1,3391
	3		32,9727	33,5031	73,5834	35,2011			0,9225
	4		36,1058	36,6366	75,7706	38,3572			1,0827
	5		35,4152	36,9457	76,8770	38,6298			0,9035
	6		34,0249	34,5554	74,2053	36,2523			0,9657
30 (g) 0,3977	1	C	33,9762	34,3746	73,8392	35,9066	12,2	11:00	0,5680
	2		35,2835	35,6815	75,4545	37,0455		11:26	0,1155
	3		36,1817	36,5797	75,5926	38,0745			0,5176
	4		33,2707	33,9678	74,6654	35,5748			0,6346
	5		30,8360	31,2342	70,7012	32,8467			0,7717
	6		35,7489	36,1474	76,1535	37,7476			0,6859
20 (g) 0,2651	1	D	37,4603	37,7263	77,2720	39,3542	12,0	12:22	0,8025
	2		36,4702	36,7350	75,8832	38,2410		12:48	0,5329
	3		37,2538	37,5194	78,3035	38,9772			0,2604
	4		41,7726	42,0383	81,2505	43,4884			0,3841
	5		38,0138	38,2783	78,5951	39,9444			0,8185
	6		32,2709	32,5358	72,8647	34,2623			0,9670
10 (g) 0,1326	1	E	33,7270	33,8591	73,4039	35,6896	10,8	12:29	1,3149
	2		36,6098	36,7428	76,9804	38,5266		12:51	1,1192
	3		34,2652	34,3969	73,3732	36,0750			0,9914
	4		36,4391	36,5626	75,4989	38,2996			1,1471
	5		32,2354	32,3687	72,3523	34,1654			1,1796
	6		34,3037	34,4355	74,1657	36,1132			0,9087
0 -	1	F	37,5542	Po	77,9866	39,6496	6,8	12:35	1,8685
	2		43,8160	Po	84,0012	45,7877		12:45	1,5925
	3		34,4891	Po	74,0691	36,2567			1,1519
	4		36,1926	Po	76,7164	38,0074			1,1644
	5		40,3848	Po	80,1431	42,3147			1,5401
	6		39,0195	Po	80,0535	40,8399			1,1223

Tabela D- Desidratação das amostras caladas com o efeito do tratamento térmico (5 dias na estufa) - 50°C (4ª coleta).

Preparação das cápsulas:		Umidade do lodo bruto: 94,7136%		Temperatura da estufa: 50°C 4ª coleta			pH amostras caladas		Após 5 dias
% cal	Cápsula	Conjunto	Po (cápsula)	P1 (Po+cal)	P2 (P1+lodo)	P3 (após secagem)	pH	Hora adição lodo Hora medição do pH	Umidade (%)
50 (g) 1,05728	1	A	39,8309	40,8889	79,2689	43,6550	12,4	10:22	1,9207
	2		39,9899	41,0475	80,0553	43,8244		13:25	1,8324
	3		38,2008	39,2572	78,4925	42,0060			1,7195
	4		36,8439	37,9005	77,6582	40,3910			0,9778
	5		39,1017	40,1589	78,7379	42,7412			1,4071
	6		36,8537	37,9118	76,4702	40,7246			2,0085
40 (g) 0,8458	1	B	32,1394	32,9851	69,1618	35,5869	12,3	10:30	1,9055
	2		37,7162	38,5623	77,7646	41,3757		13:32	1,8902
	3		32,9720	33,8180	73,0846	36,7388			2,1520
	4		36,1057	36,9521	76,1914	39,6295			1,5369
	5		36,4161	37,2617	75,7737	40,0340			1,9121
	6		34,0242	34,8709	73,7834	37,7708			2,1660
30 (g) 0,6344	1	C	33,9759	34,6102	74,2457	37,2454	12,2	10:40	1,3622
	2		35,2828	35,9174	75,4203	38,5562		13:40	1,3936
	3		36,1811	36,8160	76,5067	39,4897			1,4499
	4		33,2712	33,9056	73,1395	36,5769			1,5223
	5		30,8369	31,4716	71,0599	34,1430			1,4616
	6		35,7490	36,3833	76,3973	39,1069			1,5202
20 (g) 0,4229	1	D	37,4595	37,8832	77,3412	40,2931	12,2	11:00	0,8211
	2		36,4692	36,8931	73,3126	39,0732		13:51	0,6997
	3		37,2539	37,6774	77,2877	40,0439			0,6881
	4		41,7717	42,1936	82,4646	44,5610			0,5923
	5		38,0149	38,4385	77,9086	41,2447			1,8233
	6		32,2706	32,6937	72,5715	35,4173			1,5435
10 (g) 0,2115	1	E	33,7267	33,9387	73,5835	36,5669	10,9	11:10	1,3430
	2		36,6090	36,8200	75,9059	39,3341		13:58	1,1458
	3		34,2650	34,4765	73,8302	37,0672			1,2967
	4		36,4285	36,6406	76,2862	39,4090			1,6965
	5		32,2347	32,4468	71,7718	34,9957			1,1952
	6		34,3039	34,5151	74,2816	37,1513			1,3428
0 -	1	F	37,5546	Po	77,3738	39,9786	6,6	10:50	0,8011
	2		43,8157	Po	83,5728	46,3381		14:05	1,0581
	3		34,4887	Po	74,3988	37,0936			1,2405
	4		36,1922	Po	75,3260	38,7485			1,2458
	5		40,3853	Po	79,9562	43,0474			1,4410
	6		39,0196	Po	78,6322	41,6390			1,3261

Tabela E- Quantidade de lodo seco (P_s) e água (P_a) utilizados no procedimento de reidratação: 40°C (1ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Lodo seco (g) $P_s = P_3 - P_0$	Água (g) $P_a = P_2 - P_3$	Média (g)	Valor utilizado: 2 x média (g)
50%	1,0718	38,3525	P_s médio =	$P_s =$
	1,3868	38,9016	1,5157	3,0314
	1,5609	38,9900		
	1,7226	38,0916	P_a médio =	$P_a =$
	1,6879	38,3709	38,5766	77,1531
	1,6642	38,7528		
40%	1,5492	38,2332	P_s médio =	$P_s =$
	1,6300	38,8806	1,7123	3,4247
	1,8022	38,4004		
	1,7694	38,3714	P_a médio =	$P_a =$
	1,7881	38,8185	38,5572	77,1145
	1,7351	38,6393		
30%	1,5491	37,8216	P_s médio =	$P_s =$
	1,6576	38,2295	1,6810	3,3621
	1,6660	38,4128		
	1,7547	38,4574	P_a médio =	$P_a =$
	1,7505	38,3182	38,2597	76,5193
	1,7083	38,3184		
20%	1,4139	39,0575	P_s médio =	$P_s =$
	1,5796	38,6841	1,5055	3,0110
	1,7818	38,4499		
	1,8680	38,1956	P_a médio =	$P_a =$
	1,1479	38,9787	38,7000	77,4001
	1,2417	38,8344		
10%	0,9881	38,4401	P_s médio =	$P_s =$
	1,2829	38,5085	1,2560	2,5120
	1,2143	38,4701		
	1,2556	38,4564	P_a médio =	$P_a =$
	1,2982	38,3254	38,4587	76,9174
	1,4970	38,5518		
0%	1,4937	38,3811	P_s médio =	$P_s =$
	1,4087	38,1823	1,5036	3,0072
	1,4725	38,7147		
	1,6339	42,9702	P_a médio =	$P_a =$
	1,5255	38,1449	39,1750	78,3500
	1,4874	38,6569		

Tabela F- Quantidade de lodo seco (P_s) e água (P_a) utilizados no procedimento de reidratação: 50°C (2ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Lodo seco (g) $P_s = P_3 - P_0$	Água (g) $P_a = P_2 - P_3$	Média (g)	Valor utilizado: 2 x média (g)
50%	4,4393	33,1367	P_s médio =	$P_s =$
	4,6641	36,1905	4,5803	9,1606
	4,5219	35,5425		
	4,5340	35,1632	P_a médio =	$P_a =$
	4,6499	36,2175	35,3805	70,7609
	4,6725	36,0324		
40%	4,2501	34,5088	P_s médio =	$P_s =$
	4,2528	35,2830	4,2620	8,5240
	4,2428	34,8670		
	4,3192	35,3642	P_a médio =	$P_a =$
	4,1599	34,6364	34,8854	69,7707
	4,3472	34,6528		
30%	3,8995	32,4309	P_s médio =	$P_s =$
	4,0623	34,0820	4,0354	8,0707
	4,1081	34,5651		
	4,0336	33,8282	P_a médio =	$P_a =$
	4,0528	34,6790	33,9757	67,9514
	4,0558	34,2690		
20%	3,6927	34,5893	P_s médio =	$P_s =$
	3,7612	35,0374	3,7216	7,4432
	3,5900	33,3201		
	3,6768	33,9095	P_a médio =	$P_a =$
	3,7531	34,7064	34,2256	68,4512
	3,8559	33,7910		
10%	3,1955	31,4109	P_s médio =	$P_s =$
	3,2657	32,6369	3,3752	6,7503
	3,3773	33,8466		
	3,5145	35,8781	P_a médio =	$P_a =$
	3,4805	35,3156	34,0185	68,0370
	3,4175	35,0230		
0%	3,0850	35,1225	P_s médio =	$P_s =$
	3,0265	34,5562	3,0287	6,0573
	2,9820	33,7956		
	3,1264	35,8993	P_a médio =	$P_a =$
	2,9906	34,1198	34,4459	68,8918
	2,9614	33,1820		

Tabela G- Quantidade de lodo seco (P_s) e água (P_a) utilizados no procedimento de reidratação: 40°C (3ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Lodo seco (g) $P_s = P_3 - P_0$	Água (g) $P_a = P_2 - P_3$	Média (g)	Valor utilizado: 2 x média (g)
50%	2,2306	37,5716	P_s médio =	$P_s =$
	2,1194	38,2686	2,2120	4,4240
	2,1108	38,7008		
	2,2525	38,5438	P_a médio =	$P_a =$
	2,2509	38,0588	38,2305	76,4610
	2,3077	38,2394		
40%	2,4670	37,9710	P_s médio =	$P_s =$
	2,4265	38,8575	2,4692	4,9384
	2,2284	38,3823		
	2,2514	37,4134	P_a médio =	$P_a =$
	3,2146	38,2472	38,1374	76,2748
	2,2274	37,9530		
30%	1,9304	37,9326	P_s médio =	$P_s =$
	1,7620	38,4090	1,9831	3,9662
	1,8928	37,5181		
	2,3041	39,0906	P_a médio =	$P_a =$
	2,0107	37,8545	38,2018	76,4036
	1,9987	38,4059		
20%	1,8939	37,9178	P_s médio =	$P_s =$
	1,7708	37,6422	1,8377	3,6753
	1,7234	39,3263		
	1,7158	37,7621	P_a médio =	$P_a =$
	1,9306	38,6507	38,3169	76,6338
	1,9914	38,6024		
10%	1,9626	37,7143	P_s médio =	$P_s =$
	1,9168	38,4538	1,8815	3,7631
	1,8098	37,2982		
	1,8605	37,1993	P_a médio =	$P_a =$
	1,9300	38,1869	37,8175	75,6350
	1,8095	38,0525		
0%	2,0954	38,3370	P_s médio =	$P_s =$
	1,9717	38,2135	1,9000	3,7999
	1,7676	37,8124		
	1,8148	38,7090	P_a médio =	$P_a =$
	1,9299	37,8284	38,3523	76,7046
	1,8204	39,2136		

Tabela H- Quantidade de lodo seco (P_s) e água (P_a) utilizados no procedimento de reidratação: 50°C (4ª coleta).

Amostra (dosagem de cal aplicada)	Lodo seco (g) $P_s = P_3 - P_0$	Água (g) $P_a = P_2 - P_3$	Média (g)	Valor utilizado: 2 x média (g)
50%	3,8241	35,6139	P_s médio =	$P_s =$
	3,8345	36,2309	3,7536	7,5071
	3,8052	36,4865		
	3,5471	37,2672	P_a médio =	$P_a =$
	3,6395	35,9967	36,2235	72,4469
	3,8709	35,7456		
40%	3,4475	33,5749	P_s médio =	$P_s =$
	3,6595	36,3889	3,6270	7,2540
	3,7668	36,3458		
	3,5238	36,5619	P_a médio =	$P_a =$
	3,6179	35,7397	35,7706	71,5413
	3,7466	36,0126		
30%	3,2695	37,0003	P_s médio =	$P_s =$
	3,2734	36,8641	3,3035	6,6071
	3,3086	37,0170		
	3,3057	36,5626	P_a médio =	$P_a =$
	3,3061	36,9169	36,9419	73,8838
	3,3579	37,2904		
20%	2,8336	37,0481	P_s médio =	$P_s =$
	2,6040	34,2394	2,8989	5,7978
	2,7900	37,2438		
	2,7893	37,9036	P_a médio =	$P_a =$
	3,2298	36,6639	36,7088	73,4177
	3,1467	37,1542		
10%	2,8402	37,0166	P_s médio =	$P_s =$
	2,7251	36,5718	2,8261	5,6521
	2,8022	36,7630		
	2,9805	36,8772	P_a médio =	$P_a =$
	2,7610	36,7761	36,8558	73,7117
	2,8474	37,1303		
0%	2,4240	37,3952	P_s médio =	$P_s =$
	2,5224	37,2347	2,5649	5,1297
	2,6049	37,3052		
	2,5563	36,5775	P_a médio =	$P_a =$
	2,6621	36,9088	37,0691	74,1382
	2,6194	36,9932		

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987), *NBR 10.004 - Resíduos Sólidos: Classificação*, Rio de Janeiro, RJ
- ANDREOLI, C.; BONNET, B. R. P.; LARA, A. I. & WOLTER, F. R. (1997), *Proposição de Plano de Monitoramento da Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto no Estado do Paraná*, in: “19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental”, Anais, ABES, p.232-244, set, Foz do Iguaçu, PR
- ALÉM SOBRINHO, P. & MIRANDA, S. E. M. (1996), *Desidratação de Lodos de Reator UASB em Leito de Secagem - Determinação de Parâmetros*, in: “XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental”, Anais, AIDIS, 9p., México, D.F.
- ANDRADE NETO, C. O. (1997), *Sistemas Simples para o Tratamento de Esgotos Sanitários – Experiência Brasileira*, ABES, 301p., Rio de Janeiro, RJ
- APHA - American Public Health Association (1995), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19ª ed., Washington, D.C., Estados Unidos
- ARCEIVALA, S. J. (1986), *Wastewater Treatment for Water Pollution Control*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, cap. 8, p. 144-163, Nova Deli, Índia

- AZEVEDO NETTO, J.M. (1961), *Aproveitamento do Gás de Esgotos*, Revista DAE, ano XXII, n. 41, p. 15-44, jun e n. 42, p. 11-40, set, São Paulo, SP
- BARRETO, A. S. (1994), *Assimilação de Cromo Trivalente nas Biomassas Nanoplanctônica e Microplanctônica e sua Quantificação no Sedimento e Sobrenadante: Experimento em Microcosmo*, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 181p., São Carlos, SP
- BATISTA, L. F. (1981), *Construção e Operação de Biodigestores – Manual Técnico*, Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural, 54p., Brasília, DF
- BISCAIA, R. C. M. & MIRANDA, G. M. (1996), *Uso de Lodo de Esgoto Calado na Produção de Milho*, Sanare-Revista Técnica da Sanepar, v. 5, n. 5, p. 86-89, jan/jun, Curitiba, PR
- CAESB/EMATER (s.d.), *O Lodo de Esgoto na Agricultura – Guia de Utilização*, Folheto Informativo, 5p., Brasília, DF
- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. (1996), *Métodos de Análises Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas*, Instituto Agrônomo - Boletim Técnico 106, out, 94p., Campinas, SP
- CAMPOS, J. R. (1994), *Alternativas para Tratamento de Esgotos - Pré-Tratamento de Águas para Abastecimento*, publicação n. 09, Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 111p., Americana, SP
- _____ (1996), *A ETE Piracicamirim*, capítulo do livro “Bacia do Rio Piracicaba”, em elaboração por Carlos Mendes Thane, Piracicaba, SP /no prelo/

- CANZIANI, J. R. et al (1996), *Economicidade do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto na Região Metropolitana de Curitiba*, in: “II Seminário de Integração do Projeto Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Critérios Sanitários, Ambientais e Agronômicos para Reciclagem Agrícola do Lodo”, 15p., nov, Curitiba, PR
- CARRASCO, K. I. A. (1992), *Balanço de Massa e Energia: Aplicação ao Tratamento de Esgotos Sanitários com Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) à Temperatura de 20°C*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 212p., São Carlos, SP
- CEBALLOS, B. S. O. (1998), *Determinação Simultânea de Coliformes Totais e E. coli pelo Método de Substratos Definidos: Alguns Inconvenientes*, Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, v.3, jan/jun, p.9
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1987), *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*, v. 2, cap. 18, p. 41-89, São Paulo, SP
- CHERNICHARO, C. A. L. (1997), *Reatores Anaeróbios*, Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.5, 245p., DESA/UFMG, Belo Horizonte, MG
- CORDEIRO, J. S. (1993), *O Problema dos Lodos Gerados nos Decantadores em Estações de Tratamento de Água*, 341p., Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 212p., São Carlos, SP
- CORDEIRO, J. S. & CAMPOS, J. R. (1995), *A Remoção de Águas de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Secagem Não Convencionais*, in: “18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental”, Anais, ABES, Salvador, BA

- CORAUCCI FILHO, B.; D'ÁVILA, M. C. & GUILHERME, M. S. (1997a), *Avaliação de Diferentes Técnicas de Concentração de Ovos de Helmintos Presentes no Lodo para Análise da Viabilidade de sua Aplicação no Solo*, in: "19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", pôster, ABES, Foz do Iguaçu, PR
- CORAUCCI FILHO, B.; SIVIERO, A.R.; SOUZA, L. C. F. & ALBUQUERQUE, A. F. (1997b), *Avaliação da Biodegradabilidade de Lodo de Indústria Cítrica no Solo através do Ensaio de Respirometria*, in: "19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, 7p., set, Foz do Iguaçu, PR
- DAMASCENO, S. (1996), *Remoção de Metais Pesados em Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo de Lodos Ativados e por um Reator Compartimentado Anaeróbio*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 141 p., São Carlos, SP
- DANIEL, L. A. (1998), *SHS-720: Oxidação e Desinfecção de Águas, Efluentes Líquidos e Lodos de ETEs*, Notas de aula, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP
- DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. (1997), *Efeito do Lodo de Esgoto Complementado com Fertilizante Mineral na Produtividade e Desenvolvimento da Cultura de Feijoeiro e do Girassol*, Sanare - Revista Técnica da Sanepar, v. 8, n. 8, p. 33-38, jul/dez, Curitiba, PR
- DEUS, A. B. S. de; IDE, C. N.; LUCA, S. J. de & CASTRO, C. (1993a), *Contribuição à Padronização de Análises de Lodos Domésticos e Industriais*, in: "17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, tomo I, v. 2, p. 347-360, Natal, RN

- DEUS, A. B. S. de; LUCA, S. J. de; IDE, C. N.; & MONTEGGIA, L. O. (1993b), *Qualidade de Lodos de ETEs*, in: "17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, tomo I, v. 2, p. 291-303, Natal, RN
- DROSTE, R. L. (1997), *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, cap. 18 – Anaerobic Wastewater Treatment, p. 622-669, John Wiley & Sons, Inc, Estados Unidos
- FEACHEM, R. G. et al (1980), *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation: Health Aspects of Excreta and Sullage Management - A State of the Art Review*, World Bank, Washington, D.C., Estados Unidos
- FERNANDES, F. (1997), *A Questão dos Lodos de Esgoto e de Tratamento de Água*, Revista Bio, ABES, ano IX, n.2, mai/jun, p.41
- FERNANDES, F. et al (1995), *Eficiência da Compostagem e do Tratamento com Cal na Higienização do Lodo Produzido pela Estação de Tratamento de Esgotos Belém (Curitiba, Paraná) com Vistas à sua Reciclagem Agrícola*, in: "18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, 9p., Salvador, BA
- FERNANDES, F. et al (1996), *Aperfeiçoamento da Tecnologia de Compostagem e Controle de Patógenos*, Sanare-Revista Técnica da Sanepar, v. 5, n. 5, p. 36-45, jan/jun, Curitiba, PR
- FOESS, G. W. & SIEGER, R. B. (1993), *Pathogen/Vector Attraction Reduction - Requirements of the Sluges Rules*, Water, Engineering & Management, p. 25-26, jun
- GARVEY, D., GUARINO, C. & DAVIS, R. (1993), *Sludge Disposal Trends Around the Globe*, Water Engineering & Management, p. 17-20, dez

- GOMES, L. P. (1989), *Estudo da Caracterização Física e da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários*, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 159p., São Carlos, SP
- GONÇALVES, J. A. (1996), *Esgoto Eleva Rendimento do Milho no PR*, Folha de São Paulo, Agrofolha 5, p. 3, 26/mar, São Paulo, SP
- GRANDIN, S. R. (1992), *Desidratação dos Lodos nas ETAs*, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 457p., São Paulo, SP
- HAUG, R. T. (1993), *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, 717p., Boca Raton, Estados Unidos
- HAVELAAR, A. H. (1984), *Sludge Disinfection - An Overview of Methods and their Effectiveness*, in: "Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection", cap. 2, p. 48-60, Water Research Centre, Ellis Horwood Limited, Inglaterra
- IDE, C. N. et al (1993), *Tratamento de Lodo Bruto com Cal - Influência na Sobrevivência de Patógenos e na Imobilização de Metais Pesados*, in: "17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, tomo I. v. 2, p. 333-346, Natal, RN
- JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. (1995), *Tratamento de Esgotos Domésticos*, 3ª edição, ABES, 681p., Rio de Janeiro, RJ
- KIEHL, E. J. (1985), *Fertilizantes Agrícolas*, Ed. Agronômica Ceres Ltda, 492p., São Paulo, SP
- LESCHBER, R. & SPINOSA, L. (1998), *Developments in Sludge Characterisation in Europe*, in: "Water Quality International '98", Part 2, Solid Wastes: Sludge and Landfill Management, Water Science & Technology, v.38, n.2, p.1-7, Elsevier Science Ltd

- LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M.; LIBARDI, P. L. & MEDRADO, M. J. S. (1996), *Efeito do Lodo de Esgoto na Produtividade de Milho e Feijão, no Sistema de Produção da Bracatinga*, Sanare-Revista Técnica da Sanepar, v. 5, n.5, p. 90-92, jan/jun, Curitiba, PR
- LUDUVICE, M. L. (1996), *Uso e Disposição de Lodos Orgânicos - Biosólidos*, in: "Seminário Internacional de Tratamento e Disposição de Esgotos Sanitários", p.85-96, jun, Brasília, DF
- LUE-HING, C.; MATTHEWS, P.; NÀMER, J.; OKUNO, N. & SPINOSA, L. (1996), *Sludge Management in Highly Urbanized Areas*, Water Science & Technology, v.34, n.3-4, p.517-524
- MARTINS, M. T.; SANCHEZ, P. S. & MARQUES, E. (1986), *Eficácia do Tratamento Químico e Térmico na Destruição de Patógenos em Lodo Digerido*, Revista Microbiologia, v. 17, n. 2, p. 148-154, abr/jun, São Paulo
- MATTHEWS, P. J. (1992), *Sewage Sludge Disposal in the UK: A New Challenge for the Next Twenty Years*, Journal of the Institution of Water Environmental Management, v. 6, p. 551-559, out
- MELO, W. J. (1997), *Metais Pesados e Impacto Ambiental*, curso ministrado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, out, Jaboticabal, SP
- METCALF & EDDY (1991), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, 3ª edição, McGraw-Hill, cap. 12, p. 765-926, Nova York, Estados Unidos
- MOSCALEWSKI, W. S. et al (1996), *Eliminação por Tratamento Químico do Vibrio Cholerae em Amostras de Lodo*, Sanare-Revista Técnica da Sanepar, v. 5, n. 5, p. 59-62, jan/jun, Curitiba, PR
- NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO, O. & LINARDI, P. M. (1995), *Parasitologia Humana*, 9ª ed., Ed. Atheneu, 524p.

- NUVOLARI, A. CORAUCCI FILHO, B.; SILVA, L. G. & FADINI, P. S. (1997), *Estudos para Orientar o Aproveitamento de um Lodo Oriundo de um Valo de Oxidação na Melhoria de um Solo*, in: "19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, p.61-68, set, Foz do Iguaçu, PR
- OLIVA, L. C. H. V. (1997), *Tratamento de Esgotos Sanitários com Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) Protótipo: Desempenho e Respostas Dinâmicas às Sobrecargas Hidráulicas*, Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 218 p., São Carlos, SP
- OLIVA, L. C. H. V. & FORESTI, E. (1998), *Tratamento de Esgotos Sanitários com Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) Protótipo: Desempenho e Respostas Dinâmicas às Sobrecargas Hidráulicas*, in: "XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental", Anais, AIDIS, 20p., Lima, Peru
- OMS (1989), *Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura*, Serie de Informes Técnicos No. 778, 90 pp, Genebra, Suíça
- OPS/OMS (1994), *Tecnologías Apropriadas en Saneamiento Básico*, Módulo No. 2, Disposición de Excretas y Mejoramiento de la Vivienda, Serie de Promoción de la Salud Guias para el Autocuidado, p. 1-73, Santafé de Bogotá, Colômbia
- PERRY, R. H. & CHILTON, C. H. (1986), *Manual de Engenharia Química*, 5ª edição, Ed. Guanabara, Rio de Janeiro, RJ
- PIERRE, C. V. & DORIA, R. A. Q. (1995), *Análise de Viabilidade Econômica do Aproveitamento de Biogás Gerado em um Reator Anaeróbio*, in: "18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, 11p., Salvador, BA

- PONUGOTI, P. R.; DAHAB, M. F. & SURAMPALLI, R. (1997), *Effects of Different Biosolids Treatment Systems on Pathogen and Pathogen Indicator Reduction*, *Water Environment Research*, v.69, n.7, p.1195-1206
- RAZNJEVIC', K. (1976), *Handbook of Thermodynamic: Tables and Charts*, McGraw-Hill, 391p.
- SANEPAR (1997), *Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná*, Companhia de Saneamento do Paraná, 96p., Curitiba, PR
- SANTOS, H. F. & TSUTIYA, M. T. (1997), *Aproveitamento e Disposição Final do Lodo de Estações de Tratamento do Estado de São Paulo*, v.2, n.2, abr/jun, p.70-81, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, Rio de Janeiro
- SCHRADER, R.; CASTILLO, G.; RAFFO, A. & RUBIO, T. (1996), *Desinfección de Lodos de Aguas Servidas Mediante Radiaciones Ionizantes*, in: "XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental", Anais, AIDIS, 7p., México, D.F.
- SEIXAS, A. S. S. (1994), *Qualidade Sanitária de Efluentes de Biodigestores Contínuos Alimentados com Dejetos de Suínos e Empregados como Biofertilizantes*, Tese (Doutorado), Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 95p., Rio Claro, SP
- SHREVE, R. N. & BRINK JR., J. A. (1977), *Indústrias de Processos Químicos*, Editora Guanabara, 4ª edição, Rio de Janeiro, RJ
- SHUVAL, H. I. (1990), *Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions*, Summary of World Bank Technical Paper No. 51, UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, cap. 3, p. 7-10, Washington, D.C., Estados Unidos

- SOCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.; TRACZ, J. (1997), *Eficácia dos Diferentes Processos de Tratamento do Lodo na Redução da Viabilidade de Ovos de Helmintos*, Sanare - Revista Técnica da Sanepar, v. 8, n. 8, p. 24-32, jul/dez, Curitiba, PR
- STENTIFORD, E. I. & PEREIRA NETO, J. T. (1993), *Compostagem de Lodo de Esgotos: Uma Alternativa para os Países Industrializados*, in: "17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, tomo III, v. 2, p.167-181, Natal, RN
- SULCEK, Z. & POVONDRA, P. (1989), *Methods of Decompositon in Inorganic Analysis*, CRC Press Inc., 325p., Flórida, Estados Unidos
- U.S.EPA – United States Environmental Protection Agency (1979), *Process Design for Dewatering Municipal Sludges*, Cincinnati, Estados Unidos
- VALIM, M. C. A.; PEREIRA JÚNIOR, A. B.; SOUZA, J. L.; NOGUEIRA, W. A. & GONÇALVES, R. F. (1997), *Compostagem de Lodo de Esgoto com Resíduos Agrícolas Através da Aeração Forçada Positiva*, in: "19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental", Anais, ABES, p.389-398, set, Foz do Iguaçu, PR
- VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. (1994), *Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um Manual para Regiões de Clima Quente*, Epgraf, 255p., Campina Grande, PB
- VAN WYLEN, G. J. & SONNTAG, R. E. (1976), *Fundamentos da Termodinâmica Clássica*, 2ª edição, Edgard Blücher Ltda, 565p., São Paulo, SP
- VESILIND, P. A. (1974), *Treatment and Disposal of Wastewater Sludges*, Ann Arbor Science Publishers Inc., 236p., Estados Unidos
- WEF – Water Environment Federation (1995), *Wastewater Residuals Stabilization*, Manual of Practice FD-9, Estados Unidos